

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Донецький національний технічний університет

**Туяхов А.І., Ілющенко В.І., Саф'янц С.М.,
Смірнов О.М., Гридін С.В.**

МЕТРОЛОГІЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Донецьк - 2012

УДК 389.14:006.011

Туяхов А.І., Ілющенко В.І., Саф'янц С.М., Смірнов О.М., Гридін С.В.
Метрологія і стандартизація в енергетиці. Навчальний посібник. –
Донецьк: Норд , 2012. – 308 с., 16 табл., 50 рис.

У навчальному посібнику викладені основні положення теоретичної та практичної метрології, висвітлені сучасні вимоги при вимірюванні фізичних величин. Розглянуті основи метрологічного забезпечення та наведено приклад автоматизації метрологічної служби підприємства. Наведені основні поняття випадкових та систематичних похибок, способи обробки експериментальних даних. Також приведені принципи та методи стандартизації управління якістю продукції, основні положення Національної системи стандартів України та провідних закордонних країн.

Навчальний посібник призначено для студентів спеціальностей напрямку «теплоенергетика», «Електротехніка та електротехнології», а також може бути корисним для інженерів відповідних галузей.

Рецензенти:

Пілюшено В.Л. – д. т.н., професор, чл. кор. НАН України, проректор з наукової роботи Донецького державного університету управління

Білоусов В.В. – д.т.н., професор кафедри фізики нерівноважних процесів і екології металургії Донецького національного університету

Новохатський О.М. - д.т.н., професор, декан факультету металургії Донбаського державного університету

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямком підготовки 050601 «Теплоенергетика» на підставі рішення Комісії з енергетики та енергетичного машинобудування НМР МОНМС України . протокол № 2/1 від 13 січня 2012 р.

ISBN 978-617-638-104-4

© Туяхов А. І., Ілющенко В.І., Саф'янц С.М.,
Смірнов О. М., Гридін С.В., 2012

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	5
1. МЕТРОЛОГІЯ. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ.....	7
1.1. Фізична величина і її одиниці.....	10
1.2. Міжнародна система одиниць.....	14
1.3. Характеристика Міжнародної системи одиниць.....	16
2. ВИМІРЮВАННЯ. МЕТОДИ Й ЗАСОБИ.....	25
2.1. Основні положення вимірювань.....	25
2.2. Методи вимірювань.....	31
2.3. Засоби вимірювань.....	44
2.4. Елементарні засоби вимірювань.....	48
3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАНЬ.....	63
3.1. Похибки вимірювань.....	63
3.2. Похибки засобів вимірювань.....	69
3.3. Випадкові похибки.....	72
3.3.1. Основні поняття теорії випадкових похибок.....	72
3.4 Систематичні похибки.....	73
3.4.1 Загальна класифікація систематичних похибок.....	73
4. ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРОЦЕС І ЙОГО ЕТАПИ.....	86
4.1. Загальні вимоги до вимірювань.....	86
4.2. Обробка результатів вимірювань.....	101
5. ЕТАЛОНИ.....	117
5.1 Еталони одиниць фізичних величин.....	117
6 ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	141
6.1 Структура метрологічної служби України.....	143
6.2 Функції державної метрологічної служби.....	152
6.3. Повірка засобів вимірювань.....	155
7. СТАНДАРТИЗАЦІЯ	172
7.1. Принципи стандартизації.....	174
7.2. Функції стандартизації.....	177
7.3. Методи стандартизації.....	178
7.4. Національна система стандартів в Україні.....	187
7.5. Стандартизація в провідних закордонних країнах.....	194
8. УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ.....	213
8.1. Показники якості продукції.....	213
8.2. Показники якості продукції й методи її оцінки.....	214
8.3. Методи оцінки якості продукції.....	222
8.4. Якість електричної енергії.....	241

9 АВТОМАТИЗАЦІЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ СЛУЖБИ ПІДПРИЄМСТВА.....	249
9.1. Основні функції метрологічної служби підприємств.....	249
9.2. Основні вимоги до систем автоматизації метрологічної служби.....	251
9.3. Розробка автоматизованої системи метрологічного обслуговування підприємств й організацій.....	254
Перелік використаних джерел.....	270
Додаток А. Одиниці Міжнародної системи (SI).....	276
Додаток Б. Одиниці, що допускаються до застосування нарівні з одиницями SI.....	284
Додаток В. Переклад одиниць, застосованих в Англії і США, в одиниці SI (за рекомендаціями ISO Guide31).....	287
Додаток Д. Статистичні таблиці.....	289
Додаток Е. Приклади рішення задач.....	293
Додаток Ж. Грецький та латинський алфавіти	308

ВСТУП

Історія розвитку людського суспільства тісно пов'язана з вимірюваннями, що було основою відносин людей між собою, з навколишніми предметами, природою. Спостерігаючи предмети і явища навколишньої природи, людина здавна відчувала потребу в їхній кількісній оцінці.

Багато сторін повсякденного життя людського співтовариства визначаються кількісними даними, що характеризують процеси, предмети і їхні стани.

Розвиток природничих наук приводить до появи нових засобів і методів вимірювань, а вони, у свою чергу, стимулюють розвиток наук, поліпшення якості продукції й підвищення якості життя у всіх сферах діяльності людини.

За давніх часів у різних країнах при вимірюванні довжини, ваги, обсягу й інших величин використовувалися різні міри.

Взаємозв'язки, що все більше розвиваються і ускладнюються в системі господарювання, визначають необхідність введення єдиної системи одиниць вимірювання й розвитку нових методів вимірювань.

У сучасних умовах ринкової економіки існують жорстокі вимоги до продукції, і виграє той виробник, у якого краща якість і низькі ціни.

А якість продукції забезпечується в першу чергу метрологічним забезпеченням, рівень якої в свою чергу обумовлюється, починаючи з оптимізації проектної продукції, впровадженням передових, енергозберігаючих технологій, довговічністю, технологічністю й ремонтпридатністю, патентною чистотою, стандартизацією й уніфікацією, якістю сировини, матеріалів і напівфабрикатів, якістю оснащення й устаткування, та науково-технічною організацією праці і виробництва, рівнем технічних кадрів, самоконтролем і свідомістю

кадрів.

В умовах ринкових відносин зростає роль технічного розвитку, тому що більш сучасні й енергозберігаючі технології забезпечують конкурентоздатність даного підприємства в цілому і його продукції зокрема. Фахівець, що займається питаннями теплоенергетики підприємства, не повинен обмежуватися загальними інженерними питаннями або знаннями функціонально-технологічних сторін виробничого процесу. Йому необхідні знання, що забезпечують передачу технічної інформації, ідентифікацію і розуміння ними як загальних, так і спеціальних характеристик продукції.

Відповідно до навчальної програми з дисципліни «Основи метрології і стандартизації» студентам - теплоенергетикам необхідні відомості про метрологічне забезпечення енергетичних установок промислових підприємств і теплових електростанцій.

Даний посібник містить основи метрології й стандартизації, знайомить студентів з їхніми основними завданнями і показує значення метрології і стандартизації в підвищенні ефективності як всієї економіки, так і теплоенергетики промислових підприємств та електростанцій.

За допомогою даного навчального посібника студентами пропонується опанувати основні завдання метрології і стандартизації, ознайомитися з методами й засобами вимірювань, їхньої похибки, проаналізувати нормативно - правову документацію з регламентації виробництва промислової продукції і її сертифікацій.

1. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ

Метрологія (від грецького metron - міра і logos - навчання) - наука про вимірювання, методи й засоби досягнення їхньої єдності й необхідної точності. Вона вивчає такі основні питання:

- теорію вимірювань;
- одиниці фізичних величин й їхніх систем;
- методи й засоби вимірювань;
- методи визначення точності вимірювань;
- основи забезпечення єдності вимірювань і однаковості засобів вимірювань;
- еталони й робочі еталони;
- методи передачі розмірів одиниць від робочим еталонам і робочим засобам вимірювань.

Історично метрологія ставиться до описів різного роду мір (лінійних, маси, часу), грошових одиниць (монет), що застосовуються в різних країнах і співвідношень між ними. Становлення метрології належить до 1875 року, коли було укладено «Метричну конвенцію» і заснована Міжнародне бюро мір і ваг.

Сучасна метрологія, використовуючи останні досягнення фізики, хімії й інших природничих наук, опираючись на експериментальні дослідження високої точності, встановлює свої специфічні закони й правила, які дозволяють знаходити кількісне вираження властивостей об'єктів навколишнього матеріального світу. У той же час, знання конкретного явища природи вимагає точного визначення його назви, що закріплюється термінами. Під терміном розуміється слово або словосполучення, що точно визначає певне поняття або його співвідношення з іншими поняттями в науці й техніці.

Для конкретного й однозначного сприйняття метрологічних

термінів розроблено спеціальний стандарт на термінологію - ДСТУ 2681-94 «Національна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни й визначення». Він установлює терміни й визначення понять у метрології й метрологічному забезпеченні, які обов'язкові для використання в усіх видах нормативної документації, у довідковій, науково-технічній і учбово-методичній літературі, що належать до метрології й метрологічного забезпечення, а також для робіт зі стандартизації. Нижче наведено основні визначення, на яких повинна базуватися як навчальна, так і інша документація, пов'язана з метрологією.

Вимірювання - відображення фізичних величин за допомогою їхніх позначень як результат експерименту та обчислень з застосуванням спеціальних технічних засобів.

Одиниця вимірювання - фізична величина певного розміру, прийнята для кількісного відображення однорідних з нею величин.

Єдність вимірювань - стан вимірювань, за якого їхні результати виражаються в узаконених одиницях вимірювання, а похибки відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені межі.

Невизначеність вимірювань – оцінка, що характеризує діапазон значень, в якому є істинне значення вимірюваної величини.

Методика виконання вимірювань - сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювань із потрібною точністю.

Засіб вимірювальної техніки - технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики.

Тип засобу вимірювальної техніки - сукупність засобів вимірювальної техніки однакового призначення, які мають одні і ті ж самі принципи дії, конструкцію та виготовлені за однією і тією самою технічною документацією.

Еталон - засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення і зберігання одиниці вимірювання одного чи декількох значень, а також передачу розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки.

Державний еталон - офіційно затверджений еталон, який забезпечує відтворення одиниці вимірювання та передачу її розміру іншим еталонам з найвищою в країні точністю.

Робочий еталон - еталон, призначений для перевірки чи калібрування засобів вимірювальної техніки.

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

Певірка засобів вимірювальної техніки - встановлення придатності засобів вимірювальної техніки, на які поширюється державний метрологічний нагляд, для застосування на підставі результатів контролю їхніх метрологічних характеристик.

Калібрування засобів вимірювальної техніки – сукупність операції, що виконується з метою визначення метрологічних характеристик та придатності засобу вимірювальної техніки до застосування в певних умовах.

Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки - дослідження засобів вимірювальної техніки для визначення їхніх метрологічних характеристик та встановлення придатності цих засобів для застосування.

Атестація методики виконання вимірювань - процедура встановлення відповідності методики метрологічним вимогам, що ставляться до неї.

Вимірювальна лабораторія - організація чи окремий підрозділ організації, підприємства, що здійснює вимірювання фізичних величин, визначення хімічного складу, фізико-хімічних, фізико-механічних та інших властивостей і показників речовин, матеріалів і

продукції.

1.1. Фізична величина і її одиниці

Фізична величина - це властивість, загальна в якісному відношенню багатьом фізичним об'єктам (фізичним системам, їхнім станам і процесам, що відбувається в них), але в кількісному відношенні індивідуальне для кожного об'єкта.

У тих випадках, коли очевидно, що мова йде про фізичну величину, можна використати коротку форму - «величина». Ця форма застосовується у випадках, що виключають можливість різного тлумачення. Варто втриматися від неправильного розуміння (вираження) терміна «величина», що часто намагаються використати як розмір конкретної фізичної величини (величина маси, величина напруги). У цих прикладах маса, напруга є фізичними величинами. У таких випадках необхідно використати поняття **розміру (фізичної) величини**, як кількісний зміст у даному матеріальному об'єкті властивості, що відповідає поняттю «фізична величина». У таких випадках необхідно використати терміни «розмір маси», «розмір напруги».

Фізичні величини, з якими зіштовхується діяльність людини, це довжина, час, температура, тиск, сила, швидкість. Всі вони визначають загальні в якісному відношенні фізичні властивості. При цьому кількісні характеристики їх можуть бути зовсім різними й одержання відомостей про них є завданням вимірювань.

Якісну визначеність фізичної величини виражає рід (фізичної) величини.

Якщо ми маємо справу з фізичними величинами, зв'язаними між собою залежностями, то їхня сукупність називається **системою (фізичних) величин**. Фізична величина, що входить у систему й умовно прийнята в якості незалежної від інших величин цієї системи

є **основною (фізичною) величиною**. А фізична величина, обумовлена через основні величини цієї системи й вхідна в цю систему, називається **похідній (фізичної) величиною**.

Фізична величина в одному випадку може мати розмірність, в інших випадках вона може бути відсутньою.

Вираз, що відбиває зв'язок величини з основними величинами системи, у якому коефіцієнт пропорційності прийнятий рівним 1 (одиниці), являє собою **розмірність фізичної величини**. Величина, у розмірності якої основні величини входять у ступені, що дорівнюють нулю, є **безрозмірною (фізичною) величиною**.

Фізична величина певного розміру, умовно прийнята для кількісного відображення однорідних з нею величин, визначає **одиницю (фізичної) величини**. Умовний символ одиниці фізичної величини є **позначення одиниці (фізичної) величини**.

Сукупність одиниць фізичних величин утворюють систему одиниць (фізичних) величин, що має **основні й похідні одиниці** певної системи. Одиниця, що не входить у жодну із систем одиниць, є позасистемною.

Одиниця фізичної величини може бути кратна (у ціле число раз більше) або дольна (у ціле число раз менше системної або позасистемної одиниці).

Число, що дорівнює відношенню розміру вимірюваної фізичної величини до розміру одиниці цієї фізичної величини, утворює числове значення (фізичної) величини. Значення фізичної величини, що ідеально відбиває певну властивість об'єкту, є **істинним значенням (фізичної) величини**. А значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що для даної мети може бути використане замість нього, називається **умовно істинним або дійсним значенням (фізичної) величини**.

Одиниці величин з'явилися з того моменту, коли виникла необхідність виразити що-небудь кількісно. Ці одиниці спочатку вибиралися довільно й не були зв'язані один з одним. Велика кількість довільних одиниць однієї й тієї ж величини утрудняло порівняння результатів вимірювань. Для прикладу можна навести факт наявності в Європі (друга половина XIII століття) до сотні футів, що мають різну довжину, півсотні різних миль і понад 120 різних фунтів. Переклад одних одиниць в інші був складним і призводив до зниження точності вимірювань. В міру розвитку техніки й міжнародних зв'язків використання результатів вимірювань утруднялося, що в цілому гальмувало науково-технічний прогрес.

В 1790 р. у Франції було ухвалене рішення про створення системи Нових мір, «заснованих на незмінному прототипі, узятому із природи, для того, щоб її могли прийняти всі нації». Було запропоновано вважати одиницею довжини одну десятимільйонну частину чверті Паризького меридіана й цю одиницю назвали **метром**. За одиницю маси була прийнята маса $0,001 \text{ м}^3$ (1 дм^3) чистої води при температурі її найбільшої щільності ($+4 \text{ }^\circ\text{C}$). Ця одиниця була названа кілограмом. При введенні цієї системи була прийнята десяткова система утворення кратних і дольних одиниць, що відповідає десятковій системі нашого числового рахунку.

В 1875 році було підписано Метричну конвенцію, відповідно до якої:

- устанавлювалися міжнародні прототипи метра і кілограма;
- створювалося Міжнародне бюро мір і ваг;
- засновувався Міжнародний комітет мір і ваг;
- було виготовлено зразки метра і кілограма зі сплаву платини й іридію.

Прототипи зразків метра і кілограма, затверджено на першій Генеральній конференції по мірах і вагам в 1889 році.

Уніфікація одиниць фізичних величин і створення метричних мір дало підстави для створення систем одиниць фізичних величин. Уперше поняття про систему одиниць фізичних величин увів німецький учений Карл Гаусс, що в 1832 році запропонував ідею створення системи одиниць з основними одиницями **міліметр**, **міліграм** і **секунда**. К. Гаусс (разом з В. Вебером) розробив цю систему для вимірювань магнітних величин. Відповідно до методу, запропонованим Гауссом, спочатку встановлюється, або вибирається довільно кілька величин незалежно один від одного. Одиниці цих величин називаються основними і їх вибирають таким чином, щоб, використовуючи закономірні зв'язки між величинами, утворювати одиниці інших величин.

Описаний метод мав такі особливості:

- метод побудови системи не пов'язаний з конкретними розмірами основних одиниць;
- побудова системи одиниць можлива для будь-яких величин, між якими є зв'язок, виражений в математичній формі в вигляді рівняння;
- вибір основних величин визначається умовами оптимальності (мінімальна кількість основних одиниць повинна утворити максимально більше число похідних одиниць).

На цей час до цих вимог сформульована додаткова вимога - система одиниць повинна бути когерентна.

Когерентність (від лат. *cohaerens* – що знаходиться у зв'язку) - це погодженість системи одиниць, яка полягає в тім, що в усіх формулах, які визначають похідні одиниці, залежно від основних, коефіцієнт завжди дорівнює одиниці.

Спочатку було створено системи одиниць, що охоплюють коло величин, що умовно називаються механічними. Ці системи будувалися на основі трьох одиниць фізичних величин. Перевага

надавалася системам, побудованим на одиницях довжини-маси-часу як основних.

1.2. Міжнародна система одиниць

Наявність ряду систем одиниць фізичних величин, великого числа позасистемних одиниць і незручності, що виникають на практиці у зв'язку з перерахуваннями при переході від однієї системи до іншої, викликали необхідність створення універсальної системи одиниць, що охопила всі галузі науки й техніки.

Початок робіт над єдиною системою одиниць належить до 1948 року, коли на IX Генеральній конференції з питань мір і ваг (ГКМВ) було запропоновано прийняти єдину практичну систему одиниць і як основні одиниці рекомендувалися: метр, кілограм (одиниця маси), секунда й одна з електричних величин. Крім того, Міжнародний комітет мір і ваг (МКМВ) провів спеціальне опитування поглядів наукових, технічних і педагогічних кіл всіх країн і на основі отриманих відповідей складені рекомендації з установаження єдиної практичної системи одиниць вимірювань. В 1954 році на X Генеральній конференції було прийнято як основні одиниці нової системи: довжина - **метр**; маса - **кілограм**; час - **секунда**; сила струму - **ампер**; температура термодинамічна - **градус Кельвіна**; сила світла - **свіча**. Потім було підготовлено перелік похідних одиниць, і МКМВ запропонував назвати нову систему одиниць, що була прийнята XI Генеральною конференцією з мір і ваг в 1960р. Їй було присвоєно найменування Міжнародна система одиниць (System International) зі скороченим позначенням «SI». Було встановлено сім основних одиниць. Крім того, було прийнято 12 десяткових кратних і дільних префіксів. В 1971 р. на XIV ГКМВ уведена сьома основна одиниця кількості речовини - **моль**.

Основні й додаткові одиниці SI представлені в таблиці 1.1.

Уніфікація одиниць фізичних величин на базі Міжнародної системи одиниць передбачено в міжнародних стандартах і рекомендаціях:

- Міжнародної організації з стандартизації (ISO);
- Міжнародного союзу чистої й прикладної фізики (МСЧПФ);
- Міжнародного союзу чистої й прикладної хімії (МСЧПХ);
- Міжнародної організації законодавчої метрології (МОЗМ);
- Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК);
- Міжнародної конфедерації з вимірювальної техніки (ИМЕКО);
- Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ);
- Міжнародного астрономічного союзу (МАС);
- Міжнародної комісії з радіологічних одиниць і вимірювань (МКРО).

Таблиця 1.1- Міжнародна система одиниць SI

Величина		Одиниця		
Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			міжнародне	українське
Основні				
Довжина	L	Метр	m	м
Маса	M	Кілограм	kg	кг
Час	T	Секунда	s	с
Сила електричного струму	I	Ампер	A	А
Термодинамічна температура	Θ	Кельвін	K	К
Кількість	N	Моль	mol	моль
Сила світла	J	Свіча	cd	св
Додаткові				
Плоский кут		Радіан	rad	рад
Тілесний кут		Стерадіан	sr	ср

1.3. Характеристика Міжнародної системи одиниць

До основних і додаткових одиниць Міжнародної системи відносять:

Метр (м) - довжина шляху, що проходить світло у вакуумі за інтервал часу $1/299792458$ с.

Кілограм (кг) - одиниця маси, що дорівнює масі міжнародного прототипу кілограма.

Секунда (с) – час, який дорівнює 9192631770 періодів випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану цезію-133.

Ампер (А) - сила струму, що не змінюється, який при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини й дуже малої площі кругового поперечного перерізу, розташованим у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликав би на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, рівну $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Кельвін (К) - одиниця термодинамічної температури, дорівнює $1/273,16$ частини термодинамічної температури потрібної точки води.

Моль (моль) - кількість речовини системи, що містить стільки ж структурних одиниць, скільки міститься атомів у вуглеці-12 масою 0,012 кг.

Свіча (св) - сила світла в заданому напрямку джерела, що випускає монохроматичне випромінювання частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, енергетична сила світла якого в цьому напрямку становить $1/683$ Вт/ср.

Радіан (рад) - кут між двома радіусами кола, довжина дуги між якими дорівнює радіусу.

Стерадіан (ср) - тілесний кут з вершиною в центрі сфери, що вирізає на поверхні сфери площу, яка дорівнює площі квадрата зі стороною, рівною радіусу сфери.

Похідні одиниці Міжнародної системи одиниць утворюються на підставі законів, що встановлюють зв'язок між фізичними величинами або на підставі визначення фізичних величин. Виводяться похідні одиниці SI з рівнянь зв'язку між величинами (визначальних рівнянь), які виражають даний фізичний закон. Так одиниця питомої теплоємності речовини виведена з визначального рівняння:

$$c = \frac{C}{m},$$

де c - питома теплоємність речовини;

C - теплоємність;

m - маса.

Одиницею питомої теплоємності є джоуль на кілограм-кельвін [Дж/(кг·К)], що дорівнює питомій теплоємності речовини, яка має при масі 1 кг теплоємність 1 Дж/К.

При утворенні похідних одиниць SI, отримана одиниця має найменування, що складається з найменувань відповідних вихідних одиниць. У деяких випадках застосовуються власні найменування похідних одиниць SI, які даються в більшості випадків за іменами вчених (Герц, Ньютон, Паскаль й ін.).

На підставі рівнянь зв'язку визначальні співвідношення між фізичними величинами можна подати в загальному вигляді рівняння, у лівій частині якого міститься похідна одиниця, а в правій - основні одиниці даної системи з показником ступеня.

$$X = L^{\alpha} \cdot M^{\beta} \cdot T^{\gamma} \cdot I^{\epsilon} \cdot \theta^{\eta} \cdot J^{\lambda} \cdot N^k \quad (1.1)$$

де X - фізична величина, для якої визначається похідна одиниця;

L, M, T, I, θ, J, N - фізичні величини, одиниці яких прийняті як основні;

$\alpha, \beta, \gamma, \epsilon, \eta, \lambda, k$ - показники ступеня, у якій дана величина входить у рівняння, що визначає похідну величину.

Вираження (1.1) називається розмірністю фізичної величини, дає уявлення про вид, природу й співвідношення якоїсь величини з іншими, одиниці яких приймаються за основні, і є їхньою якісною характеристикою.

На відміну від поняття «розмір величини», що визначає кількісний зміст й є кількісною характеристикою величини або одиниці.

Для позначення розмірності величини перед символом величини ставиться знак розмірності \dim (від лат. dimension - розмірність):

- для одиниці площі $\dim(S) = L^2 M^0 T^0 I^0 \theta^0 J^0 N^0 = L^2$;

- для одиниці швидкості $\dim(V) = LT^{-1}$;

- для одиниці освітленості $\dim(E) = L^{-2} I$ і т.д.

У таблиці 1.2 подано одиниці системи SI.

Таблиця 1.2 - одиниці системи SI

Величина		Одиниця		
Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			українське	міжнародне
1	2	3	4	5
Частота	T^{-1}	герц	Гц	Hz
Сила, вага	$LM T^{-2}$	ньютон	Н	N
Тиск	$L^{-1} M T^{-2}$	паскаль	Па	Pa
Енергія, робота, кількість теплоти	$L^2 M T^{-2}$	джоуль	Дж	J
Потужність, потік енергії	$L^2 M T^{-3}$	ват	Вт	W
Кількість електрики	TI	кулон	Кл	C
Електрична напруга	$L^2 M T^{-3} I^{-1}$	вольт	В	V
Електрична ємність	$L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$	фарад	Ф	F
Електричний опір	$L^2 M T^{-3} I^{-1}$	ом	Ом	Ω
Електрична провідність	$L^{-2} M^{-1} T^3 I^2$	сименс	См	S
Потік магнітної індукції, магнітний потік	$L^2 M T^2 I^{-1}$	вебер	Вб	We

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
Щільність магнітного потоку, магнітна індукція	$\text{MT}^{-2}\text{I}^{-1}$	тесла	Тл	Т
Індуктивність	$\text{L}^2\text{MT}^2\text{I}^{-1}$	генрі	Гн	Н
Світловий потік	j	люмен	лм	lm
Освітленість	I^{-2}j	люкс	лк	lx
Активність радіонуклеїда	T^{-1}	беккерель	Бк	Bq
Польова поглинена доза	L^2T^{-2}	грей	Гр	Gy
Еквівалентна доза випромінювання	L^2T^{-2}	зиверт	Зв	Sv

Якщо всі показники ступеня розмірності величини дорівнюють нулю, то таку фізичну величину називають **безрозмірною**. Безрозмірними є всі відносні величини (співвідношення однойменних величин), а також **логарифмічні величини**, що представляють собою логарифми (при будь-якій підставі).

Слід зазначити, що розміри деяких одиниць SI незручні для практичного застосування, тому що вони або занадто великі або дуже малі. Тому використовуються кратні або дольні одиниці, які в ціле число раз більше або менше одиниці даної системи.

В основному застосовуються десяткові кратні й дольні одиниці, які утворюються множенням вихідних одиниць на число 10, зведене в ступінь. У таблиці 1.3 наведено перелік десяткових множників і відповідних їм префіксів.

Таблиця 1.3 - Найменування й позначення префіксів для утворення десяткових кратних і додаткових одиниць і їхніх множників

найменування	Приставка		Множник	Приклади
	позначення			
	міжнародне	українське		
1	2	3	4	5
екса	E	Э	10^{18}	ексабеккерель-ЕБк
пета	P	П	10^{15}	петаджоуль – ПДж
тера	T	Т	10^{12}	терагерц – ТГц
гіга	G	Г	10^9	гігаватт – ГВт
мега	M	М	10^6	мегом – Мом

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5
кіло	к	к	10^3	кілометр - км
гекто	h	г	10^2	гектолітр - гл
дека	da	да	10^1	декалітр - дал
деци	d	д	10^{-1}	дециметр - дм
санти	c	с	10^{-2}	сантиметр - см
мілі	m	м	10^{-3}	мілівольт - мВ
мікро	μ	мк	10^{-6}	мікроампер - мкА
нано	n	н	10^{-9}	наносекунда - нс
піко	p	п	10^{-12}	пікофарад - пФ
фемто	f	ф	10^{-15}	фемтокулон-фКл
атто	a	а	10^{-18}	аттограм - аг

- у кратних і дільних одиницях площі й об'єму, а також інших величин, утворених піднесення у ступінь, показник ступеня ставиться до всієї одиниці, узятій разом із префіксом [$1 \text{ км}^2 = (10^3 \text{ м})^2 = 10^6 \text{ м}^2$];

- як одиниці **кратні** секунді, вживаються не десяткові кратні, а історично сформовані одиниці:

1 хвилина = 60 с;

1 година = 60 хвилин = 3600 с;

1 доба = 24 години = 86400с;

1 тиждень = 7 діб = 6044800 с;

- як одиниці, дільні секунді вживаються десяткові коефіцієнти з відповідними префіксами: мілісекунда (мс), мікросекунда (мкс), наносекунда (нс);

- десяткові кратні й дільні одиниці, які утворені за допомогою префіксів, не входять у когерентну систему одиниць (тобто розглядаються як позасистемні); при підстановці їх у формули префікси замінюються відповідними їм множниками; наприклад, 1пФ (1 пікофарада) при підстановці у формулу записується 10^{-12} Ф.

У наш час у спеціальних галузях науки й техніки одержали поширення позасистемні одиниці виміру. Це пов'язане зі зручностями застосування тих або інших фізичних величин (понад дуже великих

або дуже малих), а також з історією виникнення й застосування деяких мір виміру. У таблицях 1.4, 1.5 і 1.6 приводяться одиниці виміру, що застосовуються в наш час, нарівні з одиницями СІ.

Таблиця 1.4 - Одиниці, які застосовуються в сполученні з одиницями СІ

Найменування	Позначення		Співвідношення з одиницею СІ
	міжнародне	українське	
Тонна	t	Т	10^3 кг
Хвилина	min	хв	60 с
Година	h	год	3600 с
Доба	d	доб	86400 с
Градус	... ⁰ ⁰	$(\pi/180)$ рад
Хвилина	... ^{''}	... ^{''}	$(\pi/110800)$ рад
Секунда	... ^{'''}	... ^{'''}	$(\pi/648000)$ рад
Літр	l	л	10^{-3} м ³
Градус Цельсія	⁰ С	°С	По розміру градус Цельсія дорівнює градусу Кельвіна

Таблиця 1.5 - Одиниці, які застосовуються в спеціальних областях науки і техніки

Найменування	Позначення		Співвідношення з одиницею СІ	Область застосування
	міжнародне	українське		
Астрономічна одиниця	ua	а. о.	$1,49598 \cdot 10^{11}$ м	астрономія
Світловий рік	ly	св. рік	$9,4505 \cdot 10^{15}$ м	
Парсек	pc	пк	$3,0857 \cdot 10^{16}$ м	
Діоптрія	-	дітр	1 м^{-1}	оптика
Гектар	ha	га	10^4 м ²	сільське й лісове господарство
Електронвольт	eV	eВ	$1,60219 \cdot 10^{-19}$ Дж	фізика

Таблиця 1.6 - Одиниці, що допускаються тимчасово до застосування

Найменування	Позначення		Співвідношення з одиницею СІ	Область застосування
	міжнародне	українське		
Морська миля	n. mile	міля	1852 м	У морській навігації
Карат	carat	кар	$2 \cdot 10^{-4}$ кг	При зважуванні дорогоцінних каменів
Вузол	kn	уз	0,514 м/с	У морській навігації
Оберт у секунду	r/s	об/с	1 с^{-1}	Вимір частоти обертання
Оберт у хвилину	r/min	об/хв	$1/60 \text{ с}^{-1}$	
бар	bar	бар	10^5 Па	Вимір тиску

Крім того, в науці й техніці використовуються відносні та логарифмічні величини і їхні одиниці. Це відносне подовження, відносна щільність, відносна діелектрична, магнітна проникність й ін. Відносна величина являє собою безрозмірне відношення фізичної величини до однойменної фізичної величини, прийнятої за вихідну.

Відносні величини можуть виражатися в безрозмірних одиницях (коли відношення двох однойменних величин дорівнює 1) або у відсотках (коли відношення дорівнює 10^{-2}), проміле (відношення дорівнює 10^{-3}), у мільйонних частках (відношення дорівнює 10^{-6}).

Логарифмічна величина являє собою логарифм (десятковий, натуральний або при основі 2) безрозмірного відношення двох однойменних фізичних величин. У вигляді логарифмічних величин виражаються рівні звукового тиску, посилення, ослаблення, частотний інтервал й ін.

Одиницею логарифмічної величини є бел (Б), обумовлений наступним співвідношенням:

$$1\text{Б} = \lg \frac{P_2}{P_1},$$

при $P_2 = 10P_1$, де $P_{1,2}$ - однойменні енергетичні величини (потужності, енергії, щільності енергії й ін.).

Дольною одиницею від бела є децибел, рівний 0,1 Б.

Для застосування одиниць на практиці слід користуватися таблицями, зазначеними у відповідних стандартах, таблицями, що подаються у довідкових виданнях, частина яких наведено в додатках А, Б, В та ін.

Способи написання й прочитання позначень такі:

- для позначення одиниць після числового виразу застосовують скорочення з однієї, двох або трьох перших букв найменування одиниці;

- скорочені позначення застосовуються тільки після числових значень (у тексті скороченими позначеннями користуватися не можна);

- скорочені позначення одиниць установлюються діючими стандартами, і відступати від установлених позначень не можна;

- скорочене позначення одиниць, найменування яких утворено за прізвищем вченого, пишуться з прописної букви (наприклад: ампер - А, ньютон - Н, джоуль - Дж, паскаль - Па й ін.);

- крапка як знак скорочення в позначеннях одиниць не застосовується (за винятком скорочених слів, які входять у найменування одиниці, але самі не є найменуваннями одиниць (наприклад: мм рт. ст.);

- позначення похідних одиниць, що входять у добуток, розділяються крапками на середній лінії, як знаком множення, наприклад: $N \cdot m$ (ньютон на метр и т.д.);

- для вказівки операції розподілу одних одиниць на інші як знак розподілу застосовується коса риска (не більше однієї); при цьому всі позначення одиниць містяться в рядок, а добуток одиниць у знаменнику записується в дужках, наприклад $Вт/(м \cdot К)$;

- у найменуваннях одиниць площі й обсягу застосовуються прикметники «квадратний», «кубічний» (квадратний метр, кубічний

метр);

- якщо другий або третій ступінь не являє собою площі або обсягу, то в найменуванні повинні застосовуватися вирази «у квадраті», «у третьому ступені» й ін.;

- найменування одиниць, що стоять у знаменнику, пишуться й читаються з прийменником «на» (метр на секунду у квадраті); виключення становлять одиниці величин, що залежать від часу в першому ступені: у цьому випадку одиниця, що стоїть у знаменнику, пишеться й читається з прийменником «у», наприклад: метр у секунду, кубічний метр у секунду та ін.

Приклад утворення похідної одиниці SI.

Площа (S, F, A).

Визначальне рівняння $S = l^2$

Розмірність площі $\dim = L^2$

Одиниця площі - квадратний метр (m^2) дорівнює площі квадрата зі сторонами, довжини яких рівні 1 м.

2. ВИМІРЮВАННЯ. МЕТОДИ Й ЗАСОБИ

2.1. Основні положення вимірювань

Вимірювання - одна з найдавніших операцій, що застосовується людиною в практичній діяльності. Для нього характерний органічний зв'язок спостережень і експерименту з визначенням чисельних значень характеристик досліджуваних об'єктів і процесів.

Вимірювання - операція, за допомогою якої визначається відношення однієї (вимірюваної) величини до іншої однорідної (прийнятої за одиницю).

Відповідно термінам і визначенням у метрології вимірювання - це знаходження значення фізичної величини досвідченим шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Вимірювання, як процес, здійснюваний у оточуючій людину матеріальній дійсності, містить у собі такі елементи:

- об'єкт вимірювань;
- одиниці вимірювань;
- технічні засоби вимірювань;
- методи вимірювань;
- пристрої, що сприймають результати вимірювань;
- остаточні результати вимірювань.

Об'єкт вимірювань має властивості або стан, яким характеризується вимірювана величина. Технічні засоби вимірювань повинні бути проградуєвані в обраних одиницях вимірювань. Як пристрої, що сприймають результат вимірювань, можуть бути реєструючі й запам'ятовуючі інформаційні системи. Тому що всяке вимірювання пов'язане з можливою похибкою, викликану різними причинами, то кінцевий його результат вимірювань може бути представлений після урахування впливу всіх факторів на цей процес.

За способом одержання числового значення вимірюваної величини вимірювання підрозділяються на такі види:

- прямі;
- непрямі;
- спільні;
- сукупні.

Прямими називаються вимірювання, що полягають в експериментальному порівнянні вимірюваної величини з її мірою. При прямих вимірювань об'єкт дослідження приводиться у взаємодію із засобом вимірювання й за показниками останнього відраховують значення вимірюваної величини. До прямих вимірювань відносять: виміри маси за допомогою ваг і гир; довжини - лінійки; електричної напруги - вольтметра й ін. Процедура прямих вимірювань може супроводжуватися рядом додаткових операцій (показання барометра, термометра й ін.). Крім того, вони лежать в основі більш складних вимірювань. Прямі вимірювання можна описати рівнянням:

$$X = cx,$$

де X - значення вимірюваної величини;

c - ціна поділки шкали (або показання цифрового відлікового пристрою в одиницях вимірюваної величини):

x - відлік по індикаторному пристрою в поділках шкали.

Непрямі вимірювання - це вимірювання, результат яких визначається на підставі прямих вимірювань величин, пов'язаних з вимірюваною величиною відомою залежністю. Взагалі цю залежність можна представити у вигляді функції:

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

у якій значення аргументів x_1, x_2, \dots, x_n є результатами прямих, а іноді непрямих, спільних або сукупних вимірювань.

Приклади непрямих вимірювань: об'єм прямокутного

паралелепіеда визначається за результатами прямих вимірювань довжини в трьох взаємоперпендикулярних напрямках; електричний опір - за результатами вимірювання спадання напруги й сили струму.

Згідно виду функціональної залежності розрізняються непрямі вимірювання з лінійною залежністю між вимірюваною величиною й вимірюваними аргументами; непрямі вимірювання з нелінійною залежністю між цими величинами й непрямі вимірювання із залежністю між величинами змішаного типу. Слід зазначити, що непрямі вимірювання деяких величин дозволяють одержати більш точні результати, ніж прямі.

Спільні вимірювання - одночасно здійснювані вимірювання двох або декількох неоднойменних величин. Вони можуть бути прямими або непрямыми. При спільних вимірюваннях знаходять функціональну залежність між величинами. У загальному виді вона знаходиться за формулою:

$$A_i = A_0(1 + \alpha b_i + \beta b_i^2),$$

де A_i - вимірювальне значення величини A при значенні спливаючої величини B_i ($i = 1, 2, 3$ - номер вимірювань);

A_0 - значення величини A при значенні $B=B_0$ і відповідній вихідній умові;

b_i - збільшення величини B ($B_i - B_0 = b_i$);

α - коефіцієнт лінійного члена формули;

β - коефіцієнт квадратичного члена формули.

Сукупними називаються вимірювання, у яких значення вимірюваних величин знаходять за даними повторних вимірювань однієї або декількох однойменних величин при різних їхніх сполученнях мір. Результати сукупних вимірювань знаходяться шляхом рішення системи рівнянь, що складаються за результатами декількох прямих вимірювань.

Крім того, вимірювання можуть бути:

- однократні;
- багаторазові;
- рівноточні;
- нерівноточні.

Однократне вимірювання - вимірювання, у результаті якого одержують одне значення від рахунку x , що використовується для одержання єдиного значення x засобу вимірювання, та має ту ж розмірність, що й вимірювана величина, і зв'язані залежністю:

$$X = x[Q],$$

де Q - фізична величина.

Умовою однократних вимірювань - погрішність методу й погрішність, внесена оператором, які повинні бути менше припустимої похибки вимірювань (їхня сума не більш 30% від припустимої похибки вимірювань).

Крім того, однократні вимірювання використовуються в тих випадках, коли технічні умови вимірювань не дозволяють провести повторне вимірювання.

Багаторазові вимірювання (однієї й тієї ж величини) виконуються для зниження похибки вимірювань і складаються з однократних вимірювань, що повторюються в однакових умовах тими самими засобами вимірювань. Загальна послідовність виконання багаторазових вимірювань однієї й тієї ж величини така:

- аналіз наявної інформації й підготовка до вимірювань;
- одержання відліку x ;
- одержання n значень показань x ;
- внесення виправлень і одержання n значень результатів вимірювань Q ;
- оцінка середнього значення результатів вимірювань;
- оцінка середнього квадратичного відхилення результату вимірювання Q ;

- оцінка середнього квадратичного відхилення середнього арифметичного значення;

- визначення меж, у яких перебуває значення вимірюваної величини ($Q - \varepsilon < Q < Q + \varepsilon$).

Багаторазові вимірювання дозволяють підвищити точність вимірювань до певної межі. Якщо ряд вимірювань якої-небудь величини виконаний однаковими по точності засобами вимірювань, у тих самих умовах й одним і тим же оператором, то такі вимірювання називаються **рівноточними**, тобто характеристики похибок груп вимірювань однакові.

Якщо змінюються умови вимірювань, здійснена заміна одних засобів вимірювань іншими, зміна оператора - все це приводить до одержання груп вимірювань з різними характеристиками похибок. Такі групи вимірювань називаються **нерівноточними**. До них також відноситься й група вимірювань, у яких вимірювання однієї й тієї ж величини здійснюються різними методами, що характеризуються різними похибками. Рівноточні й нерівноточні групи вимірювань можуть бути спільно статистично оброблені з метою одержання **результату вимірювань**. Слід зазначити, що він не є заключною частиною якого-небудь процесу діяльності, тобто вимірювання завжди підпорядковані якійсь меті. Наслідком підпорядкованості вимірювання є те, що значущість його результату визначається тією метою, заради якої вимірювання проводиться.

Діапазон значимості цілей, заради яких проводяться вимірювання, визначає діапазон вимог, поставлених до результатів вимірювань і до їх «якості».

Основними характеристиками якості результату є **точність** і **вірогідність**.

Точність вимірювань пов'язана зі станом сучасної вимірювальної техніки, теорією вимірювань і методів їхньої обробки. Прагнучи

підвищити точність вимірювань, необхідно намагатися якнайближче підійти до істинного значення вимірюваної величини, знизивши її похибки. Вони є наслідком багатьох причин, а саме: недосконалість засобів і методів вимірювань, вплив зовнішніх явищ (змінних і постійних), недосконалість обробки результатів вимірювань операторами, недостатня старанність проведення оператором вимірювання. Для опису похибок необхідно зменшувати вплив кожної із причин їхньої появи, а у випадку можливості повністю усувати. Однак шляхи підвищення точності в багатьох випадках складні, трудомісткі й дорого коштовні, вимагають тривалого часу й у деяких випадках не виправдано, тобто рівень точності, до якого варто прагнути конкретними умовами й метою вимірювання якого в загальному випадку можуть характеризуватися як критерії доцільності. І якщо підходити до межі наших знань, точність вимірювань є фактором, що обмежує їхнє подальше поглиблення. У той же час, з якою би високою точністю не проводилися вимірювання, якими б методами й прийомами не користувалися, ніколи немає можливості довідатися істинного значення вимірюваної величини, тобто завжди стоїть питання, який результат вимірювань найбільш близький до істинного.

Кінцевий результат вимірювань містить якусь похибку, яку можна виразити таким рівнянням:

$$A = x \pm \delta,$$

де δ - похибка результату i -го вимірювання;

x - результат i -го вимірювання;

A - істинне значення вимірюваної величини.

Тому що істинне значення вимірюваної величини залишається невідомим, то й числове значення погрішності також залишається невідомим.

Оцінку ступеня наближення результату вимірювання до

істинного значення вимірюваної величини дала теорія ймовірності. Вона дозволяє оцінювати ймовірні межі похибок, за які вони не виходять. Оцінка ця дається не зі сто процентною вірогідністю, а з трохи меншої. Вірогідність вимірювань характеризує ступінь довіри до результатів вимірювань, що в підсумку дає можливість для кожного конкретного випадку вибирати засоби й методи вимірювання. При цьому похибка отриманого результату не буде перевищувати заданих границь із необхідною вірогідністю.

2.2. Методи вимірювань

Методи вимірювань визначаються видом вимірюваних величин, їхніми розмірами, необхідною точністю результату, швидкістю процесу, умовами, при яких вони проводяться й рядом інших ознак.

Для прямих вимірювань можна виділити кілька основних методів:

- безпосередньої оцінки;
- диференціальний;
- нульовий;
- збігів;
- заміщень;
- протиставлення.

При непрямих вимірювань широко застосовується метод перетворення вимірюваної величини.

Метод безпосередньої оцінки - дає значення вимірюваної величини **безпосередньо** по відліковому пристрою вимірювального приладу прямої дії без яких-небудь додаткових дій з боку особи, що проводить вимірювання, і без обчислень (крім множення на сталу вимірювального приладу або ціну розподілу). Цей метод простий, але відзначається обмеженою точністю.

Найбільш численною групою засобів вимірювань, що

використовують метод безпосередньої оцінки, є показуючі прилади: манометри, барометри, динамометри, амперметри, вольтметри, ватметри, витратоміри, тягоміри, рідинні термометри й багато інших.

Диференційний метод характеризується вимірюванням різниці між вимірюваною величиною й величиною, значення якої відомо. Цей метод іноді називають різницевим або відносним. Вимірювання цим методом дозволяють одержати результати з високою точністю навіть при відносно грубих засобах для вимірювання різниці. Однак здійснення методу можливо тільки за умови відтворення з великою точністю відомої величини, значення якої близько до значення вимірюваної.

Перевага цього методу полягає в тім, що виготовити точну міру й порівняно грубий прилад для вимірювання невеликих величин легше, ніж прилад високої точності для вимірювання всієї величини в цілому. Схема вимірювання диференціальним методом показано на рисунку 2.1.

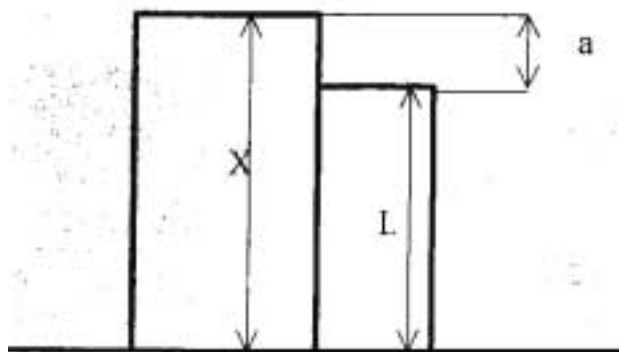


Рисунок 2.1 - Схема вимірювання довжини зразка диференційним методом

Сутність методу полягає в тім, що поруч із тілом, довжину якого необхідно виміряти, поміщено міра довжини. Розмір міри l відомий з достатньою точністю. Вимірявши різницю між довжинами цих двох предметів a , можна визначити шукану довжину $x = l + a$.

Оцінимо похибку вимірювання диференційним методом. Припустимо, що похибка вимірювання розміру a не перевищує β , тоді результат вимірювання можна зобразити вираженням $a \pm \beta$ або $a \left(1 \pm \frac{\beta}{a} \right)$, де $\frac{\beta}{a}$ - відносна похибка вимірювання a .

Визначимо відносну похибку вимірювання величини x :

$$x = l + a \pm \beta = (l + a) \left(1 \pm \frac{\beta}{l + a} \right),$$

де $\frac{\beta}{l + a}$ - відносна погрішність вимірювання x .

Тому що $l \gg a$, то $\frac{\beta}{l + a} \ll \frac{\beta}{a}$.

Тому при вимірюванні виходить висока точність навіть при використанні порівняно грубого вимірювального приладу. Це зумовлено використанням досить точної міри значення (l), що визначено з меншою похибкою, ніж x .

Нульовий метод - є одним з перших методів і його характерним прикладом є зважування вантажів на важільних вагах (рівноплечних і нерівноплечних). Сутність його полягає в наступному. Вимірювана величина порівнюється з величиною, значення якої відоме й домагаються того, щоб різниця між вимірюваною й відомою величинами рівнялася нулю. Збіг значень цих величин відзначається за допомогою нульового покажчика (нуль-індикатора).

Порівнюючи нульовий і диференційний методи необхідно відзначити, що при диференційному методі вимірюється різниця між двома величинами, а в нульовому методі приводиться ця різниця до нуля.

Недолік нульового методу (у порівнянні з диференційним) полягає в тому, що необхідно мати засіб вимірювання, що дозволяє відтворювати будь-які значення відомої величини без істотного

зниження точності. У той же час нульовий метод має істотну перевагу в порівнянні з диференціальним. Вона полягає в тім, що в диференційному методі потрібна міра, значення якої близьке до значення вимірюваної величини. Для вимірювання нульовим методом можна застосовувати міри в багато разів менше цієї величини. Наприклад, при зважуванні більших мас гиря 1 кг урівноважується 100:1000 кг і більше за допомогою нерівноплечних важелів. В іншому випадку, вимірювання відомої величини, що служить для порівняння, не завжди зручно або навіть можливо. У цих випадках використовують постійну за значенням величину, змінюючи плече, до якого вона прикладена. Відлік при цьому ведеться по шкалі, що вказує значення врівноваженої величини.

Як міру змінного значення використовують набори ваг, магазин опорів й ін.

В електричних вимірюваннях нульовим методом широко використовуються мостові схеми для вимірювання опору, індуктивності і ємності. На рисунку 2.2 показано схему мосту для вимірювання опору.

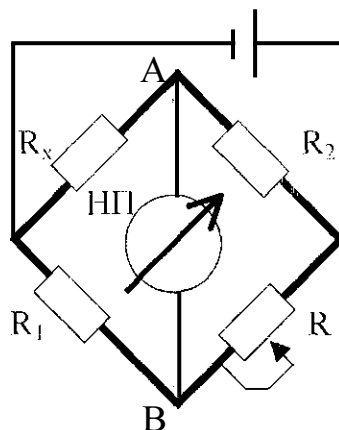


Рисунок 2.2 - Принципова схема електричного мосту

Схема складається з постійних опорів R_1 й R_2 , змінного опору R і вимірюваного опору R_x . До однієї діагоналі мосту підведене живлення, а в іншу діагональ включено нуль-гальванометр. Міст буде

перебувати в рівновазі, якщо буде дотримана така умова:

$$R \cdot R_x = R_1 \cdot R_2 .$$

У цьому випадку різниця потенціалів між крапками A і B (U_{AB}) буде дорівнювати нулю й стрілка нуль-гальванометра буде перебувати на нульовій позначці. Така рівновага досягається вимірюванням змінних опору R_x , у якості якого може бути реохорд, магазин опорів, реостат й ін. Вимірюваний опір визначається за формулою

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R} .$$

У випадку застосування реостата при його калібруванні про величину опору R_x можна робити висновок за станом двигуна реостата при рівновазі моста.

Нульовими методами є компенсаційні методи вимірювання ТЭДС, оптична пірометрія й ін.

Метод збігів характеризується використанням збігу показників шкал або періодичних сигналів. Принцип збігу сигналів лежить також в основі методів вимірювання, що використовують ефект биттів й інтерференції, а також стробоскопічний ефект.

Розглянемо принцип вимірювання штангенциркулем. Шкала ноніуса штангенциркуля (рисунок 2.3) має десять розподілів по 0,9 мм. Коли нульова оцінка шкали ноніуса опиниться між оцінками основної шкали штангенциркуля, це буде означати, що до цілого числа міліметрів варто додати деяке число x десятих часток міліметра ($x \cdot 0,1$).

Для визначення числа x є позначка оцінка шкали ноніуса, що збігається з якою-небудь оцінкою основної шкали (наприклад, n -я шкала ноніуса). Тому що вимірювана дробова частина міліметра $0,1x$ дорівнює різниці між цілим числом міліметрів за основною шкалою штангенциркуля (n мм) і відстанню за шкалою ноніуса від нульової до співпадаючої оцінки, рівного $n \cdot 0,9$ мм, можна записати:

$$0,1x = n - n \cdot 0,9 = 0,1n \text{ або } x = n.$$

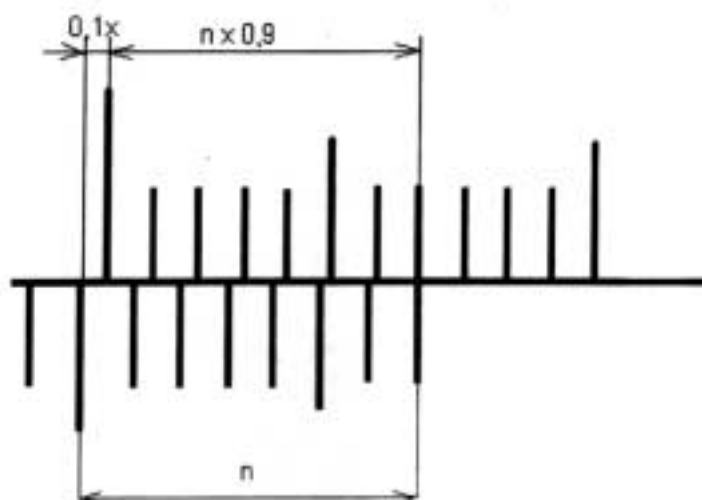


Рисунок 2.3 - Шкала ноніуса штангенциркуля

Отже, порядковий номер співпадаючої позначки ноніуса безпосередньо дає число десятих часток міліметра ($n=7$ й $0,1x = 0,7$ мм).

Метод збігів застосовують при прийомі сигналів часу. По радіо передаються ритмічні сигнали, з якими порівнюють удари хронометра. Причому інтервал між сигналами, що передаються, не повинен бути рівним 1 с, тому що при розбіжності ударів хронометра з ритмічними сигналами вони можуть не збігатися в усьому проміжку часу передачі й порівняння було б з низькою точністю. Тому ритмічні сигнали передаються через інтервали часу на $1/60$ коротше секунди, тобто число сигналів протягом 1 хвилини дорівнює 61. Ритмічні сигнали передаються в кількості п'яти серій протягом 5 хвилин (усього 306 сигналів). При одночасному прослуховуванні ритмічних сигналів і сигналів від годин із секундним маятником відзначають співпадаючі сигнали. Погрішність годин обчислюють за інтервалами часу між співпадаючими сигналами.

Явище биттів використовується головним чином для встановлення рівності або різниці двох близьких за частотою

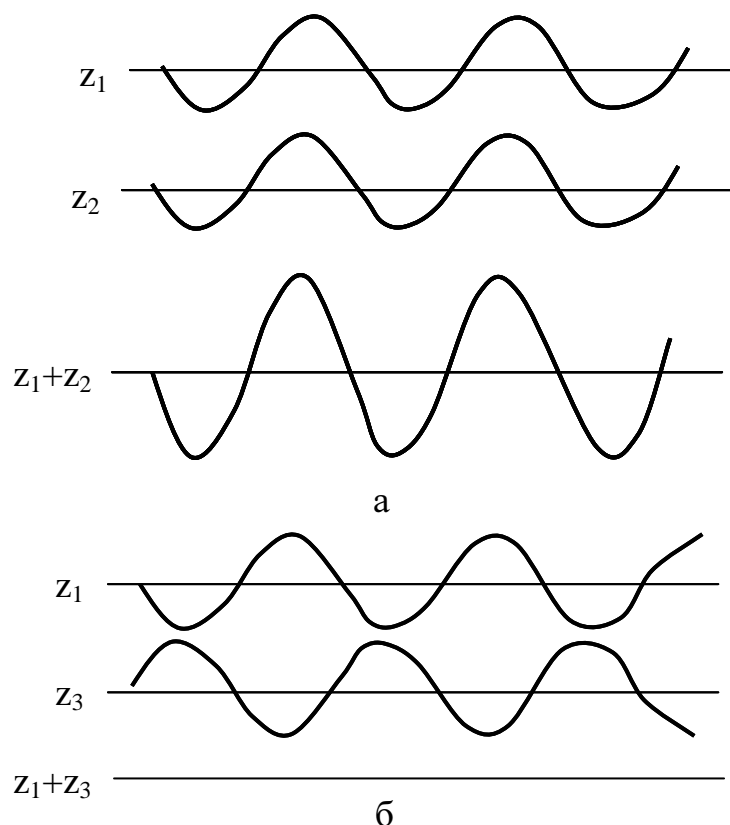
коливань. Сутність явища полягає в тому, що амплітуди двох високочастотних коливань при збігу складаються, потім перестають збігатися по фазі й через якийсь час виявляються в протифазі. При цьому, якщо амплітуди рівні, їхня сума стає рівною нулю. Через такий же проміжок часу збігаються й складаються негативні амплітуди й т.д. Так утворюються низькочастотні коливання, які й називаються биттями. Чим менше різниця порівнюваних частот, тим менше частота биттів. Ці коливання можна спостерігати на екрані осцилоскопа або по стрілочному електровимірному приладі. Вимірюючи одну із частот, доводять частоту биття до нуля або, визначаючи частоту биттів, знаходять різницю між відомою й невідомою частотами.

Інтерференція - додавання двох (або декількох) хвиль із однаковими періодами, у результаті чого в одних точках простору відбувається збільшення, а в інших - зменшення амплітуди результуючої хвилі. Явище інтерференції світла широко використовується для точних вимірювання довжини. Воно подібне до явища биттів і той же час воно має принципову відмінність. Явище биттів застосовується для порівняння частот коливань, одержуваних від двох джерел. Інтерференція спостерігається при взаємодії коливань однієї й тієї ж частоти, але зрушених за фазою. Коли коливання двох променів a_1 й a_2 збігаються за фазою (рисунок 2.4), то сумарна амплітуда дорівнює сумі їхніх абсолютних значень і при цьому видно світлу точку або смугу.

Коли коливання перебувають у протифазі і їхні амплітуди протилежні за знаками, то сумарна амплітуда дорівнює різниці цих значень і видно темну точку або смугу.

Для практичного використання явища інтерференції рівняються інтерференційні картини двох повітряних клинів (кут яких дорівнює $1-2^0$), утворених однією прозорою площиною й двома відбивними паралельними площинами. Відстань між кожною парою темних смуг

відповідає збільшенню клина на довжину напівхвилі. Товщина клина визначається за кількістю смуг. Явище інтерференції використовується для вимірювання довжин з різними ступенями точності (до еталонних вимірювань включно).



а - співпадаючі за фазою; б - перебувають у протифазі

Рисунок 2.4 - Схема додавання коливань

Стробоскопічний ефект - зорова ілюзія, що виникає у випадках, коли спостереження здійснюється не безперервно, протягом окремих інтервалів часу, що періодично проходять один за одним, й обумовлено інерцією зору, тобто збереженням у свідомості спостерігача сприйнятого зорового образу на якийсь (малий) час після його зникнення. Цей ефект використовується для вимірювання, пов'язаних з періодичними процесами: швидкість обертання, частота коливань, частота змінного струму й ін. Принцип стробоскопічного методу можна пояснити на такому прикладі. Якщо диск розділити на

два півкола - чорне і біле (рисунок 2.5) і обертати з певною кутовою швидкістю, наприклад 1 об/с, і освітлювати диск спалахами з частотою один раз у секунду, то кожен спалах буде висвітлювати диск у тому самому положенні, і він буде здаватися нерухомим. При збільшенні кутової швидкості наступний спалах освітить диск, коли він пройде початкове положення на невелику відстань. Наступні спалахи будуть висвітлювати диск, зміщений стосовно попереднього положення, і в цілому створюється враження повільного обертання малюнка у бік обертання диска. При кутовій швидкості меншій 1 об/с уявне обертання малюнка буде спрямоване в протилежну сторону. Вимірявши час, за яке малюнок зробить 1 оберт (уявний), можна обчислити кутову швидкість диска. Однак такий спрощений підхід не виключає грубих помилок, тому що при одній і тій же частоті спалахів диск при обертанні з кутовою швидкістю, більшою у два, три або будь-яке ціле число раз, буде здаватися стоячим на місці. Тому на диску розташовують ряд концентричних кіл (рисунок 2.6), розділених на різне число розподілів.

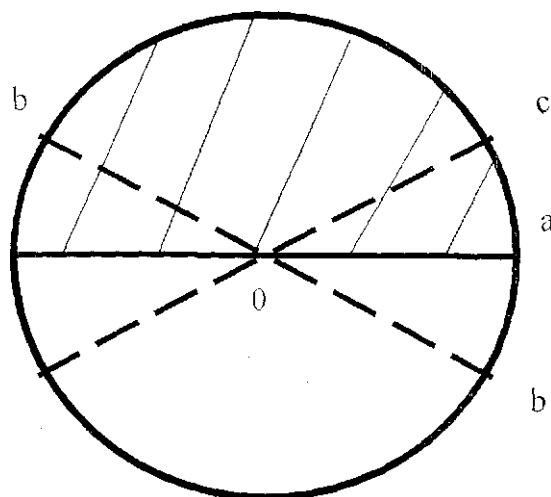


Рисунок 2.5 - Стробоскопічний ефект

По уявній зупинці тієї або іншої фігури роблять висновок про кутову швидкість. Якщо жодна фігура не зупиняється, то визначають уявну кутову швидкість фігури, що обертається найбільш повільно, й

обчислюють дійсне значення швидкості. Частота спалахів вибирається не більше 16 у секунду, тому що при більшій частоті диск здається безперервно освітленим.

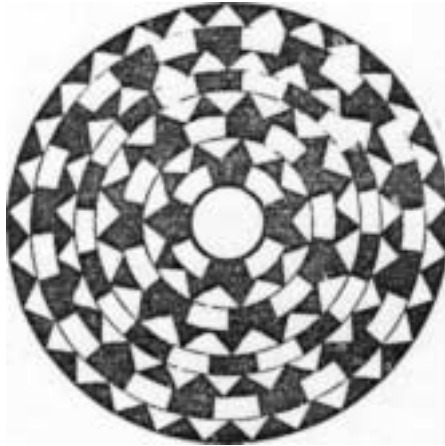


Рисунок 2.6 - Стробоскопічний диск

Метод **заміщення** заснований на тому, що вимірювана величина замінюється у вимірювальній установці мірою й шляхом зміни міри установка приводиться в колишній стан. На рисунку 2.7. показано схему вимірювання опору методом заміщення.

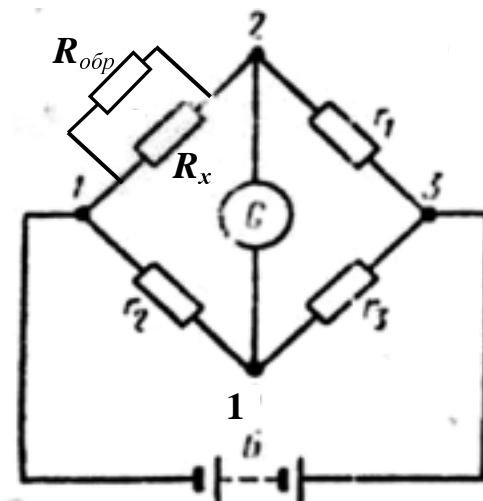


Рисунок 2.7 - Схема методу заміщення

При зміні опору вимірюється струм, що протікає в ланцюзі R_x . Потім замість опору R_x включається зразковий змінний резистор $R_{обр}$ і

шляхом зміни опору цього резистора встановлюється такий же струм. При сталості напруги джерела живлення буде виконуватися співвідношення

$$R_x = R_{обр}.$$

Метод протиставлення полягає в тому, що вимірювана величина й величина, відтворена мірою, одночасно впливають на пристрій порівняння, за допомогою якого встановлюється співвідношення між цими величинами. Наприклад, при вимірюванні опору резистора за допомогою мостової схеми, він по черзі поміщається в різні плечі моста.

У більшості випадків вимірювання здійснюються методом перетворення вимірюваної величини. Навіть прості вимірювання проводяться цим шляхом. Однак найбільш конкретне поняття перетворення вимірюваної величини належить до непрямих вимірювань, які також мають певні різновиди.

Так, знаходження значення вимірюваної величини виконується шляхом прямих вимірювань величин, що визначають відому залежність. Наприклад, вимірювання опору резистора R визначається з рівняння $R = \frac{U}{I}$, у якому підставляється обмірюване значення спадання напруги U на резисторі й струму I через нього.

Другим різновидом непрямих вимірювань є вимірювання шляхом перетворення вимірюваної величини в іншу, яка по своїй природі істотно відрізняється від вимірюваної, але зв'язану з нею стійкою залежністю. Перетворення вимірювальних величин у зручні для визначення засновані на окремих фізичних явищах або властивостях речовин. В основному перетворення вимірюваних величин здійснюється в електричні або магнітні показники. Для цієї мети застосовується кілька типових методів:

- використання термоелектричного ефекту - явищ Зеебека й

Томсона для вимірювань температур термопарою, що є перетворенням температури в електричну величину - ЕРС постійного струму. Сутність термоелектричного ефекту полягає в тому, що якщо два провідники з різних матеріалів з'єднані кінцями в замкнутий контур і місця з'єднань при різних температурах t_1 і t_2 , то в контурі виникає електричний струм. Провідники називаються термоелектродами й утворюють термопару. Одне з місць з'єднання, що поміщає в середовище з вимірюваною температурою, є робочим кінцем термопари, друге - її вільним кінцем.

- використання явища зміни електричного опору металів, електролітів і напівпровідників в залежності від температури. Опір металів, у загальному випадку, підвищується з підвищенням температури. Це також стосується й різних матеріалів з позитивним температурним коефіцієнтом опору. У той же час, опір електролітів і матеріалів з негативним температурним коефіцієнтом опору зменшується при підвищенні температури. Як матеріали придатні тільки ті фізичні й хімічні властивості, які не змінюються часом у вимірюваному діапазоні температур. Співвідношення між температурою й опором визначається або математичними формулами або за експериментально певними градуйованими кривими.

- використання явища електричного опору деяких металів при розтягненні й стискуванні в межах їхньої пружності. Це дозволяє вимірювати малі деформації тіл і зусилля в умовах роботи різних частин машин. Крім того, цим способом можна вимірювати високі й надвисокі тиски.

- використання фотоелектричного ефекту, наслідком якого є утворення ЕРС, при освітленні на межі напівпровідник - метал. На цій основі розроблені фотоелементи, що дають можливість вимірювати світлові величини методом безпосередньої оцінки.

- використання явища зміни електричного опору деяких

напівпровідників під дією світла. Це явище застосовується для виготовлення фотоопорів, які мають більш високу чутливість, ніж фотоелементи.

- застосування залежності яскравості світіння тіла від температури, яка у свою чергу залежить від сили струму, що розжарює нитки, і що дозволяє вимірювати температуру безконтактним методом шляхом порівняння яскравостей нагрітого тіла й нитки (за допомогою оптичного пірометра).

- використання явища п'єзоелектричного ефекту. Сутність його полягає в тому, що на гранях деяких кристалів, якщо прикладено силу, що здавлює або розтягує їх, виникає ЕРС. А якщо до кристалів прикладена напруга, вона деформується. П'єзоелектричний ефект, практично безінерційний і застосовується для вимірювання тиску, вібрації, частоти електричних коливань й ін.

- використання магнітної проникності тіл з феромагнітних матеріалів, що міняється залежно від прикладених до них механічних сил (розтягуючих, стискаючих, згинаючих, скручуючих). Спостерігається й зворотне явище: у феромагнітному тілі при внесенні його в магнітне поле виникають механічні деформації. Магнітне поле, що змінюється при механічному впливі, вимірюється за допомогою котушок, обмотки яких поміщають на феромагнітному осерді. Такі перетворювачі застосовуються головним чином у техніці вимірювання звукових й ультразвукових тисків, при зважуванні й ін.

- використання зміни електричної ємності для вимірювання малих розмірів і малих переміщень. Відомо, що електрична ємність плоского конденсатора виражається формулою

$$C = \frac{\epsilon S}{d},$$

де C - ємність конденсатора; '

ϵ - діелектрична проникність діелектрика, що перебуває між

обкладками;

S - площа його обкладки;

d - відстань між обкладками.

- переміщення вимірюють також по зміні індуктивності котушки із осердям з магнітом'якого матеріалу. Зміна повітряного зазору в осерді викликає зміну індуктивного опору котушки, що визначається електричними методами. Один із прикладів - осьове зрушення ротора турбіни.

- застосування електрохімічних перетворювачів (хімотронів), в яких використовуються фізико-хімічні явища, що супроводжують протікання електричного струму через рідини й основані на переносі електричних зарядів іонами в рідині. Такі перетворювачі використовуються при вимірюванні тиску, рівня рідини, витрати речовин, температури, вібрацій, швидкості обертання, прискорення й ін.

2.3. Засоби вимірювань

Технічні засоби, які використовуються для проведення експериментальної частини вимірювань і мають нормовані метрологічні властивості (характеристики) називаються засобами вимірювань. До них належать: міри, вимірювальні прилади, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні установки й вимірювальні системи.

Засоби вимірювання є носіями одиниць, в яких бажають виразити вимірювані величини. І в зв'язку з більшою кількістю видів вимірюваних величин принципи дії засобів вимірювань дуже різноманітні. В основі їх дії лежать механічні, електричні, електронні, магнітні, оптичні, термічні, акустичні, хімічні й інші явища, а також їхнього сполучення. Крім того, засоби вимірювань класифікуються за іншими досить різноманітними ознакам, до яких належать:

- принцип дії;
- спосіб утворення показань;
- спосіб одержання числового значення вимірюваної величини;
- точність;
- умови застосування;
- ступінь захищеності від зовнішніх магнітних та електричних впливів;
- міцність і стійкість проти механічних впливів і перевантажень;
- стабільність;
- чутливість;
- межі й діапазон вимірювань.

Найбільше число ознак охоплює класифікація вимірювальних приладів, мова про які піде нижче.

За метрологічним призначенням засоби вимірювань поділяються на зразкові й робочі.

Робочі засоби вимірювань служать тим або іншим конкретним цілям у різноманітній діяльності людини.

Зразкові засоби вимірювань призначені для перевірки за ними робочих засобів вимірювань і зразкових, але з менш високою точністю.

Процес передачі розміру одиниць від зразкових засобів вимірювань вищої точності робочим і зразковим засобам вимірювань більш низької точності являють собою **перевірку засобів вимірювань**. Тому до зразкових засобів вимірювань пред'являються вищі вимоги відносно відтворюваності показань, чим до аналогічних робочих засобів вимірювань. Необхідно засвоїти, що заборона застосовувати зразкові засоби вимірювань для практичних вимірювань є одним з найважливіших правил метрології. У той же час, яким би точним не був засіб вимірювань, застосовуване для практичних вимірювань, воно не може застосовуватися для перевірки

інших засобів вимірювань.

Структурну схему засобу вимірювання показано на рисунку 2.8.

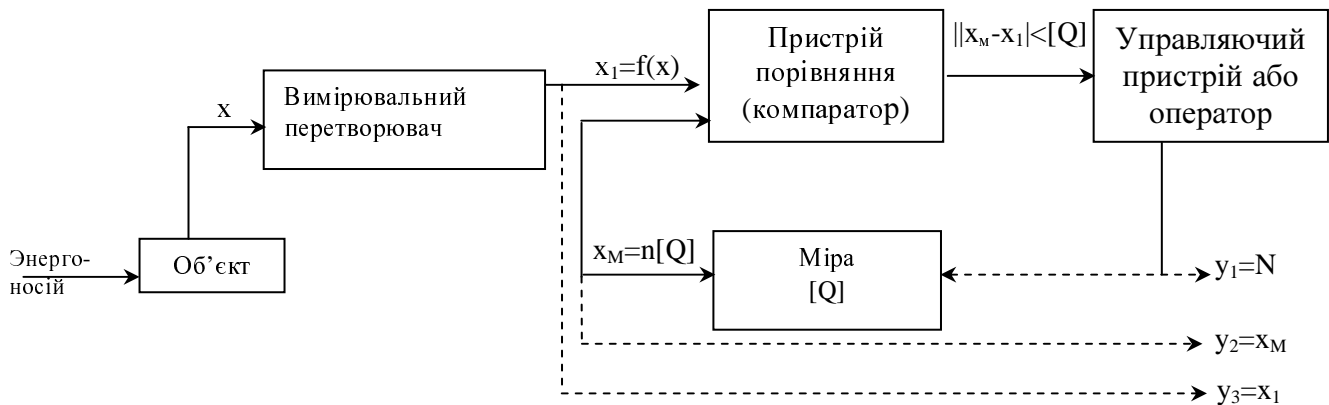


Рисунок 2.8 - Узагальнена структурна схема засобу вимірювання

Вхідний сигнал X від об'єкта (він же вимірювальний сигнал) перетвориться в пропорційний йому сигнал X_1 . У деяких засобах вимірювання перетворювач може бути відсутнім, тоді вхідний сигнал буде подаватися безпосередньо на один із входів пристрою порівняння.

Сигнал з виходу вимірювального перетворювача надходить на перший вхід пристрою порівняння, на другий вхід якого подається відомий сигнал з виходу міри (у якій зберігається й відтворюється міра даного вимірюваного фізичного параметра). Роль міри можуть виконувати, наприклад, гирі з відомою вагою, звітні шкали, попередньо проградуйовані в одиницях вимірюваної величини, термометр, нормальний елемент у потенціометрах й ін. Значення вихідної величини X_M міри може змінюватися залежно від величини цифрового коду N , значення якого може змінюватися оператором або автоматично. Величина вихідного сигналу міри змінюється, кратними одиниці порівнюваних величин (у побутовому термометрі ця ступінь або квант дорівнює 1°C , а в медичному - $0,1^{\circ}\text{C}$).

Порівняння вимірюваної й відомої величин здійснюється за допомогою пристрою порівняння (компаратора). Пристрій порівняння подає інформацію про те, яке значення вихідного сигналу

2.4. Елементарні засоби вимірювань

Міри. До них належать засоби вимірювань, призначені для відтворення фізичних величин заданого розміру. *Міри, що відтворюють фізичні величини лише одного розміру, називаються однозначними*, а міри, які можуть відтворювати ряд розмірів фізичної величини, називаються багатозначними. До останніх належать міліметрова лінійка, варіометр, конденсатор змінної ємності й ін.

Сукупність мір, що застосовуються як окремо, так й у різних сполученнях з метою відтворення ряду значень фізичної величини в певних межах, називається *набором мір*. Необхідно підкреслити, що під цим поняттям мається на увазі не довільна група мір з будь-якими значеннями, а сукупність мір з доцільно обраним їх рядом значень.

Магазин мір - набір мір, у якому вони об'єднані в одне конструктивне ціле із пристроєм для з'єднання їх у різних сполученнях (магазин опорів, індуктивності, ємності).

До мір також належить **стандартні зразки й зразкові речовини**, які являють собою спеціально оформлені тіла або проби речовини певного й суворо регламентованого змісту, одне із властивостей яких за певних умов є величиною з відомим значенням. Це зразки твердості, шорсткості, білої поверхні. Зразкові речовини служать для створення реперних точок при відтворенні температурних шкал. Наприклад, чистий цинк служить для відтворення температури $419,58^{\circ}\text{C}$, золото - $1064,43^{\circ}\text{C}$ и ін.

Міра характеризується дійсним значенням величини, яку вона відтворює і яка називається **дійсним значенням міри**. Її визначають при вимірювання шляхом виключення систематичних похибок і відомості до мінімуму параметрів випадкових похибок. Похибка визначення дійсного значення називається **похибкою атестації міри**.

Номінальне значення міри - значення величини, якому із припустимими відхиленнями повинно бути дійсне значення міри.

Різниця між номінальним і дійсним значеннями визначає **похибка міри**. Похибка міри постійна й величина зворотна їй за знаком є виправленням до нормального значення міри. Номінальне й дійсне значення міри, похибка її атестації вказуються в спеціальному свідченні, яким супроводжується міра.

Залежно від погрішності атестації міри підрозділяються на розряди (міра 1-го, 2-го й ін. розрядів) і на класи. Міри, яким привласнений розряд, застосовуються для перевірки вимірювальних засобів і називаються зразковими. Міри, поділені на класи, називаються робочими й використовуються для технічних вимірювань.

Пристрій порівняння (компаратор) (рис. 2.10) – це засіб вимірювання, за допомогою якого можна зрівняти один з одним міри однорідних величин або показання вимірювальних приладів.

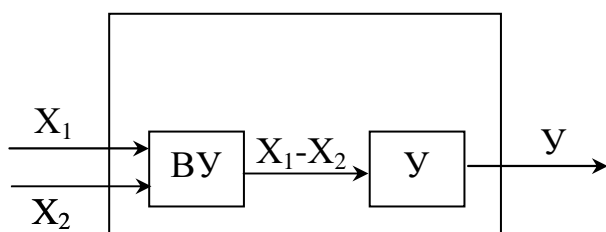


Рисунок 2.10 - Структурна схема компаратора

Прикладами можуть бути: важільні ваги, на одну чашку яких установлюється зразкова гиря, а на іншу - що перевіряє; ЕРС термопари порівнюється з напругою нормального елемента як зразкового приладу.

У сучасній електронній техніці як компаратор використовуються спеціальні інтегральні мікросхеми. В електронних компараторах порівняння виробляється шляхом послідовного з'єднання обчислювального пристрою (ОП), на вході якого формується різниця вхідних сигналів $\Delta x = x_1 - x_2$, і підсилювача (П), що виконує функцію індикатора знака різниці. Ступінь досконалості компаратора визначається мінімально можливим порогом чутливості, а також його швидкодією.

Вимірювальні перетворювачі - засоби вимірювання, що служать для виробітку сигналу вимірювальної інформації у формі,

зручної для передачі, подальшого перетворення, обробки й зберігання, але такої, що не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем.

Вимірювальні перетворювачі підрозділяються на:

- **первинні**, до яких підводиться безпосередньо вимірювальна величина. Ці перетворювачі ще називають приймальними, тому що їм характерно те, що на них діє вимірювальна величина безпосередньо;

- **передавальні**, які служать для перетворення вимірювальної величини в іншу фізичну, зручну для передачі її на відстані й реєстрації її;

- **масштабні**, які служать для перетворення фізичної величини шляхом зміни її розміру в певне число раз, без зміни фізичної природи.

Іноді такі перетворювачі називаються підсилювачами. Прикладами таких пристроїв є підсилювачі напруги, трансформатори струму й ін.

За видом вхідних і вихідних величин вимірювальні перетворювачі діляться на :

- **аналогові**, перетворюючі одну аналогову величину в іншу аналогову величину;

- **аналого-цифрові** (АЦП), призначені для перетворення аналогового вимірювального сигналу в цифровий код;

- **цифро-аналогові** (ЦАП), призначені для перетворення цифрового коду в аналогову величину.

Комплексні засоби вимірювань призначені для здійснення всіх елементів процесу вимірювання. До них належать вимірювальні прилади й установки, вимірювальні системи й вимірювально-обчислювальні комплекси.

Вимірювальні прилади – це засоби вимірювання, призначені для одержання значень вимірюваної фізичної величини у встановленому діапазоні її вимірювання й виробітку сигналу вимірювальної інформації, доступної для безпосереднього сприйняття спостерігачем. Узагальнену структурну схему вимірювального приладу показано на рисунку 2.11.

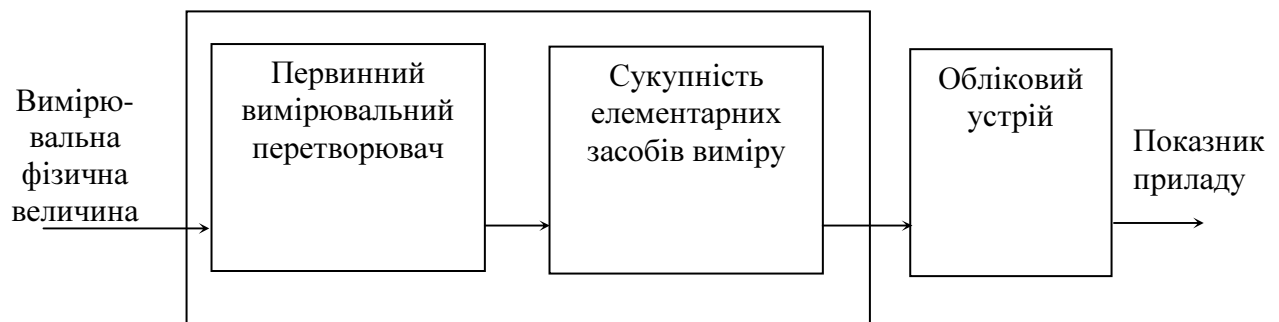


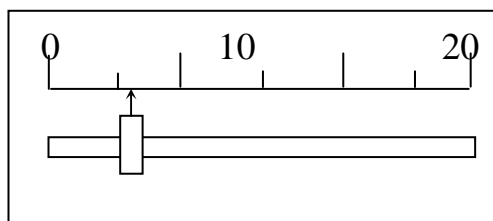
Рисунок 2.11 - Узагальнена структурна схема вимірювального приладу

Вимірювана фізична величина впливає на пристрій перетворення, яке складається з первинного вимірювального перетворювача й сукупності елементарних засобів вимірювань. Первинний перетворювач перетворить вимірювальну фізичну величину в іншу величину, однорідну або неоднорідну з нею. Сигнал з виходу перетворювача проходить через сукупність вимірювальних засобів вимірювань. У найпростіших вимірювальних приладах така сукупність може бути відсутньою. На виході пристрою перетворення формується сигнал, що приводить у роботу відліковий пристрій.

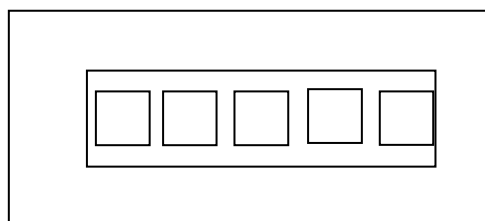
Відліковий пристрій (рис. 2.12) – це елемент засобу вимірювання, що перетворює вимірювальний сигнал у форму, доступну сприйняттю органами чуттів людини. За формою подання показань відліковій пристрої діляться на аналогові й цифрові.

Складовими частинами відлікового пристрою є шкала й покажчик. Для цифрових шкал самі числа є еквівалентами позначка шкали. Поділку шкали мають ціну. Ціна поділки шкали - це різниця значень величин, що відповідають двом сусіднім оцінкам шкали

засобу вимірювання. Позначки наносяться на шкалу при градуюванні приладу, тобто при подачі на його вхід сигналу від зразкового приладу або еталона.



1 - аналогове



2 - цифрове

Рисунок 2.12 - Відлікові пристрої вимірювальних приладів

Кожен засіб вимірювань характеризується діапазоном показань і діапазоном вимірювань. *Діапазоном показань* називається область значень шкали приладу, обмежена її початковим і кінцевим поділками. *Діапазоном вимірювань* називається область значень фізичної величини, у межах якої що допускаються нормовані погрішності засобу вимірювань. Діапазон вимірювань завжди менше або дорівнює діапазону показань.

Вимірювальні прилади класифікуються за різними ознаками, і суворо встановленої класифікації немає. Окремі групи приладів можуть класифікуватися за якими-небудь приватними ознаками залежно від завдань класифікації.

Перелічимо найбільш загальні ознаки для вимірювальних приладів та їхню класифікацію за ними.

За способом визначення значення вимірюваної величини прилади бувають:

- компаруючі, які служать для порівняння мір один з одним або для порівняння вимірювальної величини з окремими від приладу мірами;

- прилади безпосереднього вимірювання, що мають попередньо градуйоване відлікове пристосування, за якими визначається значення вимірювальної величини (вольтметр, амперметр).

За способом видачі результату вимірювань прилади діляться на:

- такі, що показують і мають відлікове пристосування для візуального відліку показань;

- що реєструють, здійснюють запис вимірюваної величини у вигляді графіка або у вигляді ряду чисел (ЦПУ).

За характером зміни вимірюваної величини прилади призначаються:

- для статичних і динамічних вимірювань.

Перша група приладів використовується для вимірювання практично незмінних у часі (у процесі вимірювання) величин, а друга служить для вимірювання величин, що міняються під час вимірювань.

За призначенням прилади діляться на:

- робочі прилади й зразкові.

Перший вид - це прилади, призначені для практичних вимірювань, другий - для перевірки й градуировки робочих приладів.

За родом роботи бувають прилади:

- з рухливими вимірювальними системами, у яких енергія вимірювальної величини перетворюється в механічну енергію переміщення покажчика відлікового пристосування. З наведенням, які для вимірювання використовують операції (переміщення деяких елементів приладу автоматичні, у яких необхідні операції виробляються не оператором, а автоматично (автоматичні потенціометри, мости й ін.).

За способом нормування точності прилади підрозділяються на:

- лабораторні, при користуванні якими необхідно враховувати точність вимірювання (визначати похибку вимірювань, вводити виправлення й ін.).

- технічні, при застосуванні яких приймається певна, наперед установлена точність.

За родом вимірюваної величини прилади можуть бути:

електровимірювальні, механічні, акустичні, оптичні, прилади для лінійно-кутових вимірювань й ін.

Класифікація, наведена в цьому пункті, не вимагає пояснень, тобто яка величина вимірюється за тією ж і класифікується.

За способом утворення результату вимірювань вони класифікуються на:

- прилади безперервних вимірювань, які реагують на безперервні зміни вимірюваної величини;
- прилади дискретних вимірювань (цифрові вимірювальні прилади), що реагують на кінцеві зміни (кванти) вимірюваної величини.

Аналогові прилади – це прилади, вихідний сигнал яких є безперервною функцією вимірюваної величини.

Цифрові прилади – це прилади, принцип дії яких заснований на квантуванні (поділ на окремі інтервали) вимірюваної величини. Показання таких приладів представлені в цифровій формі.

У процесі квантування нескінченній безлічі значень вимірюваної величини ставиться у відповідність кінцева й безліч можливих показань цифрового приладу. Число кінцевих множинних показань визначається схемою аналого-цифрового перетворювача, що виконує в цифровому приладі операцію квантування.

Структурну схему цифрового приладу показано на рисунку 2.13.

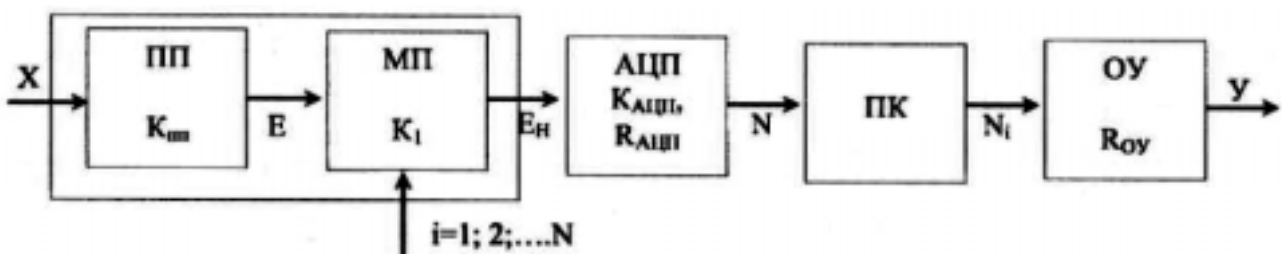


Рисунок 2.13 - Структурна схема цифрового вимірювального приладу

Вимірювана фізична величина X (наприклад, температура) впливає на первинний вимірювальний перетворювач (чутливий

елемент), що має коефіцієнт перетворення K_m . Він перетворить величину X у електричний сигнал E . У цьому випадку $E = K_m \cdot X$. Цей електричний сигнал надалі надходить на масштабний вимірювальний перетворювач (МП), необхідний для зміни меж вимірювання цифрового приладу. Він може мати різне число діапазонів вимірювання від 1 до N .

Масштабний перетворювач (МП) змінює (зменшує або збільшує) вхідний електричний сигнал у задане число K_i раз ($i=1;2;3;\dots N$) так, щоб сигнал E_n на його виході був нормований, тобто в заданих межах.

Нормований сигнал $E_n = K_i \cdot K_m \cdot X$ перетвориться аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) у цифровий код N , що має розрядність $R_{АЦП}$.

У наш час розроблено велику кількість різних методів перетворення аналогової вимірюваної величини в її цифровий еквівалент, реалізований в АЦП.

До основного з них належать методи послідовних наближень, подвійного інтегрування, перетворення напруги в частоту. При використанні двійкового цифрового коду в АЦП число можливих вихідних кодів комбінацій становить $M = 2^{R_{АЦП}} - 1$. Отриманий двійковий цифровий код надходить на перетворювач кодів (ПК), що перетворює вихідний цифровий код АЦП у код, що «розуміється» цифровим відліковим пристроєм (ВП). Найчастіше на практиці роблять перетворення двійкового коду у двоїчно-десятковий.

Цифрові ВП виконуються у вигляді цифрових табло, дисплеїв, заснованих на різних фізичних принципах. Вони перетворюють код у показання, зрозумілі людині.

До складу вимірювального приладу входять вузли й деталі, що служать для сприйняття величини, що впливає на прилад, а також для перетворення її в показання, які можуть бути відлічені спостерігачем

(оператором). Вимірювальний прилад може містити також вузли, призначені для виконання додаткових дій (регулювання, сигналізації, дозування, сортування, посилки кодованих сигналів й ін.).

Вимірювальні установки - це сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань, у яких для перетворення вимірюваної величини в сигнал служать одне або кілька вимірювальних і ряд допоміжних пристроїв. До їхнього складу можуть входити вимірювальні прилади, міри, вимірювальні пристосування й вимірювальні перетворювачі, а також допоміжні й регулюючі пристрої, джерела живлення. Вимірювальна установка, обладнана зразковими засобами вимірювань і призначена для перевірки інших засобів вимірювань, називається перевіркою установкою.

Сучасні технологічні процеси й установки відрізняються великою складністю й для керування потрібно значення сотень і тисяч різних фізичних величин. Обробка більших обсягів інформації стала можливою тільки при використанні вимірювальних систем і вимірювально-обчислювальних комплексів.

Вимірювальні системи – це сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань, засобів обчислювальної техніки й допоміжних пристроїв, призначених для обробки всієї інформації, що надійшла від об'єкта, з метою утворення керуючих сигналів і проведення техніко-економічного аналізу роботи даного об'єкта.

В залежності від конкретних умов вимірювальні системи можуть бути тільки вимірювальні, контролюючі або керуючі.

Важливим різновидом вимірювальних систем є інформаційно-вимірювальні системи, призначені для подання вимірювальної інформації у вигляді, необхідної споживачеві. Серед них розрізняють системи:

- з заздалегідь заданим алгоритмом роботи, правила функціонування яких не змінюються, тому вони можуть бути

використані для об'єктів, що працюють у постійному режимі;

- програмувальні, алгоритм роботи яких міняється по заданій програмі, що відповідає особливостям роботи об'єкта;

- адаптивні, алгоритм роботи яких змінюється, пристосовуючись до змін умов роботи об'єкта.

Однією з різновидів інформаційно-вимірювальної системи є вимірювально-обчислювальні комплекси. Основними ознаками таких систем є: наявність процесора або комп'ютера, програмне керування засобами вимірювань, наявність нормованих метрологічних характеристик, блочно-модульна структура.

Дана система складається із двох підсистем:

- технічна (апаратна);
- програмна (алгоритмічна).

Технічна підсистема містить засоби вимірювання електричних величин (вимірювальні пристрої), засобу обчислювальної техніки (обчислювальні пристрої), міри поточного часу, засобу вводу-виводу цифрових й аналогових сигналів.

Програмна підсистема містить системне й загальне прикладне програмне забезпечення. Системне програмне забезпечення являє собою сукупність програмного забезпечення комп'ютера й додаткових програмних засобів, що дозволяють працювати в діалоговому режимі усередині підсистеми комплексу.

Вимірювально-обчислювальні комплекси призначені для виконання таких функцій:

- здійснення прямих, непрямих, спільних або сукупних вимірювань фізичних величин;

- керування процесом вимірювань і впливом на об'єкт вимірювань;

- подання операторові результатів вимірювань у необхідному виді.

Основними складовими частинами комплексу є:

- комп'ютер з периферійними пристроями, підключеними до нього;
- програмне забезпечення, що представляє собою сукупність взаємозалежних програм, написаних на алгоритмічних мовах різного рівня;
- інтерфейс, що організовує зв'язок технічних пристроїв комплексу з комп'ютером;
- формувач іспитових сигналів, якими впливають на об'єкт вимірювання з метою одержання вимірювальних сигналів.

Засоби вимірювань, як і будь-яка продукція, повинні відповідати певним показникам якості, основними з яких є:

- *показники призначення* характеризують властивості, що визначають основні функції, для виконання яких вона пристосована й обумовлюють область її застосування. До них належать метрологічні характеристики засобів вимірювань;
- *показники надійності* характеризують властивості безвідмовності, ремонтпридатності й зберігання, наприклад, час безвідмовної роботи засобів вимірювань до відмови, показник терміну служби;
- *показники ощадливого використання* характеризують властивості виробу, що відбивають його технічну досконалість за рівнем або ступенем споживаних ним сировини, матеріалів, палива й трудових ресурсів при їхній експлуатації;
- *ергономічні показники* характеризують систему «людина-виріб» і враховують комплекс гігієнічних, антропометричних, фізіологічних і психологічних властивостей людини, що проявляються у виробничих і побутових процесах;
- *естетичні показники* характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композицій і досконалість

виробничого виконання, наприклад, уніфікація розмірів, форми, матеріалів, складових частин вимірювальних приладів;

- *показники технологічності* характеризують властивості складу й структури або конструкції приладу, що визначають його пристосованість до досягнення мінімальних витрат при виробництві, експлуатації й відновленні для заданих значень показників якості продукції, обсягу її випуску й умов виконання робіт, наприклад, питома трудомісткість виготовленої продукції, питома матеріалоємність, питома енергоємність;

- *показники транспортабельності* характеризують пристосованість засобів вимірювань до переміщення (транспортування), що не супроводжується її використанням або споживанням;

- *показники стандартизації й уніфікації* характеризують насиченість приладів стандартними, уніфікованими й оригінальними складовими частинами, а також рівень уніфікації з іншими виробами, наприклад, уніфікація засобів вимірювань з метою створення інформаційно-вимірювальних систем на базі стандартних блоків і вузлів;

- *патентно-правові показники* характеризують ступінь відновлення технічних рішень, використаних у приладах, їхній патентний захист, а також можливість реалізації продукції за кордоном;

- *екологічні показники* характеризують рівень шкідливих впливів на навколишнє середовище, що виникають при експлуатації;

- *показники безпеки* характеризують особливості, що обумовлюють безпеку обслуговуючого персоналу. До них належать ймовірність безпечної роботи, мінімальна електрична міцність ізоляції струмоведучих частин й ін.

Найважливішими властивостями засобів вимірювань є ті, від

яких залежить якість (точність) одержуваної з їхньою допомогою вимірювальної інформації. Ці властивості визначаються метрологічними характеристиками засобів вимірювань.

Всім засобам вимірювань притаманне ряд загальних властивостей, необхідних для виконання ними функціонального призначення. Технічні характеристики, що описують ці властивості й впливають на результати й похибки вимірювань називаються *метрологічними характеристиками засобів вимірювань*, принципи нормування яких визначаються відповідним стандартом.

Метрологічні характеристики засобів вимірювань використовуються для:

- визначення результату вимірювань і розрахункового показника характеристик інструментальної складової погрішності вимірювань;
- розрахунку метрологічних характеристик каналів вимірювальних систем;
- оптимального вибору засобів вимірювань;
- використання як контрольованих характеристик для контролю засобів вимірювань на відповідність установленим нормам.

Комплекс метрологічних характеристик, установлений на засоби вимірювань, вибирають із числа наведених нижче:

- характеристики, призначені для визначення результатів вимірювань (без введення виправлення) або градуйовані характеристики, що визначають співвідношення між сигналами на вході й виході засобів вимірювання у статичному режимі. До них належать: номінальна статична характеристика перетворення вимірювального перетворювача, номінальне значення однозначної міри, межі й ціна розподілу шкали, види й параметри цифрового коду й ін.;
- характеристики похибок засобів вимірювань, які визначають характеристики систематичної й випадкової складових похибок (до

нормованих систематичних похибок належать значення систематичної складової, її обмежене значення й межі, а до нормованих випадкових похибок належать середньоквадратичне значення випадкової складової й ін.);

- динамічні характеристики, які відбивають інерційні властивості засобу вимірювань при впливі на нього мінливих у часі величин (параметрів вхідного сигналу, зовнішніх впливаючих величин, навантаження).

За ступеням повноти опису інерційних властивостей засобів вимірювань динамічні характеристики діляться на повні й часткові. До *повних* динамічних характеристик належать:

- диференціальне рівняння, що описує роботу засобу вимірювань;

- передатна функція;

- перехідна характеристика;

- імпульсна характеристика;

- сукупність амплітудної й фазочастотної характеристик.

Частковими динамічними характеристиками можуть бути окремі параметри повних динамічних характеристик або характеристики, що не відбивають повністю динамічних властивостей засобів вимірювань, але необхідні для виконання вимірювань з необхідною точністю (наприклад, час установлення показання) або контролю однорідності властивостей засобів вимірювань даного типу.

Перелік метрологічних характеристик і повнота, з якою вони повинні вимірюватися, залежить від їхнього призначення, умов експлуатації, режиму роботи й інших факторів.

Норми на окремі метрологічні характеристики приводяться в експлуатаційній документації (паспорті, технічному описі, інструкції для експлуатації й ін.) у вигляді номінальних значень, коефіцієнтів

функцій, заданих формулами, таблицями або графіками меж відхилень, що допускають, від номінальних значень і функцій.

Класи точності засобів вимірювань.

Нормування всіх метрологічних характеристик засобів вимірювань - складна й трудомістка процедура, що виконується тільки при вимірюваннях дуже високої точності. На виробництві така точність не виправдана й не завжди необхідна. Тому для засобів вимірювань, які використовуються у повсякденній практиці, прийнятий розподіл по точності на класи.

Клас точності засобів вимірювань - це узагальнена характеристика засобів вимірювань, зумовлена межами основних і додаткових похибок, а також іншими властивостями засобів вимірювання, що впливають на точність, значення яких устанавлюється в стандартах на окремі види засобів вимірювань.

Клас точності засобу вимірювань дає можливість робити висновок про те, у яких межах перебуває погрішність засобів вимірювань цього класу, але не є безпосереднім показником точності вимірювань, виконуваних за допомогою цих засобів. Це важливо для вибору засобів вимірювань залежно від заданої точності вимірювань.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАНЬ

3.1. Похибки вимірювань

При розгляді понять «вимірювання» й «засіб вимірювання» варто враховувати їхню метрологічну сутність: у першому випадку - це зіставлення величини з її одиницею; у другому - це технічний засіб, що зберігає розмір фізичної величини. Важливо розділяти й поняття «похибка вимірювань» і «похибка засобів вимірювань». Похибка вимірювань - це відхилення результату вимірювання ($x_{вим}$) від дійсного (щирого) значення вимірюваної величини (x_{δ}), що розраховується по формулі:

$$\Delta = x_{вим} - x_{\delta}.$$

У цьому формулюванні під істинним значенням вимірюваної величини має на увазі те, що значення ідеальним чином відбиває властивості даного об'єкту, як у кількісному, так і у якісному відношенні. А під дійсним значенням вимірюваної (фізичної) величини мається на увазі її показник, знайдений експериментально й настільки наближений до істинного, що для даної мети він може бути використаний замість нього. *Результатом вимірювань* є наближене значення величини, знайдене шляхом вимірювання.

Похибка засобу вимірювань – це різниця між показанням засобу вимірювань і істинним (дійсним) значенням вимірюваної фізичної величини.

Варто розуміти, що оскільки *істинне значення* фізичної величини невідомо, то на практиці користуються її *дійсним значенням*.

Вимірювання - це складова частина будь-якого процесу діяльності людини і його завершальним етапом є результат вимірювань. Будь-який результат вимірювання містить похибка, причинами виникнення якої є недосконалість методів і технічних

засобів вимірювань, вплив умов проведення вимірювань, індивідуальністю органів чуття спостерігача. Кожна з перерахованих причин виникнення похибки є джерелом численних факторів, під впливом яких складається сумарна похибка вимірювання.

Похибки вимірювань можуть бути класифіковані за такими ознаками:

- за способом вираження - абсолютні, відносні;
- за характером прояву - систематичні, випадкові;
- за способом обробки ряду вимірювань - середні арифметичні, середні квадратичні;
- за умовами вимірювання величини - статичні, динамічні;
- за повнотою охоплення вимірювального завдання - часткові, повні;
- стосовна одиниці фізичної величини - відтворення одиниці, передача розміру одиниці;
- за способом утворення - інструментальна, методу, суб'єктивна, відліку. Розглянемо докладніше кожен з похибок.

Абсолютна похибка (вимірювання) - різниця між результатом вимірювання й умовно дійсним значенням вимірюваної величини:

$$\Delta = x - x_0.$$

Вона виражається в одиницях вимірюваної величини і може бути позитивною або негативною.

Відносна похибка (вимірювання) - являє собою відношення абсолютної похибки вимірювання до умовно істинного (дійсного) значення вимірюваної величини:

$$\delta = \frac{\Delta}{x} 100\% .$$

Ця похибка може виражатися в частках або відсотках.

Систематична похибка (вимірювання) - складова похибки вимірювання, що залишається постійною або закономірно змінюється

при повторних вимірюваннях однієї й тієї ж величини.

Залежно від характеру зміни систематичні похибки підрозділяються на:

- постійні;
- прогресивні;
- періодичні;
- похибки, що змінюються за складним законом;
- випадкові.

Постійні похибки - це ті, які тривалий час (протягом часу виконання всього ряду вимірювань) зберігають своє значення.

Прогресивні похибки - безупинно зростаючі або убуваючі похибки (похибки внаслідок зношування вимірювальних частин, що контактують із деталями при контролі їхнім вимірювальним приладом або виникаючі в процесі його прогріву).

Періодичні похибки - це ті, значення яких є періодичною функцією часу або функцією переміщення покажчика вимірювального приладу. Наприклад, похибка показань вимірювального приладу із круговою шкалою й стрілкою, якщо вісь останньої зміщена на деяку величину (l) щодо центра шкали (рис. 3.1.). Вона вимірюється за синусоїдальним законом $\Delta\varphi = l$, де φ - кут повороту стрілки в процесі вимірювання.

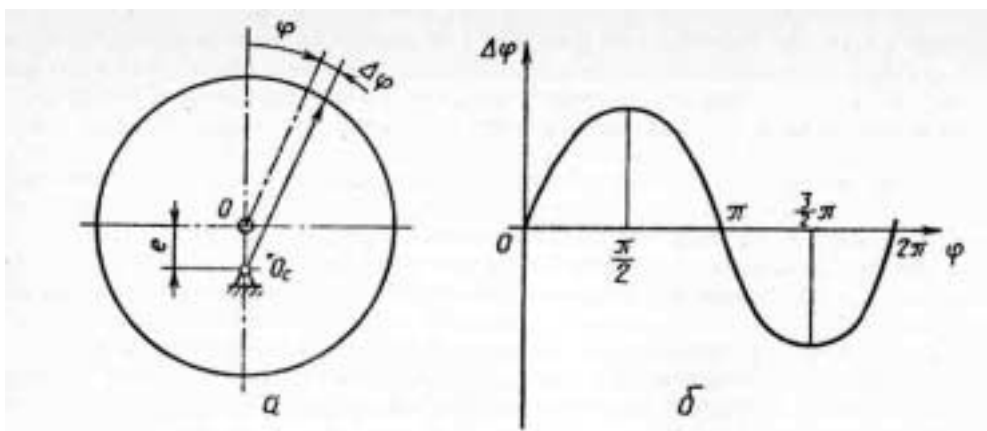


Рисунок 3.1 - Схема виникнення періодичної похибки

Похибки, що змінюються за складним законом, відбуваються

внаслідок спільної дії декількох систематичних похибок. Систематичні похибки намагаються виключати з результатів вимірювань шляхом введення виправлень, прогріву приладів, юстировки приладів, у результаті якої похибку зводять до допускаючих значень.

Випадкова похибка - це складова похибки вимірювання, що змінюється випадковим образом при повторних вимірюваннях однієї й тієї ж величини. Вони являють собою похибки, у появі кожної з яких не спостерігається якої-небудь закономірності, вони неминучі, непереборні й завжди присутні в результатах вимірювання.

Методична похибка (вимірювання) - це складова похибки, що обумовлена неадекватністю об'єкта вимірювання і його моделей, прийнятої при вимірюванні.

Похибка переривчастості (або квантування) - це методична похибка методу, що відображає (відбиття при вимірах) безперервну фізичну величину її переривчастим значенням.

Інструментальна похибка - це складова похибки, що залежить від похибки застосовуваних засобів вимірювань. Вона може виникнути через зношування деталей приладів, тертя в їхньому механізмі, неточності нанесення штрихів на шкалу й ін. Іноді в інструментальну похибку вимірювань включається випадкова складова похибки, властива засобу вимірювання. Інструментальна похибка складається з похибок засобів вимірювальної техніки й похибки їхньої взаємодії з об'єктом вимірювання.

Похибка від взаємодії - це складова інструментальної похибки, що виникає внаслідок впливу засобів вимірювальної техніки на стан об'єкта вимірювання.

Статична похибка – це похибка статичного вимірювання, тобто виникаюча при вимірюванні постійної величини.

Динамічна похибка - це її складова частина, що утворюється

додатково до статичної під час динамічних вимірювань. Тобто, це різниця між похибкою засобу вимірювань у динамічному режимі і його статичній похибки, що відповідає значенню величини в даний момент часу.

Груба похибка - це величина, що істотно перевищує очікувану за даних умов похибку.

До характеристик вимірювань належать такі поняття:

Експериментальне (вибіркове) середнє квадратичне відхилення.

Це параметр функції розподілу результатів вимірювань, що характеризують їхнє розсіювання й дорівнює кореню квадратному з дисперсії результату вимірювання (з позитивним знаком). Якщо розглядати серію « n » вимірювань однієї й тієї ж вимірюваної величини, параметр S , що характеризує розсіювання результатів « n » вимірювань, визначається за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n - 1}},$$

де x_i - результат i -го вимірювання;

x - середнє арифметичне « n » результатів.

При відомому генеральному середньому значенні m для сукупності N середнє квадратичне відхилення сукупності може бути знайдене за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}{N}}.$$

Якщо розглядати серію N вимірювань як вибірку з генеральної сукупності, тоді S є оцінка середнього квадратичного відхилення сукупності.

Оцінка середнього квадратичного відхилення середнього арифметичного $\bar{\sigma}(\bar{x})$ визначається за формулою:

$$\bar{\sigma}(\bar{x}) = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Довірчі межі похибки (результату вимірювання) - це верхня й нижня межі інтервалу, що накриває з заданою ймовірністю похибку вимірювання.

Невизначеність вимірювань - оцінка, що характеризує діапазон значень, у якому перебуває істинна значення вимірюваної величини.

Виправлення - значення величини, однойменної з вимірюваною, що додається до отриманого при вимірюванні з метою виключення систематичної похибки.

Корегуючий (поправочний) коефіцієнт - це числовий коефіцієнт, на який множать результат вимірювання з метою виключення систематичної похибки.

Виправлений результат — результат вимірювань, отриманий після введення виправлення й (або) поправочного коефіцієнта.

Невиправлений результат - результат вимірювання, у якому не виключені систематичні похибки.

Промах (аномальний результат вимірювання) - результат вимірювань, що має грубу похибку.

Точність вимірювання - головна характеристика якості вимірювання, що відбиває близькість результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

Правильність вимірювання - характеристика якості вимірювання, що відбиває наближеність до нуля систематичної похибки вимірювання.

Збіжність (результатів) вимірювань - характеристика якості вимірювань, що відображає наближення повторних результатів вимірювань однієї й тієї ж величини в однакових умовах. Вона відбиває наближеність до нуля випадкової похибки й може бути оцінена кількісно дисперсією результатів вимірювань.

Відтворюваність вимірювань - характеристика якості вимірювань, що відбиває близькість результатів вимірювань однієї й тієї ж величини, виконаних у різних умовах (у різний час, у різних місцях різними методами й засобами).

Відтворюваність також може оцінюватися кількісно дисперсією результатів вимірювань.

3.2. Похибки засобів вимірювань

Похибка засобу вимірювань - це різниця між показаннями засобу вимірювань і істинним (дійсним) значенням вимірюваної фізичної величини.

Слід зазначити, що це визначення, по суті, не відрізняється від визначення поняття «похибка вимірювання».

Похибки засобів вимірювань можуть бути класифіковані за такими ознаками:

- характер прояв - систематичні, випадкові;
- спосіб вираження - абсолютні, відносні, наведені;
- відношення до умов застосування (виникнення) - основні, додаткові;
- відношення до змінюваності вимірюваної величини - динамічні, статичні;
- залежність від значень вимірюваної величини - адитивні, мультиплікативні.

Відповідно до ДСТУ2681-94 (Національна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення) визначення похибок засобів вимірювань такі:

- абсолютна похибка засобу вимірювань - різниця між показаннями засобу вимірювання й дійсним значенням вимірюваної величини при відсутності методичних похибок і похибок від взаємодії засобу вимірювань з об'єктом вимірювань;

- відносна похибка засобу вимірювання - відношення абсолютної похибки засобу вимірювань до дійсного значення вимірюваної величини;

- абсолютна похибка міри - різниця між номінальним значенням міри й дійсним значенням відтвореної його величини (на практиці замість дійсного значення використовується умовно дійсне значення);

- абсолютна похибка вимірювального перетворювача за входом - різниця між значенням вхідної величини вимірювального перетворювача, що приймається як істинне значення вихідної величини за допомогою градуйованої характеристики або функції перетворення й дійсним значенням вхідної величини;

- абсолютна похибка вимірювального перетворювача за виходом - різниця між істинним значенням величини на виході перетворювача, що відображає вимірювану величину, і значенням величини на виході, зумовленої за істинним значенням величини на вході за допомогою градуйованої характеристики перетворювача;

- межа похибки, що допускається засобом вимірювань - найбільша (без обліку знака) похибка засобу вимірювань, при якій він може бути визнаний придатним і допущений до застосування;

- основна похибка засобу вимірювань - похибка засобу вимірювань, який використовується в нормальних умовах;

- додаткова похибка (засобу вимірювань) - похибка, що виникає додатково при застосуванні засобу в умовах відхилення хоча б однієї з впливаючих величин, від нормального значення або її виходу за межі області нормальних значень;

- наведена похибка засобу вимірювання - відношення абсолютної похибки засобу вимірювання до нормального значення;

- адитивна похибка (засобу вимірювальної техніки) - приписане їй;

- нечутливість вимірювального приладу - відношення зміни

сигналу на виході вимірювального приладу до викликаючого його зміну вимірюваної величини;

- поріг чутливості (засобу вимірювання) - найменше значення вимірюваної величини, що може бути виявлена засобом вимірювання;

- зона нечутливості (засобу вимірювань) - діапазон значень вимірюваної величини, в області якого її зміни не викликають зміни показань засобу;

- величина, що впливає, - фізична величина, що не є вимірюваною даним засобом вимірювань, але має вплив на результати вимірювань цим засобом;

- нормальні умови застосування засобів вимірювань - умови їхнього застосування, за яких величини, що впливають, мають нормальні значення або перебувають у межах нормальної області значень;

- робочі умови застосування засобів вимірювань - умови їхнього застосування, при яких значення величин, що впливають, перебувають у межах робочих ділянок;

- варіація показань засобу вимірювань - різниця між двома їхніми показаннями, коли те саме значення вимірюваної величини досягається внаслідок її збільшення або зменшення;

- варіація вихідного сигналу вимірювального перетворювача - різниця між двома значеннями інформативного параметра вихідного сигналу вимірювального перетворювача, коли те саме значення інформативного параметра досягається внаслідок його збільшення або зменшення;

- клас точності засобу вимірювань - узагальнена характеристика засобу вимірювань, обумовлена межами допуску основних і додаткових похибок, а також іншими властивостями засобів вимірювань, що впливають на точність, значення яких установлюється в стандартах на окремі види засобів вимірювань;

- дрейф - повільна зміна в часі метрологічної характеристики засобу вимірювальної техніки;

- стабільність - здатність засобу вимірювальної техніки зберігати свої метрологічні характеристики в заданих межах протягом певного інтервалу часу;

- час установлення показань - інтервал часу від початку дії вхідного сигналу до моменту, коли показання досягає й залишається в середині певних меж навколо сталого значення;

- метрологічна відмова - вихід метрологічної характеристики засобу вимірювальної техніки за нормовані межі.

3.3. Випадкові похибки

3.3.1. Основні поняття теорії випадкових похибок

При проведенні повторних вимірювань однієї й тієї ж величини (що не змінюється й в однакових умовах) виходять числові значення, які можуть відрізнитися один від одного. Розбіжності між окремими результатами перевищують похибки, які можна чекати при застосуванні даних засобів і методів вимірювань. Це вказує на наявність при вимірах випадкових похибок й існує безліч причин їхніх виникнень, кожна окремо непомітно впливає на засіб вимірювань, але їхній сумарний вплив викликає помітні похибки, які з'являються без закономірного зв'язку з попередніми й наступними, що дає підставу називати їх *випадковими*.

При розгляді впливу випадкових похибок на результат вимірювань основним завданням є вивчення властивостей сукупностей результатів окремих спостережень. Причому ці властивості не залежать від індивідуальних особливостей кожного із джерел окремо.

Слід зазначити, що теорія ймовірностей дає математичні методи вивчення властивостей випадкових подій у більших сукупностях, а

теорія похибок використовує математичний апарат теорії ймовірностей і ґрунтується на аналогії між появою випадкових похибок при багаторазово повторюваних вимірюваннях і появою випадкових подій. При цьому необхідно мати на увазі, що мова йде не про ті випадкові явища, які порушують їхній закономірний розвиток. Теорія ймовірностей розглядає властивості випадкових явищ, які відбуваються при масових подіях, тобто в сукупності великого числа рівноправних або майже рівноправних подій. До їхнього числа належать й багаторазово повторювані вимірювання.

3.4. Систематичні похибки

3.4.1. Загальна класифікація систематичних похибок

Особливістю систематичних похибок є те, що при повторних вимірюваннях вони залишаються постійними або міняються за певним законом і не залежать від їхнього числа. Невиявлена систематична похибка небезпечніше випадкової, тому що остання визначає ступінь вірогідності результату, а перша непохитно його спотворює.

Систематичні похибки в більшості випадків визначаються шляхом експерименту, при цьому вимірювання виконуються в три етапи:

- проводяться вимірювання знаючи, що результат містить систематичну похибку;

- визначається систематична похибка;

- вносяться в результат вимірювання похибки.

Систематичні похибки підрозділяються на:

- інструментальні;

- у результаті неправильної установки приладу виникаючі внаслідок зовнішніх впливів;

- теоретичні (недоліки методу);

- суб'єктивні.

Інструментальні похибки - це такі, причина яких полягає у властивостях застосовуваних засобів вимірювань. Ці властивості можуть викликати похибки різного характеру. Причинами інструментальних похибок в основному є:

- переміщення підвісних частин приладу («зазори», наявність вільного або холостого ходу й т.д.);

- тертя в кріпленнях рухливих деталей приладів;

- недосконалість у технології виготовлення засобів вимірювань, їхнє зношування, старіння й несправність.

Дослідження інструментальних похибок є приводом спеціальних розділів науки.

Похибки, що виникають у результаті неправильної установки приладу. Якщо принцип дії приладу якимсь чином пов'язаний з механічною рівновагою, то показання будуть залежати від розташування їхніх підвісних частин стосовно нерухомого. Відхилення установки такого виду засобу вимірювання приводить до прямого й непрямого перекручування його показань. До таких засобів вимірювання належать рівноплечні ваги, маятники силозмірювальні, гальванометри й т.д. *Похибки, що виникають внаслідок зовнішніх впливів,* таких як теплові потоки й повітряні потоки, магнітні й електричні поля атмосферний тиск і вологість повітря, вібрації й ін.

Вплив температури на процес вимірювання дає найбільш характерну похибка. Простим прикладом є внесення виправлень на виступаючий стовпчик рідини в капілярі при вимірах термометрами розширення рідких середовищ.

Вплив магнітних електричних полів залежить від напруженості магнітного поля, конструкції приладу й частоти змінного струму. Джерелами цього впливу є: магнітне поле Землі, трансформатори, реостати, електромагнітні прилади й ін.

Вплив атмосферного тиску, вологості залежить від багатьох фізичних процесів. Якщо ці процеси проходили при атмосферному тиску, то при вимірюваннях він буде впливати на показання. Вплив вологості в основному пов'язане з гігроскопічністю матеріалів, які у зв'язку із цим міняють свої характеристики (опір, ємність, розміри й ін.).

Теоретичні похибки або похибки методу вимірювання. Ці похибки засновані на даних досвідів і не мають строгого теоретичного обґрунтування (доведеної залежності). Прикладами таких вимірювань є:

- визначення твердості металу. Один метод заснований на вимірюванні глибини занурення у випробуваний метал наконечника певної форми (кулька або призма) під дією сили, прикладеної з відомою швидкістю (метод Роквелла). В основу другого методу покладено вимірювання розмірів відбитка, залишеного наконечником на поверхні металу також за певних умов (метод Бринелля).

- вимірювання вологості зерна (і інших сільськогосподарських продуктів). В основу методів вимірювання вологості покладені методи вимірювання електричного опору, ємності або діелектричної постійної певної проби речовини. Однак дослідження показують, що показання вологомірів залежать від зерна різних сортів того самого виду, а також для одного й того ж сорту, але вирощеного на різних землях.

До похибок методу відносять вимірювання обсягів тіл, форма яких приймається геометрично правильною, шляхом вимірювання розмірів в одному або в недостатньому числі місць.

Найбільш характерним прикладом похибок методу є вимірювання електричного опору за допомогою вольтметра й амперметра (рисунок 3.5).

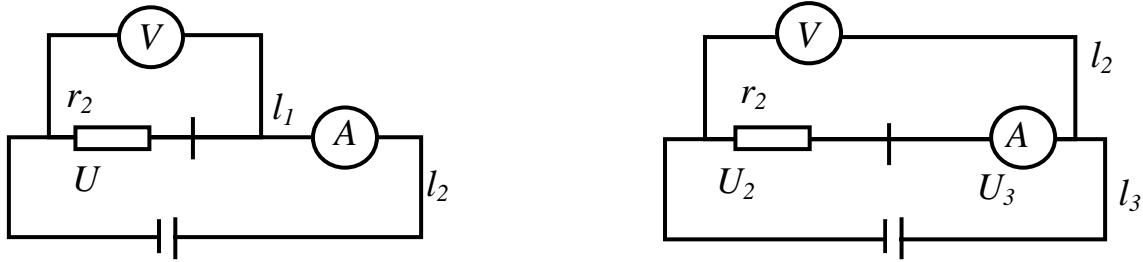


Рисунок 3.5 - Схема вимірювання опору

Опір визначається законом Ома по формулі:

$$r_x = \frac{U}{I_a},$$

де U - спадання напруги, змірюване вольтметром, I_a - сила струму, змірювана амперметром.

На рис. 3.5а сила струму I_a , змірювана амперметром, буде більше сили струму в опорі r_x призначення сили струму I_v у вольтметрі, включеному паралельно обмірюваному опорі. Опір x , таким способом виявиться менше дійсного.

На рисунку 3.5б напруга, обмірювана вольтметром V , виявиться більше спадання напруги U_2 в опорі r_x на значення U_a (падіння напруги на опорі амперметра A).

Опір, обчислений за законом Ома, виявиться більше опорі r_x на значення r_a (опір амперметра). Виправлення обчислюються, якщо відомі опори вольтметра й амперметра.

Ще один приклад похибки методу, - це зважування за допомогою гир. Вони мають певний обсяг, що залежить від щільності матеріалу, з якого вони виготовлені. Сила, з якою гиря давить на чашку ваг, менше її дійсної ваги, на вагу витиснутого обсягу повітря (закон Архімеда). Виникаюча при цьому похибка незначна, але при точних вимірюваннях її необхідно враховувати. Слід зазначити, що при зважуванні предметів з матеріалу, щільність яких дорівнює щільності матеріалу гир, похибки не виникає.

Суб'єктивні систематичні похибки є наслідком індивідуальних

властивостей людини, зумовлених особливостями її організму або вкоріненими неправильними навичками. У виникненні суб'єктивних систематичних похибок велику роль відіграє швидкість реакції на отриманий сигнал. У різних осіб вона різна, але досить стійка. Наприклад, час реакції на одержання світлового сигналу в різних осіб коливається від 0,15 до 0,225 с, а на звуковий сигнал - 0,082 - 0,195 с. По характері прояву систематичні похибки підрозділяються на постійні й змінні. Постійні систематичні похибки характеризуються тим, що їхнє значення й знак зберігаються протягом досить тривалого часу незмінними. До них належать похибки градування шкал вимірювальних приладів, відношення плечей електровимірювальних мостів, а також похибки більшості мір (гир, катушок і магазинів опорів). Змінні систематичні похибки характеризуються зміною їхніх значень протягом часу вимірювань і діляться на прогресивні, періодичні й ті, що змінюються за складним законом.

Прогресивні похибки - це такі, які в процесі вимірювань постійно зростають або убують. Однієї із причин їхнього виникнення може бути постійне спадання напруги джерела живлення вимірювального ланцюга. Відомо, що акумулятори й батареї протягом роботи розряджаються на початку швидко, потім протягом тривалого часу повільно й рівномірно, а наприкінці процес знову прискорюється й супроводжується сильним зниженням напруги.

Періодичні систематичні похибки - це ті, що періодично змінюють значення й знак. Залежно від їхнього виникнення вони можуть бути:

- інструментальними внаслідок зношування деталей, тертя, невідповідності дійсного й номінального значень міри й ін.;
- теоретичні (похибка методу вимірювань), зумовлені індивідуальними властивостями апаратури, залежні від швидкості його реакції на отриманий сигнал.

Характер змін систематичних похибок видно з графіків (рис. 3.6).



Рисунок 3.6- Графіки змін систематичних похибок

Слід зазначити, що систематичні похибки стійко спотворюють результат вимірювань і тому їх необхідно виключати (введенням виправлень або регулюванням приладів). В останньому випадку систематичну похибку доводять до мінімуму. У зв'язку із цим існують такі поняття як невиключена систематична похибка або невиключений залишок систематичної похибки.

Виключення систематичних похибок.

Як відзначалося раніше, систематичні похибки спотворюють результат вимірювань і найбільшу небезпеку щодо цього представляють ті похибки, які залишилися не виявленими. На цей фактор накладається особливість виявлення похибок як випадкових, так і систематичних. У більшості випадків кінцевий результат є середнім значенням декількох вимірювань. Однак вимога для виключення випадкових похибок при проведенні одиничних вимірювань протилежно вимозі при визначенні систематичної похибки. Для виключення випадкових похибок при проведенні одиничних вимірювань потрібна повна однаковість умов вимірювання, для виключення (виявлення) систематичних похибок обов'язковим є проведення повторного вимірювання при зміні тієї або іншої умови на протилежну. Це ускладнює виявлення й наступне виключення систематичних похибок.

Способи виключення і обліки, систематичних похибок можна

розділити на чотири групи:

- усунення джерел похибок до початку вимірювання;
- виключення похибок у процесі вимірювання;
- внесення відомих виправлень у результат вимірювання;
- оцінка границь систематичних похибок, які неможливо виключити.

Усунення джерел похибок до початку вимірювання є найбільш раціональним способом, тому що може повністю або частково виключати систематичну похибку і звільнити від необхідності усувати її в процесі вимірювання або обчислення результату з урахуванням виправлень.

Під усуненням джерела похибок варто розуміти як безпосереднє його (джерела) видалення, так і захист вимірювальних апаратів з об'єктом вимірювання від впливу цього джерела.

Безпосереднє видалення джерела похибок пов'язане з інструментальною похибкою, що може бути усунута до початку вимірювань шляхом регулювання, ремонту й наступної перевірки.

До джерел систематичної похибки, які впливають на вимірювальні апаратури й від якої необхідно її захищати або видаляти (джерело або прилад) належать:

- параметри навколишнього повітря (температура, вологість, тиск);
- магнітні й електричні поля;
- вібрація.

Як міра, що попереджує появу температурної похибки, є термостатування. Його способи залежать від вимог, пропонованих температурному рисунку. Термостатування може бути природним і штучним. У природному термостатуванні основою є теплоізоляція, у штучному - термостатування здійснюється шляхом підтримки постійної температури нагрівання або охолодження. Термостатування

може бути повітряним або рідинним. Для виключення впливу вологості навколишнього повітря використовується кондиціонування, що підтримує на необхідному рівні вологість й інші параметри повітря й, у першу чергу, температуру.

Для усунення впливу тиску атмосферного повітря застосовуються барокамери з регульованим тиском, а також кондиціонування в умовах обов'язкової герметизації приміщення.

Усунення впливу магнітних полів залежить від напруженості магнітного поля. Джерелами даного виду похибок є магнітне поле Землі й магнітні поля, утворені постійними й змінними струмами. Захистом приладів від впливу магнітних полів є пристрій замкнених і безперервних екранів з магнітом'яких матеріалів, які мають велику початкову магнітну проникність і малу коерцитивну* силу. Екранування вимірювальних приладів звичайно передбачається при їхньому конструюванні, а від електромагнітних полів високої частоти воно здійснюється матеріалами з високою електропровідністю.

Виключення систематичних похибок у процесі вимірювання здійснюється одним зі способів:

- заміщення;
- компенсації похибок за знаком;
- протиставлення;
- симетричних спостережень.

Спосіб заміщення є одним з найпоширеніших. Він полягає в тому, що вимірюваний об'єкт заміняють відомою мірою, що перебуває в тих же умовах, у яких був об'єкт. Найбільше широко цей спосіб використовується при вимірюванні електричних параметрів - опору, ємності й індуктивності. Порядок проведення вимірювання

* від лат. Coercitio - утримання - характеристика явища гістерезису. У магнітному гістерезисі к.с. - це напруженість магнітного поля, у якому ферромагнітний зразок спочатку обмежений для насичення, розмагнічується

такий. Об'єкт (опір, ємність, індуктивність) включають у вимірвальну схему (бруківку, компенсаційну), що врівноважується. Після цього не змінюючи схеми, замість об'єкта вимірювання, включається міра змінного значення - магазин опорів, ємності, індуктивності, і домагаються відновлення рівноваги ланцюга, потім визначають похибка, що може бути викликана нерівномірністю плечей мосту, впливом на ланцюг магнітних й електричних полів, витоків й інших явищ.

Спосіб компенсації похибок за знаком полягає в тім, що вимір виконується двічі, щоб відома по природі, але невідома за значенням похибка, входила в результат із протилежним знаком і при обчисленні середнього виключалася. При цьому необхідно проведення парного числа вимірювань. Цей спосіб має обмежене застосування і використовується для виключення похибок, джерела яких мають спрямовану дію (наприклад, магнітне поле Землі). Якщо відомо, що під дією магнітного поля Землі в показанні приладу виникає похибка, то перше вимірювання виконується, коли прилад перебуває в будь-якому довільному стані. Перед другим виміром прилад повертається в горизонтальній площині на 180° . Результати двох вимірювань позначаються x_1 і x_2 значення вимірюваної величини, вільне від систематичної похибки, позначаються x_d . Тоді в першому випадку магнітне поле Землі складається з полем приладу й обумовлюється похибка зі знаком «плюс».

$$x_1 = x_d + y.$$

У другому випадку магнітне поле Землі буде діяти протилежно й викличе похибку зі знаком «мінус», а за значенням, що дорівнює першій:

$$x_2 = x_d - y.$$

Середнє значення при цьому визначається за формулою:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{(x\partial + y) + (x\partial - y)}{2} = x\partial. \quad (3.1)$$

Цим способом виключаються похибки, викликані явищами гістерезисного характеру (магнітний, механічний й ін.).

Спосіб протиставлення полягає в тому, що виміри проводяться у два рази таким чином, щоб причина викликала похибка при першому вимірюванні, подіяла протилежно на результат другого вимірювання. Прикладом може служити спосіб, запропонований Гауссом, для виключення похибки від залишкової «нерівноплечності».

При першому зважуванні масу x , поміщену на одну чашу ваг, урівноважують гирями масою m_1 ; на іншій чаші:

$$x = \frac{l_2}{l_1} m_1, \quad (3.2)$$

де $\frac{l_2}{l_1}$ - дійсне відношення плечей.

Потім маса, що зважується, переміщається на другу чашу, а гирю - на першу, де містилась маса при першому вимірі. Тому що співвідношення плечей $\frac{l_2}{l_1}$ не може дорівнювати точно одиниці, рівновага порушується й для зрівноважування маси x використовують гирі з загальною масою m_2 :

$$m_2 = \frac{l_2}{l_1} x. \quad (3.3)$$

У ці рівності похибка від нерівноплечності входить у формі коефіцієнта $\frac{l_2}{l_1}$, які можна представити у вигляді:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{l_1 + (l_2 - l_1)}{l_1} = l + \frac{l_2 - l_1}{l_1} = l + d,$$

де $d = (l_2 - l_1)/l_1$.

Перетворимо рівності 3.2 й 3.3:

$$\begin{array}{l} x = m_1 + m_1 d \\ m_2 = x + xd \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{або} \\ \text{звідси:} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} x = m_1 + m_1 d \\ x = m_2 + xd \end{array} \right.$$

$$x = \frac{m_1 + m_2 + (m_1 - x)d}{2}.$$

Тому що d і $(m_1 - x)$ дуже малі величини в порівнянні з m_1 , m_2 і x , їхній добуток ще більш малий, що ними можна зневажити, тоді

$$x = \frac{m_1 + m_2}{2}. \quad (3.4)$$

Вирази 3.4 й 3.1 однакові, однак, рівність (3.1), отримане для способу компенсації (похибки за знаком, точно відбиває сутність виключення похибки, а формула (3.4) є наближеною.

Спосіб симетричних спостережень полягає в тому, що вимірювання здійснюються послідовно, через однакові інтервали часу. Цей спосіб застосовується для виключення прогресивної похибки, що є лінійною функцією часу. Така функція може бути представлена у вигляді графіка (рисунок 3.7).

По осі абсцис на рисунку відкладено час τ , по осі ординат - прогресивна похибка X .

Залежно від властивостей вимірювальних приладів ріст прогресивної похибки може знижуватися з моменту першого вимірювання й тоді вона з'явиться при другому, третьому й усіх наступних вимірюваннях. При обробці використовується властивість результатів будь-яких двох спостережень, симетричних щодо середньої точки їхнього інтервалу, що полягає в тому, що середнє значення прогресивної похибки результатів будь-якої пари симетричних спостережень дорівнює похибки, що відповідає середній точці інтервалу щодо рисунка 3.7, якщо було проведено

п'ять вимірювань і початі вони були в момент τ_1 . Похибка у цей момент має значення τ_1 . Тоді видно, що

$$\frac{\tau_1 + \tau_5}{2} = \frac{\tau_2 + \tau_4}{2} = \tau_3.$$

Спосіб симетричних спостережень рекомендується й у тому випадку, коли можливість існування прогресивної похибки не очевидна.

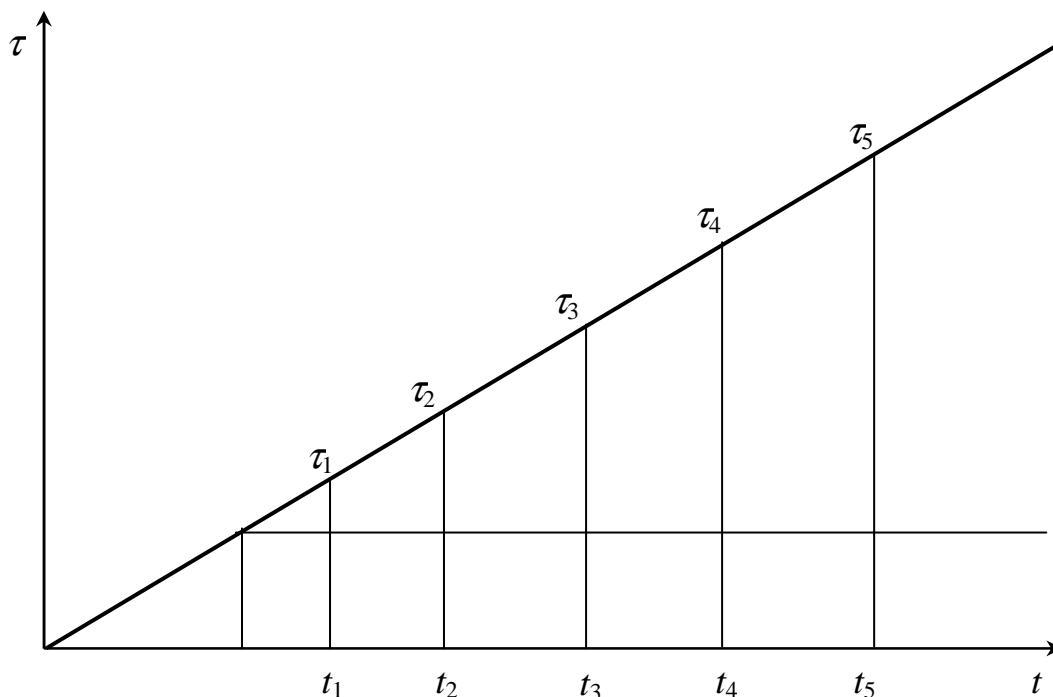


Рисунок 3.7 - Графік прогресивної похибки

Внесення відомих виправлень у результат вимірювання полягає у виключенні похибки обчисленням. Загальним випадком внесення виправлень є алгебраїчне підсумовування результату вимірювання й виправлення. Виправлення за числовим значенням дорівнює похибки й протилежне за знаком. Як правило, похибка приладів і мір, а також інші дані й залежності, необхідні для визначення й внесення виправлень, виявляються до проведення вимірювання.

Оцінка границь систематичних похибок застосовується в тім випадку, коли не можна виключити систематичні похибки (навіть якщо вони відомі). У цьому випадку обмежуються оцінкою меж

можливих систематичних похибок. Існує група приладів, у яких вивчені систематичні похибки піддаються вимірюванням і визначенню, але вони не можуть бути використані для внесення виправлень. Прикладом цього може бути лічильник електричної енергії. На рисунку 3.8 наведено криву залежності похибок від споживаної потужності.

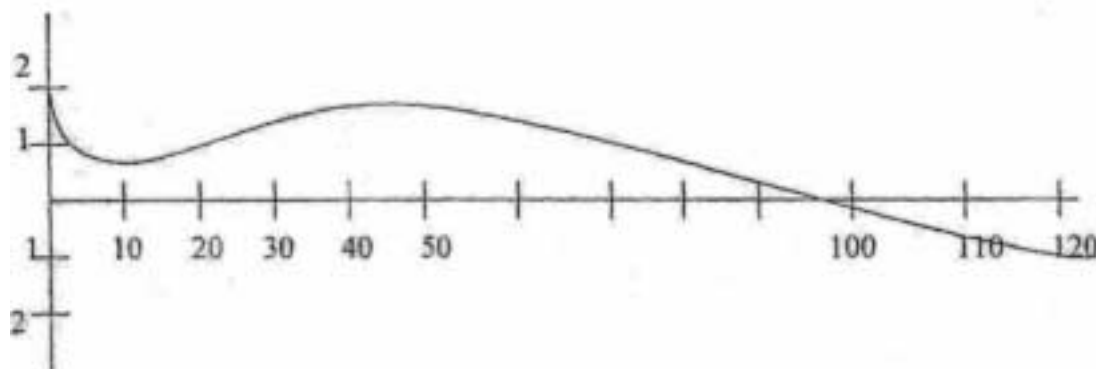


Рисунок 3.8 - Крива похибок лічильника електричної енергії залежно від споживаної потужності

З рисунка 3.8 видно, що кожному значенню потужності відповідає певна похибка. Однак, використання похибки для внесення виправлень можливе тільки в тому випадку, якщо значення потужності залишалося б незмінним протягом усього процесу вимірювання. При зміні навантаження похибка змінюється й змінюється навіть її знак, що приводить до часткової її компенсації. Тому можна відзначити, що, якщо систематична похибка лічильника не перевищить $\pm 2\%$, то похибки обліку енергії менші й тільки в самому несприятливому випадку можуть досягати цього значення.

4. ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРОЦЕС І ЙОГО ЕТАПИ

4.1. Загальні вимоги до вимірювань

Кожен вимірювальний процес складається з таких основних етапів: підготовка до вимірювань, виконання вимірювань, обробки результатів вимірювань. Кожен етап вимірювального процесу необхідно виконати відповідно до встановлених правил.

У кожному вимірюванні можна виділити такі елементи: об'єкт вимірювань, засіб вимірювань, метод вимірювань й умови вимірювань. Щоб забезпечити високу точність вимірювань, їхнє проведення необхідно ретельно підготувати. Автоматизація вимірювань дозволяє виключити похибку оператора, різко знизити похибку через коливання впливаючих величин, зменшити випадкову похибку й, отже, підвищити точність результату вимірювань. Широке використання комп'ютерної техніки з застосуванням спеціально розроблених програм при обробці результатів вимірювань дає можливість уникнути помилок при розрахунках, вибрати найбільш раціональний алгоритм обробки експериментальних даних.

Підготовка вимірювального процесу включає: аналіз постановки вимірювального завдання, створення умов для вимірювань, вибір засобів і методу вимірювань, вибір числа вимірювань, підготовку оператора, випробування засобів вимірювань. При аналізі необхідно насамперед з'ясувати: які фізичні величини або параметри об'єкта підлягають вимірюванню, якої точності повинен бути результат вимірювання й у якій формі його варто представити, щоб це відповідало меті вимірювального завдання. При виконанні цих вимог необхідно насамперед правильно вибрати модель об'єкта (процесу, явища), параметри якої є величинами, що підлягають вимірюванню. Адекватність моделі реальному об'єкту перевіряється експериментально. При цьому похибка невідповідності моделі

реальному об'єкту не повинна перевищувати 10% від заданої похибки вимірювання, а нестабільність вимірюваних параметрів моделі протягом часу вимірювання також не повинна перевищувати 10% від заданої похибки вимірювань.

Точність результату вимірювань залежить від якості засобу вимірювань. Чим точніше засіб вимірювань, тим точніше результат вимірювання. Ускладнення засобу вимірювань приводить до різкого підвищення вартості вимірювального процесу. Завдання полягає в тому, щоб досягти найбільшої точності вимірювань при обмежених витратах.

Як відомо, при вимірюванні виникають два види похибок: систематичні й випадкові (більш докладно в главі 3). Постійні або систематичні похибки, що змінюються за відомим законом, намагаються оцінити й внести у вигляді виправлення в результат вимірювання. Невиключні систематичні похибки разом з випадковими характеризують похибку результату вимірювання. Характеристиками випадкових похибок результату вимірювання можуть бути:

- середнє квадратичне відхилення результату вимірювання;
- довірча похибка випадкової складової похибки вимірювання або інтервал, у границях якого міститься істинне значення вимірюваної величини.

Невиключні систематичні похибки вимірювань характеризуються границями. Приклади невиключних систематичних похибок: наведена похибка засобів вимірювань ($\pm 1\%$), неточність виготовлення міри ($\pm 0,5\%$) і т.д. На результат вимірювання можуть впливати кілька джерел невиключних систематичних похибок. Оцінити довірчі границі результату підсумовування декількох невиключних систематичних похибок можна за формулою:

$$\theta = k\sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \dots + \theta_n^2} \quad (4.1)$$

А середнє квадратичне відхилення невиключної систематичної похибки обчислюється за формулою:

$$S_{\theta} = \sqrt{\frac{\theta^2}{3}}. \quad (4.2)$$

Під час аналізу постановки вимірювального завдання необхідно виявити вимогу до швидкості одержання вимірювальної інформації, її дискретності, рівню автоматизації, визначити оптимальність вимірювальних параметрів й ін. Від цього залежить вибір тих або інших засобів вимірювань, методу й умов вимірювань, витрати праці оператора. Організація вимірювальних робіт повинна відповідати вимогам сучасних технологічних процесів, у тому числі автоматизованих.

Створення умов для вимірювань

Кожне вимірювання виконується в певних умовах, які характеризуються однією або декількома фізичними величинами (їх називають зовнішніми впливаючими величинами), що часто помітно впливають на вимірювану величину й використовувані засоби вимірювань.

Впливаючі величини можна розділити на чотири групи:

- кліматичні (температура навколишнього середовища, відносна вологість повітря, атмосферний тиск);
- електричні й магнітні (коливання сили електричного струму, напруги в електричній мережі, частоти змінної напруги, постійні й змінні магнітні поля й ін.);
- зовнішні навантаження (вібрації, ударні навантаження й ін.);
- іонізуючі випромінювання, газовий склад атмосфери й ін.

З метою забезпечення єдності вимірювань до умов їхнього проведення пред'являються тверді вимоги. Для конкретних областей вимірювань установлюють єдині умови, названі нормальним

значенням фізичної впливаючої величини. У таблиці 4.1 наведено номінальні значення широко розповсюджених фізичних впливаючих величин.

Таблиця 4.1 - Номінальні значення впливаючих величин при нормальних умовах

Впливаюча величина	Значення
1. Температура для всіх видів вимірювань, °С (К)	20(293)
2. Тиск навколишнього повітря для вимірювання іонізуючих випромінювань, теплофізичних, температурних, магнітних, електричних вимірювань, вимірювання тиску параметрів руху, кПа (мм рт. ст.)	100(750)
3. Тиск навколишнього повітря для лінійних, кутових вимірювань, вимірювання маси, сили світла й вимірювання в інших областях, кПа (мм рт. ст.)	101,3(760)
4. Відносна вологість повітря для лінійних, кутових вимірювань, вимірювань маси, вимірювань у спектроскопії, %	58
5. Відносна вологість повітря для вимірювання електричного опору, %	55
6. Відносна вологість повітря для вимірювання температури, сили, твердості, змінного електричного струму, іонізуючих випромінювань, параметрів руху, %	65
7. Відносна вологість повітря для всіх видів вимірювань, %	60
8. Щільність повітря, кг/м ³	1,2
9. Прискорення вільного падіння, м/с ²	9,8
10. Магнітна індукція (Тл) і напруженість електростатичного поля (В/м) для вимірювань параметрів руху, магнітних й електричних величин	0
11. Магнітна індукція й напруженість електростатичного поля для всіх видів вимірювань, крім зазначених у п. 10	Відповідає характеристикам поля Землі в даному географічному районі

При проведенні вимірювань у реальних умовах значення величин, що впливають, можуть коливатися біля своїх номінальних значень. Отже, необхідно встановити межі можливих змін для кожної впливаючої величини. Ці межі - їх називають межами нормальної області значень впливаючих величин - вибирають так, щоб вплив сукупності впливаючих величин на результат вимірювання був по можливості мінімальним. Відповідно до вимог метрологічних вимірювань похибка, зумовлена змінами параметрів зовнішніх умов, не повинна перевищити 35% від межі допущеної похибки застосовуваного засобу вимірювання.

При підготовці до вимірювань необхідно визначити робочий простір, що оточує засіб вимірювання, у якому зміни умов, що відбуваються (температури, тиску й т.д.), практично не впливають на результат вимірювання.

При точних вимірюваннях для підтримки нормальних умов застосовують спеціальні засоби захисту від дії впливаючих величин. Так, вплив температури виключають шляхом термостатування. Термостатувати можна також частини вимірювальної апаратури (елементи електронної схеми, нормальні елементи й ін.).

З метою усунення вібрацій і струсів застосовують амортизатори (струни, пружини), губчасту гуму й т.д.

Засобами захисту від впливу магнітного поля Землі служать екрани з магнітно-м'яких матеріалів. Щоб зменшити вплив зміни атмосферного тиску, застосовують барокамери.

Засоби реєстрації значень впливаючих величин вибирають так, щоб похибка їх була занадто мала в порівнянні зі зміною впливаючої величини. Наприклад, для реєстрації атмосферного тиску 110 кПа використовують барометр, похибка якого не перевищує 110 Па; для уточнення відносної вологості повітря (50-60%) застосовують психрометр з похибкою не більше 5%.

Вибір засобів і методу вимірювань

Кількість вимірювань залежить від правильного вибору засобів вимірювань. Вимірювання, проведені засобами вимірювань більш низького класу, ніж це потрібно, мають малу цінність, а іноді вони неприпустимі, тому що приводять до браку продукції або до неправильних наукових висновків.

Застосування точних засобів вимірювань пов'язане з більшими матеріальними витратами. Тому при їхньому виборі необхідно враховувати не тільки метрологічні характеристики, але й економічні та інші показники. Звичайно при виборі засобів вимірювань ураховують вимірювану величину, метод вимірювань, діапазон вимірювань і характеристики похибки засобів вимірювань, умови проведення вимірювань, вартість засобів вимірювань, простоту їх в експлуатації.

Основними характеристиками засобів вимірювань є похибки. Вони найбільш істотно впливають на кількість вимірювань, тому при виборі засобів вимірювань їх розглядають у першу чергу. При виборі засобів вимірювань по точності необхідно враховувати вимоги до похибки результату вимірювання й частку її, що приходить на похибку використовуваних засобів вимірювань.

Відомо, що крім похибки самих засобів вимірювань можуть бути похибки методу вимірювання, оператора, дії впливаючих величин. Сумарну похибку δ_{Σ} порівнюють із похибкою, що допускається:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_m + \delta_{ci} + \delta_{ysl} + \delta_0 \leq \delta_{\delta}, \quad (4.3)$$

де δ_m - гранична похибка методу вимірювань;

δ_{ci} - межа похибки використовуваних засобів вимірювань, що допускається;

δ_{ysl} - гранична похибка, зумовлена впливом зовнішніх факторів;

δ_o - гранична похибка оператора;

δ_δ - похибка вимірювання, що допускається.

Однак, алгебраїчне підсумовування всіх похибок дає завищену на 20-30% оцінку.

Якщо $\delta_\Sigma > \delta_\delta$, то уточнюють складові похибки результату. Якщо ж уточнення не приводить до бажаного результату, то вибирають більше точний засіб вимірювань. Якщо точного засобу нема, то за допомогою зразкового засобу вимірювання оцінюють систематичну складову обраного засобу вимірювання й вносять виправлення в результат вимірювань. Порівняння сумарної похибки результату вимірювань із тою, що допускається (δ_δ), проводять доти, поки не одержать $\delta_\Sigma \leq \delta_\delta$. Іноді цього домогтися неможливо, тому для рішення вимірювального завдання потрібно створити нові засоби вимірювань і забезпечити необхідні умови вимірювань.

Метод вимірювання являє собою прийом або сукупність прийомів застосування засобів вимірювань і характеризується сукупністю тих фізичних явищ, на яких засновані виміри.

Основними методами вимірювань є метод безпосередньої оцінки й метод порівняння з мірою. Найбільше поширення одержав метод безпосередньої оцінки, при якому вимірювану величину визначають безпосередньо за відліковими пристрої засобів вимірювань. Основна увага при вимірах цим методом приділяється використуванним засобам вимірювань, тому що вони служать основними джерелами похибки вимірювань. Тому необхідно особливо ретельно підходити до вибору вимірювань, що забезпечують високу точність показань.

Якщо необхідно виконати точне вимірювання, застосовують диференційний або нульовий метод. Ці методи є різновидом методу порівняння з мірою. Для них характерне існування високоточної

міри, близької до вимірюваної величини, або наявність пристроїв, що дозволяють відтворювати будь-яке значення відомої величини без істотного зниження точності. Похибка цих методів характеризується в основному похибкою використовуваної міри.

Нульовий метод незамінний при оптичній пірометрії - вимірювань високих температур розплавлених металів, полум'ю, внутрішній поверхні високотемпературних печей й ін. Зорову трубу пірометра з еталонною лампою накаливання наводять на об'єкт, температуру якого потрібно виміряти. Вимірювання проводиться в момент рівності яскравості об'єкта й еталонної лампи. Нульовий метод використовується також для вимірювання ЕРС, напруженості магнітного поля й ін. Наприклад, при вимірюванні температури з використанням термопар застосовується еталонне джерело напруги, ЕРС якого порівнюють із термо-ЕРС термопари. У момент вимірювання нуль - індикатор показує відсутність струму в електричному ланцюзі. Похибка даного методу визначається в основному точністю використаного нуль - індикатора.

Існує ряд фізичних величин і параметрів, для вимірювання яких використовують електричні методи вимірювання неелектричних величин: індуктивний, ємнісний (вимірювання рівня), п'єзоелектричний (вимірювання тиску), тензометричний (вимір деформації конструктивних елементів) і ін.

Якщо розглянуті методи не дозволяють вирішити вимірювальне завдання, використовують непрямі методи, що значно розширює діапазон вимірюваних величин і можливості вимірювань. Знання функціональних зв'язків між величиною, яку необхідно виміряти, і величинами, можливість вимірювання яких не вимагає великих зусиль, дозволяє вимірювати теплові потоки, теплоту спалювання палива й ін.

Автоматизовані вимірювальні системи дозволяють максимально

зменшити похибку методу, дійсно ліквідувати похибку оператора. Як правило, всі автоматизовані вимірювальні системи мають ЕОМ або дисплей з выводами даних на ЕОМ і наступною їхньою обробкою.

Перевірка виду розподілу експериментальних даних.

Основна мета обробки експериментальних даних - одержання результату вимірювання й оцінка його похибки. Вибір методу обробки залежить від числа експериментальних даних (багаторазові або однократні виміри), виду розподілу похибок вимірювань, виду вимірювань, їхньої трудомісткості.

Щоб оцінити похибку однократного вимірювання, використовують результати спеціально поставленого аналогічного експерименту або дані попередніх досліджень умов вимірювань, похибок використаних засобів, їхній клас точності й методів вимірювань, а також похибок оператора.

Для визначення результату багаторазових вимірювань й оцінки їхніх похибок широке поширення одержали ймовірностатичні методи. Вибір методу залежить від характеру (закону) розподілу результатів вимірювань конкретної фізичної величини.

При обробці експериментальних даних найчастіше приймають гіпотезу про нормальний закон розподілу експериментальних даних при багаторазовому вимірюванні якого-небудь фізичного параметра. Перевірити гіпотезу про те, що розподіл даних не суперечить прийнятому нормальному закону можна за рядом критеріїв. Найбільш ефективним є критерій Колмогорова (ω - критерій) і критерій Пірсона (χ^2 - критерій).

При числі експериментальних даних $n \geq 50$ для перевірки прийнятої гіпотези найчастіше використовують критерій Пірсона. Всі експериментальні дані розподіляють на окремі групи, обчислюють середини інтервалів x_{io} відповідні їм емпіричні частоти, визначають середнє арифметичне \bar{x} й середнє квадратичне відхилення S .

Знаходять число даних, що повинне було бути в інтервалі, якби їхній розподіл відповідав прийнятому передбачуваному (нормальному):

$$n_i = n \frac{h}{S} \varphi(z_i). \quad (4.4)$$

Для кожного інтервалу обчислюють:

$$\chi_i^2 = \frac{(\bar{n} - n_i)^2}{n_i}. \quad (4.5)$$

Підсумувавши χ_i^2 по всім r інтервалам, одержують значення χ^2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \left[\frac{(\bar{n}_i - n_i)^2}{n_i} \right] \quad (4.6)$$

с певним числом ступенів свободи f . Для нормального розподілу $f = r - 3$.

Вибравши рівень значимості q за таблицями розподілу χ^2 , знаходять χ_H^2 й χ_B^2 (табл. 4.2). Гіпотезу про відповідність теоретичного розподілу практичному приймають, якщо $\chi_H^2 < \chi^2 < \chi_B^2$.

Таблиця 4.2 - Значення χ^2 при різному рівні значимості

n	χ^2 при рівні значимості q в інтервалі (0,99-0,02)								
	0,99	0,95	0,90	0,80	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02
2	0,02	0,10	0,21	0,45	1,39	3,22	4,61	5,99	7,82
4	0,30	0,7	1,06	1,65	3,36	5,99	7,78	9,49	11,67
6	0,87	1,63	2,20	3,07	5,35	8,56	10,65	12,59	15,03
8	1,65	2,73	3,49	4,59	7,34	11,03	13,36	15,51	18,17
10	2,56	3,94	4,87	6,18	9,34	13,44	15,99	18,31	21,16
12	3,57	5,23	6,30	7,81	11,34	15,81	18,55	21,03	24,05
14	4,66	6,57	7,79	9,47	13,34	18,15	21,06	23,69	26,87
16	5,81	7,96	9,31	11,20	15,34	20,46	23,54	26,30	29,63
20	8,26	10,85	12,44	14,58	19,34	25,04	28,41	31,41	35,02
25	11,52	14,61	16,47	18,94	24,34	30,68	34,38	37,65	41,57
30	14,95	18,46	20,60	23,36	29,34	36,25	40,26	43,77	47,96

Приклад 4.1. Є сукупність експериментальних даних, яку розбили на 14 інтервалів (табл. 4.3). Через те, що в перший та у три останніх інтервали попадає менше 5 даних, варто об'єднати перший із другим і три останніх. Число ступенів свободи буде дорівнювати $f=11-3=8$.

Застосовуємо перевірку, використовуючи двосторонні критичні області при рівнях значимості критерію q рівних: $q_1=0,95$ й $q_2=0,05$. Для цих значень q й f граничні значення χ^2 за таблицею 4.3 складає $\chi_H^2=2,73$ й $\chi_B^2=15,5$. Тому що $2,73 < 7,03 < 15,5$, то приймається гіпотеза про нормальний розподіл отриманих експериментальних даних.

Таблиця 4.3 - Приклад перевірки відповідності розподілу даних нормальному розподілу

Номер інтервалу, i	Середина інтервалу, x_{io}	Число даних в інтервалі, n_i	$x_{io} - \bar{x}$	$z_i = \frac{x_{io} - \bar{x}}{S}$	Теоретичне число даних в інтервалі $n \frac{h}{S} \varphi(z_i)$	χ_i^2
1	-0,14	3	-0,1116	-2,17	3,0	0,27
2	-0,12	8	-0,0916	-1,78	6,4	
3	-0,10	11	-0,0716	-1,39	13,6	
4	-0,08	20	-0,0516	-1,00	18,8	0,08
5	-0,06	27	-0,0316	-0,61	26,0	0,04
6	-0,04	36	-0,0116	-0,23	30,2	1,11
7	-0,02	29	0,0084	0,16	30,8	0,10
8	0,00	18	0,0284	0,55	26,8	2,89
9	0,02	17	0,0484	0,94	19,8	0,40
10	0,04	17	0,0684	1,33	12,8	1,38
11	0,06	8	0,0884	1,72	7,0	0,14
12	0,08	4	0,1084	2,10	3,4	0,12
13	0,10	1	0,1284	2,49	1,4	
14	0,12	1	0,1484	2,88	0,4	
Сума		200	0		200,4	7,03
		$\bar{x} = -0,0294$		$S = 0,0514$		

При $n < 10$ перевірити гіпотезу про вид розподілу експериментальних даних неможливо. З метою встановлення виду розподілу збільшують число даних (від 10 і вище) і перевіряють гіпотезу про вид розподілу даних.

При числі даних $10 \leq n \leq 50$ також важко судити про вид розподілу. Тому для перевірки належності отриманого масиву вимірювань до нормального закону розподілу використовують складений критерій. Якщо гіпотеза про нормальність відкидається хоча б по одному із критеріїв, вважається, що розподіл експериментальних даних відрізняється від нормального.

Якщо при перевірці гіпотези за тими самими даними для першого критерію обраний рівень значимості q_1 , а для другого критерію рівень значимості q_2 , то рівень значимості складеного критерію дорівнює:

$$q \leq q_1 + q_2.$$

За першим критерієм обчислюють значення d за формулою:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{nS'}, \quad (4.7)$$

де S' - зміщене значення середнього квадратичного відхилення

$$S' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (4.8)$$

Гіпотеза про нормальність підтверджується, якщо

$$d_{1-q_{1/2}} < \bar{d} < d_{q_{1/2}},$$

де $d_{1-q_{1/2}}$ й $d_{q_{1/2}}$ - відсоткові точки розподілу значень d , які визначаються за табл. 4.4.

За другим критерієм гіпотеза про нормальність розподілу експериментальних даних підтверджується, якщо не більше « m »

різниці $(x_i - \bar{x})$ перевершили значення $S \cdot z_{p/2}$.

Таблиця 4.4 - Значення відсоткових точок q для першого критерію

Рівень значимості $q, \%$		Число результатів вимірювань у групі, n										
		11	16	21	26	31	36	41	46	51	61	71
$1 - q/2$	99,0	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74
	95,0	0,72	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76
	90,0	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
$q/2$	10,0	0,89	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83
	5,0	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84
	1,0	0,94	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85

Величина S визначається за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (4.9)$$

Величина $z_{p/2}$ - верхня $100P/2$ - відсоткова точка нормованої функції Лапласа. Величина $P(n, q)$ визначається по « n » і рівні значимості q_2 критерію як кореня рівняння:

$$q_2 = 1 - \sum_{k=0}^m C_n^k (1-P)^k P^{n-k}, \quad (4.10)$$

де P – довірча ймовірність.

Для знаходження P складено таблицю 4.5 із входами « n », « q_2 » для значень $m = 1$ і $m = 2$. При числі даних $10 \leq n \leq 20$ приймають $m = 1$, при $10 \leq n \leq 50$ приймають $m = 2$.

Приклад 4.2. При установці пальника для нагрівальної печі проведено 14 вимірювань кута нахилу осі пальникового пристрою. Вимірювання проводилися одним і тим же оператором, тим же самим

теодолітом, у тих самих умовах. Дані вимірювань зведені в табл. 4.6. Перевіримо, чи можна вважати, що наведені дані мають нормальний закон розподілу.

Таблиця 4.5 - Значення довірчої ймовірності Р для визначення другого критерію

<i>n</i>		10	11-14	15-20	21-22	23	24-27	28-32	33-35	36-49
<i>m</i>		1	1	1	2	2	2	2	2	2
<i>a/2</i>	1,00	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
100%	2,00	0,98	0,98	0,99	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
	5,00	0,96	0,97	0,98	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98

Таблиця 4.6- Експериментальні дані умовних вимірювань

<i>n_i</i>	<i>x_i</i>	<i>n_i</i>	<i>x_i</i>	<i>n_i</i>	<i>x_i</i>
1	17°56'45,00''	6	17°56'38,33''	11	17°56'42,50''
2	17°56'36,25''	7	17°56'37,50''	12	17°56'39,17''
3	17°56'42,50''	8	17°56'43,33''	13	17°56'45,00''
4	17°56'45,00''	9	17°56'40,63''	14	17°56'40,83''
5	17°56'37,50''	10	17°56'36,25''		

Визначимо середнє значення вимірювань кута нахилу пальника:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 17^{\circ}56'40,70''.$$

Сума відхилень від середнього значення складе:

$$\sum |x_i - \bar{x}| = 38,53''.$$

Сума квадратів відхилень:

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 136,931497.$$

Середні квадратичні відхилення *S* й *S'* знайдемо за формулами:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{136,931497}{13}} = 3,245'' ,$$

$$S' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{136,931497}{14}} = 3,127'' .$$

Оцінка параметра « \bar{d} » складе (формула 4.7) 0,88.

Рівень значимості першого критерію буде $q = 2\%$. З таблиці 4.7 знайдемо $d_{1\%} = 0,92$ й $d_{99\%} = 0,68$. Тому що $0,68 < 0,88 < 0,92$, то за першим критерієм розподіл величин кутових вимірювань задовольняє нормальному закону.

Застосуємо другий критерій. Вибравши рівень значимості $q_2 = 0,05$ для $n=14$ з таблиці 4.5, знайдемо $P=0,97$ (97%). З таблиці 4.7 визначимо $Z_{p/2} = 2,17$. Тоді

$$S \cdot Z_{p/2} = 3,245 \cdot 2,17 = 7,042 .$$

Таблиця 4.7 - Значення P - відсоткових точок нормованої функції Лапласа

P 100%	90	95	96	97	98	99
$Z_{p/2}$	1,65	1,96	2,06	2,17	2,33	2,58

Відповідно до другого критерію, не більше однієї різниці $|X_i - \bar{X}|$ може перевершити 7,042. З даних таблиці 4.7 виходить, що жодне відхилення $|X_i - \bar{X}|$ не перевершує 7,042.

Отже, гіпотеза про нормальність розподілу даних підтверджується. Рівень значимості складеного критерію $q \leq 0,02 + 0,05 = 0,07$, тобто гіпотеза про нормальність розподілу даних підтверджується при рівні значимості не більше 0,07.

4.2. Обробка результатів вимірювань

Методика обробки результатів вимірювань

Середнє арифметичне значення ряду вимірювань обчислюється за формулою:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

де x - середнє арифметичне значення;

x_i - результат i -го вимірювання;

n - число вимірювань.

Передбачається, що результати вимірювань не містять систематичних похибок. Якщо розглянути ряд результатів в іншому вигляді, то його можна записати так:

$$x_1 = x + \delta_1$$

$$x_2 = x + \delta_2$$

$$x_3 = x + \delta_3$$

.....

$$x_n = x + \delta_n$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = nX + \sum_{i=1}^n \delta_i,$$

де x - дійсне значення вимірюваної величини або математичне очікування $M(x)$ випадкової величини;

δ_i - похибка i -го вимірювання.

На підставі теорії похибок сума всіх випадкових похибок прагне до нуля:

$$\sum_{i=1}^n \delta_i \approx 0.$$

Тоді за умови великої кількості вимірювань n справедливе приблизне рівняння:

$$\sum_{i=1}^n x_i \approx nX .$$

Звідси

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{X} \approx X ,$$

тобто, середнє арифметичне значення є наближенням до дійсного.

При повторенні ряду вимірювань у тих самих умовах нове середнє значення величини буде близько до першого.

Відхилення від середнього. При визначенні випадкової похибки $\delta = x_i - x$ дійсне значення (x) нам невідоме. Якщо замість (x) взяти середнє значення \bar{x} , то одержимо відхилення результату вимірювання від середнього значення (v_i):

$$v_i = x_i - \bar{x} .$$

Всі величини, що входять у це рівняння, відомі й з ними можна виконувати необхідні обчислення.

Відхилення від середнього мають дві дуже важливих властивості:

- алгебраїчна сума відхилень від середнього дорівнює нулю, що доводиться формулами:

$$v_1 = x_1 - x$$

$$v_2 = x_2 - x$$

$$v_3 = x_3 - x$$

.....

$$v_n = x_n - x$$

$$\sum_{i=1}^n v_i = \sum_{i=1}^n x_i - nx .$$

З визначення середнього арифметичного випливає:

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

Звідси $\sum_{i=1}^n v_i = 0$. Ця рівність справедлива завжди, якщо при обчисленні середнього значення не виконувалося округлення.

- сума квадратів відхилень від середнього має мінімальне значення

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \min.$$

Якщо замість середнього арифметичного значення взяти яке-небудь інше значення й визначити відхилення від його результатів окремих вимірювань X , то сума квадратів цих відхилень завжди буде більша, ніж їхня сума від середнього.

Ця властивість наочно показана на прикладі обробки результатів вимірювань (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8 - Порівняльна обробка результатів обчислення відхилень від середнього й від довільного числа

x_i	$v_i = x_i - \bar{x}$	v_i^2	$u_i = x_i - 5304,7$	u_i^2
5304,5	-0,3	0,09	-0,2	0,04
5305,2	+0,4	0,16	+0,5	0,25
5304,3	-0,5	0,25	-0,4	0,16
5304,9	+0,1	0,01	+0,2	0,04
5304,8	0	0	+0,1	0,01
5305,0	+0,2	0,04	+0,3	0,09
5304,6	-0,2	0,04	-0,1	0,01
5305,1	+0,3	0,09	+0,4	0,16
5304,7	-0,1	0,01	0	0
5304,9	+0,1	0,01	+0,2	0,04

Із цієї таблиці видно, що квадрат відхилення від середнього значення $\sum v_i^2$ менше, ніж квадрат відхилення від якогось довільного

числа $\sum u_i^2$.

$$\sum v_i^2 = 0,70 < \sum u_i^2 = 0,80.$$

Заміна середнього довільним числом й обчислення відхилень від нього. При великій кількості вимірювань обчислення середнього арифметичного буває незручним і стомлюючим. У цьому випадку його можна здійснити в інший спосіб:

- вибрати якесь значення x орієнтовно близьке до середнього арифметичного, позначити його x^* й обчислити для кожного результату одиничного вимірювання ω_i - відхилення x_i від значення $\overline{x^n}$

$$\omega_i = x_i - \overline{x^*}.$$

Підсумувати значення ω_i для всіх n вимірювань і розділити на n .

$$\frac{\sum \omega_i}{n} = \frac{\sum x_i}{n} - \frac{n \overline{x^*}}{n},$$

Тому що $\frac{\sum x_i}{n}$ - середнє значення вимірюваної величини \overline{x} , тоді:

$$\overline{x} = \overline{x^*} + \frac{\sum \omega_i}{n}.$$

Для визначення відхилення від середнього можна використати наступний вираз $v_i = x_i - \overline{x} = x_i - \overline{x^*} + \frac{\sum \omega_i}{n}$. Тому що $x_i - \overline{x^*}$ це ω_i , тоді

$$v_i = \omega_i - \frac{\sum \omega_i}{n}. \quad (4.11)$$

Варіант знаходження значення $\sum v_i^2$:

$$\sum v_i = \sum \left(\omega_i - \frac{\sum \omega_i}{n} \right) \text{ піднести до квадрата}$$

$$\sum v_i^2 = \sum \omega_i^2 - 2 \sum \omega_i \frac{\sum \omega_i}{n} + \frac{n(\sum \omega_i)^2}{n^2}.$$

Підсумувати другий і третій члени рівняння й одержати:

$$\sum v_i^2 = \sum \omega_i^2 - \frac{(\sum \omega_i)^2}{n}.$$

Помножити вихідне рівняння (4.11) на v_i :

$$v_i = \omega_i - \frac{\sum \omega_i}{n} \Rightarrow v_i^2 = v_i \omega_i - \frac{v_i \sum \omega_i}{n}.$$

Для n - вимірювань сума буде дорівнювати:

$$\sum v_i^2 = \sum v_i \omega_i - \sum (v_i) \frac{\sum \omega_i}{n}.$$

Тому що сума відхилень від середнього дорівнює нулю, тобто $\sum v_i = 0$, тоді:

$$\sum v_i^2 = \sum (v_i \omega_i).$$

Наближене значення середньої квадратичної похибки за досвідченими даними правильніше обчислювати за формулою:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}, \text{ а не за формулою } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n}}.$$

Оцінка результатів рівноточних вимірювань

Розглядаючи властивості довірчих інтервалів, довірчих ймовірностей і характеристики нормального їхнього розподілу важливо відзначити, що ймовірність появи похибки δ , що не виходить за межі $\pm \sigma$, дорівнює 0,6826. У цьому випадку $+\sigma$ і $-\sigma$ розглядаються як границі інтервалу, у межах якого з імовірністю 0,6826 лежать значення випадкових похибок δ . Границі інтервалу називають довірчими границями, а сам інтервал - довірчим інтервалом, а ймовірність, що характеризує цей інтервал - довірчою ймовірністю, тобто довірча ймовірність для інтервалу від $+\sigma$ до $-\sigma$ дорівнює 0,6826.

Імовірність попадання випадкової похибки в довірчий інтервал із границями $+\varepsilon$ і $-\varepsilon$ ($\pm\varepsilon$) при нормальному розподілі визначається в такий спосіб:

$$P[-\varepsilon < \delta < +\varepsilon] = P[|\varepsilon| < \delta] = \Phi(t),$$

де $\Phi(t)$ називається інтегралом ймовірностей (інтегралом Лапласа) і

визначається формулою $\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{\delta^2}{2}} d\delta$ ($t > 0$). Довірчі інтервали й

довірчі ймовірності визначаються за допомогою таблиць значень інтеграла ймовірностей $\Phi(t)$. Значення t визначається з такого виразу:

$$\varepsilon = t \cdot \sigma, \text{ звідки } t = \frac{\varepsilon}{\sigma},$$

де ε - границя довірчого інтервалу.

Імовірність того, що випадкова похибка виявиться за межами інтервалу $(\pm\varepsilon)$ визначається виразом: $P[|\varepsilon| < \delta] = 1 - \Phi(t)$. При цьому значення функції $1 - \Phi(t)$ називається *рівнем значимості*.

На практиці довірча ймовірність вибирається залежно від конкретних умов, де найбільш часто користуються довірчим інтервалом від $+3\sigma$ до -3σ . Якщо підвищити вимоги до точності вимірювань, тобто звужити межі довірчого інтервалу до $\pm 2\sigma$, то довірча ймовірність зменшиться, й навпаки, якщо знизити вимоги до точності вимірювання, тобто прийняти границі довірчого інтервалу $\pm 4\sigma$, то довірча ймовірність збільшиться. Для інтервалу $\pm 3\sigma$ імовірність складе 0,997, для інтервалу $\pm 2\sigma$ - 0,9544, а для інтервалу $\pm 4\sigma$ - 0,999936.

Приклад 4.3. Середньоквадратичне відхилення дорівнює 0,2% ($\sigma=0,002$). Визначити ймовірність того, що випадкова похибка вимірювання буде лежати в межах довірчого інтервалу межі $\pm 0,5\%$.

Рішення: Межі інтервалу $\varepsilon = \pm 0,005$, визначаємо t .

$$t = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{0,005}{0,002} = 2,5$$

За таблицями ПА1 і ПА2 визначається довірча ймовірність $\Phi(t)$ відповідна $t = 2,5$. $\Phi(t) = 0,9876$. Рівень значимості - 0,0124 або 1,24%.

Похибки середнього арифметичного

Як розглядалося раніше, середнє значення результатів вимірювань нескінченно великого числа ($n \rightarrow \infty$) вимірювань прагне до істинного значення вимірюваної величини. На практиці обчислюється середнє значення кінцевого числа результатів вимірювань, що відрізняється від істинного на величину λ і є випадковою його похибкою.

Якщо випадкові похибки результатів окремих вимірювань підкоряються нормальному закону розподілу, то й похибки середніх значень підкоряються цьому ж закону, але вже з іншою дисперсією.

Середня квадратична похибка (S) середнього значення визначається: $S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ Наближене значення σ обчислюється:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}, \text{ тоді } \bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}}.$$

Приклад 4.4. Визначити середні квадратичні похибки окремих вимірювань й їх середнє арифметичне для ряду чисел $n=10$, $\sum v_i^2 = 0,70$.

$$\text{Рішення: } \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,7}{9}} = 0,29.$$

$$S = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} = \frac{0,29}{\sqrt{10}} = 0,088.$$

Випадкові похибки середнього значення \bar{x} також розподіляються за нормальним законом, що надає право визначати й для них довірчий інтервал $\pm E$, що відповідає обраний довірчий ймовірності за формулою:

$$P[(x - a) < E] = \Phi(t), \text{ де } E = tS = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \approx \frac{t\sqrt{\sum v_i^2}}{\sqrt{n(n-1)}}.$$

На практиці дуже часто задаються певною похибкою, що не повинна перевищити похибка однократного вимірювання або похибку середнього значення його ряду. Ці похибки прийнято називати похибками, що допускаються обмежено, під якими мається на увазі межа довірчих інтервалів $(\pm (i \pm E))$.

При малому числі спостережень не можна користуватися формулами нормального розподілу. Тому на основі попередніх досвідів з достатнім числом вимірювань необхідно визначити σ для даного методу. Однак на можливість при малому числі вимірювань визначити довірчу ймовірність або довірчий інтервал у тих випадках, коли невідома σ , указав Стюдент. Він вивів розподіл похибок середніх значень, одержуваних при малому числі вимірювань. Для практичного застосування цього розподілу служать таблиці (ПБ1 і ПБ2). У таблиці до д а т к у ПБ2 дані значення t для різних довірчих ймовірностей P_S і різного числа вимірювань n . При $n \rightarrow \infty$ розподіл сходиться з нормальним, про який говорилося вище. Знаючи кількість вимірювань і задавшись довірчою ймовірністю P_S , по додатку ПБ1 визначається значення t_S . Визначивши $\bar{\sigma}$ й помноживши його значення на t_S , визначають границі довірчого інтервалу. У тих випадках, коли потрібно визначити довірчу ймовірність P_S при заданому t , користуються таблицею додатка ПБ2.

Приклад 4.5. Зважування виробу дало результати в грамах (відхилення в мг), описані в нижчеподаній таблиці 4.9.

Визначити довірчий інтервал для середнього значення при довірчій імовірності 0,99.

$$\text{Знаходимо } \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{326}{5}} = 8,06 \text{ мг}; S = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} = \frac{8,06}{\sqrt{6}} = 3,29 \text{ мг.}$$

По таблиці ПБ1 знаходимо для $n = 6$; $P_S = 0,9$; $t = 4,03$.

Визначаємо границі довірчого інтервалу похибки середнього значення $E = t \cdot \bar{S}$. $E = \pm(4,03 \cdot 3,29) \approx \pm 13$ мг. Маса дорівнює

72,350±0,013 p.

Таблиця 4.9 - Вага виробу

x_i	v	v^2
72,361	+ 11	121
72,357	+7	49
72,352	+2	4
72,346	-4	16
72,344	-6	36
72,340	-10	100
$x = 72,350$	$v = x_i - x$	$\sum v_i^2 = 326$

Приклад 4.6. При 10 вимірюваннях довжини металевого стрижня отримані в міліметрах такі результати: 358,59; 358,55; 358,53; 358, 52; 358,51; 358,49; 358,48; 358,46; 358,45; 358,42.

Визначити ймовірність того, що похибка середнього значення не вийде за межі $\pm 0,05$ мм ($\pm E$).

Визначаємо середнє арифметичне $\bar{x} = 358,50$.

Визначаємо відхилення $v = x_1 - \bar{x}$.

Визначаємо $\sum v_i^2 = 0,023$.

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,023}{10 \cdot 9}} \approx 0,016.$$

$$t_s = \frac{E}{S_0} = \frac{0,05}{0,016} \cong 3.$$

По таблиці ПБ2 $n = 10$; $t_c = 3$; $P_s = 0,989$.

Оцінка результатів нерівноточних вимірювань.

У практиці вимірювань не завжди можна забезпечити повну відтворюваність умов повторних вимірювань, які виявляються менш надійними. Вони заслуговують меншої довіри, однак їх можна

враховувати, зменшивши в тому або іншому ступені їхню роль й «вага» у сукупності результатів всіх вимірювань. Поняття «вага» відбиває ступінь довіри до результату вимірювання, при цьому чим вона більше, тим більше його вага, тим більше число, що його виражає. Нерівноточні вимірювання зумовлені вимірюваннями нерівноточних за точністю приладів, проведеними декількома спостерігачами різної кваліфікації й досвіду. При таких вимірюваннях переслідується мета одержання можливо більшого числа результатів даних вимірювань й одночасного згладжування випадкових похибок, внесених спостерігачем або засобами вимірювань. При цьому повинна зберігатися основна вимога: дотримання єдності умов вимірювань і максимальної старанності їхнього проведення вимірювань.

При нерівноточних вимірюваннях значення одержуваної величини визначається за формулою:

$$\bar{x}_0 = \frac{\bar{x}_1 P_1 + \bar{x}_2 P_2 + \bar{x}_3 P_3 + \dots + \bar{x}_n P_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n},$$

де $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ - середні значення для окремих груп вимірювань;

P_1, P_2, \dots, P_n - їх «вага».

Значення \bar{x}_i - називається середньозваженим. «Вага» (P) позначається таким же символом, що й імовірність (P). Найточнішим значенням «ваги» для даного результату є його ймовірність. «Вага» на відміну від імовірності позначається (P^*). При визначенні «ваги» результатом вимірювань можуть бути взяті середні квадратичні відхилення (S_0). «Вага» відповідних груп вимірювань обернено пропорційний дисперсіям (квадратам середнього квадратичного відхилення S_0), що виражається формулою:

$$P_1^* : P_2^* : P_3^* : \dots : P_m^* = \frac{1}{S_{0_1}^2} : \frac{1}{S_{0_2}^2} : \frac{1}{S_{0_3}^2} : \dots : \frac{1}{S_{0_m}^2}.$$

Наприклад, три групи вимірювань, проведені трьома

спостерігачами, після обробки мають такі результати: $\bar{x}_1 = 20000,45$ й $S_{0t} = \pm 0,05$; $\bar{x}_2 = 20000,15$ і $S_{0i} = \pm 0,20$; $\bar{x}_3 = 20000,60$ і $S_{0i} = \pm 0,10$. Відношення «ваги» складе:

$$P_1^* : P_2^* : P_3^* = \frac{1}{(0,05)^2} : \frac{1}{(0,2)^2} : \frac{1}{(0,1)^2} = \frac{1}{0,0025} : \frac{1}{0,04} : \frac{1}{0,01} = 400 : 25 : 100 = 16 : 1 : 4,$$

т. е. $P_1^* = 16$, $P_2^* = 1$, $P_3^* = 4$. Тоді середньозважене буде визначене:

$$x_0 = \frac{16 \cdot 20000,45 + 1 \cdot 2000,15 + 4 \cdot 2000,60}{16 + 1 + 4} = 20000,46.$$

Для визначення «ваги» результатів вимірювань може бути число спостережень (n) у кожній групі (при $S_0 = const$), тобто $P_1^* : P_2^* : P_3^* = n_1 : n_2 : n_3 : \dots : n_m$. Тоді середньозважене значення може визначатися за формулою:

$$\bar{x}_a = \frac{\bar{x}_1 P_1^* + \bar{x}_2 P_2^* + \dots + \bar{x}_n P_m^*}{P_1^* + P_2^* + \dots + P_m^*} = \frac{\bar{x}_1 n_1 + \bar{x}_2 n_2 + \dots + \bar{x}_m n_m}{n_1 + n_2 + \dots + n_m},$$

але $\bar{x}_1 n_1 = \sum_{i=1}^{n_1} x_i$; $\bar{x}_2 n_2 = \sum_{i=1}^{n_2} x_i$ і у такий спосіб $n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_m = n$

(загальне число вимірювань), тоді, $\bar{x}_1 n_1 + \bar{x}_2 n_2 + \bar{x}_3 n_3 + \dots + \bar{x}_m n_m =$

$$\sum_{i=1}^{i=n_1+n_2+\dots} x_i = \sum_{i=1}^{i=n} x_i, \text{ отже}$$

$$\bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{x}.$$

Приклад 4.7. За проведеними вимірюваннями з різним числом спостережень у кожній із трьох груп визначено середні арифметичні значення:

$$\bar{x}_1 = 999,9425 \text{ і } n_1 = 36; \bar{x}_2 = 999,9420 \text{ і } n_2 = 24; \bar{x}_3 = 999,9419 \text{ і}$$

$n_3 = 60$.

На підставі пропорції $P_1^* : P_2^* : P_3^* = 36 : 24 : 60 = 3 : 2 : 5$. Приймаємо значення для «ваг» $P_1^* = 3$; $P_2^* = 2$; $P_3^* = 5$.

Середньозважене значення вимірюваної величини проведемо тільки з частинами, що вимірюються:

$$\bar{x}_0 = 999,94 + \frac{0,0025 \cdot 3 + 0,0020 \cdot 2 + 0,0019 \cdot 5}{3 + 2 + 5} = 999,94 + 0,0021 = 999,9421.$$

При визначенні деяких величин, значення яких оцінюються не прямими вимірюваннями, а на підставі декількох вимірювань, зв'язаних функціонально з одержуваними даними, використовується формула:

$$Q = f(a, b, c...),$$

де Q - зумовлена, а a, b, c - вимірювальні величини.

Похибка визначення Q залежить від похибок a, b, c . Це справедливо для випадкових і систематичних похибок. При оцінці результатів непрямих вимірювань величини Q вважається, що систематичні похибки виключені, а випадкові похибки вимірювань a, b, c не залежать одна від одної.

Для визначення середньоквадратичного відхилення σ_0 непрямого вимірювання служить формула:

$$\sigma_0 = \sqrt{D_a^2 + D_b^2 + D_c^2 + \dots},$$

де D_a, D_b, D_c - приватні похибки непрямого вимірювання, рівні:

$$D_a = \frac{\partial Q}{\partial a} \sigma_a; D_b = \frac{\partial Q}{\partial b} \sigma_b; D_c = \frac{\partial Q}{\partial c} \sigma_c.$$

При цьому $\frac{\partial Q}{\partial a}; \frac{\partial Q}{\partial b}; \frac{\partial Q}{\partial c}$ - частки похідні Q по a, b, c , а $\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c$ -

середні квадратичні відхилення результатів вимірювань величин a, b, c .

Якщо функціональна залежність між побічно й безпосередньо вимірюваними величинами виконуються в такий спосіб: $Q = ka^\alpha b^\beta c^\gamma$. У цьому випадку середньоквадратичне відхилення визначається за формулою:

$$\frac{\sigma_Q}{Q} = \sqrt{\alpha^2 \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \beta^2 \left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2 + \gamma^2 \left(\frac{\sigma_c}{c}\right)^2}.$$

Якщо $\alpha = \beta = \gamma = 1$, то формула спрощується

$$\frac{\sigma_Q}{Q} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_c}{c}\right)^2}.$$

Приклад 4.8. Знайти значення електричної енергії й середню квадратичну похибку її визначення за результатами вимірювань сили струму, опору й часу, для яких відомі похибки вимірювань: $I=10,230\pm 0,015\text{А}$; $r=11,68\pm 0,01\text{Ом}$; $t = 405,2 \pm 0,1 \text{ с}$.

Енергія визначається за формулою:

$$A = I^2 \cdot r \cdot t.$$

Потім обчислюється відносно середньоквадратичне відхилення результату непрямого вимірювання енергії A .

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_A}{A} &= \sqrt{\alpha^2 \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \beta^2 \left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2 + \gamma^2 \left(\frac{\sigma_c}{c}\right)^2} = \sqrt{2^2 \left(\frac{0,015}{10,23}\right)^2 + 1^2 \left(\frac{0,01}{11,68}\right)^2 + 1^2 \left(\frac{0,1}{405,2}\right)^2} = \\ &= 10^{-4} \cdot \sqrt{993} \approx 0,003. \end{aligned}$$

Приклад 4.9. Визначити сумарний опір двох послідовно з'єднаних котушок опору при:

$$r_1 = 10 \pm 0,01 \text{ Ом}; r_2 = 1 \pm 0,02 \text{ Ом}; \sigma = \sqrt{(0,05)^2 + 0,02^2} \approx 0,054 \text{ Ом};$$

$$r=11 \pm 0,054 \text{ Ом}.$$

$$r_1 = r_2 = 10 \pm 0,05 \text{ Ом}; \sigma_2 = 0,05\sqrt{2} \approx 0,07 \text{ Ом}; r=20 \pm 0,07 \text{ Ом}.$$

Оцінка грубих похибок

На практиці спостерігаються промахи й грубі похибки. Промахи - це помилки, допущені оператором під час вимірювань, їх можна згрупувати за загальними ознаками в кілька груп:

- неправильний відлік за шкалою вимірювального приладу;
- неправильний запис результатів спостережень;
- помилки при маніпуляціях із приладами або частинами

вимірювальної установки.

Промахи небезпечні при однократних вимірах, при повторних - завжди виявляються.

Причинами великих похибок можуть бути раптові й короточасні зміни умов вимірювання або несправності, що залишилися непоміченими в апаратурах. Звичайно дуже великі похибки виключаються з ряду результатів вимірювань як нехарактерні. Облік їх при обмеженому числі вимірювань може спотворити результат більшою мірою, ніж це відповідає дійсності. У той же час при необмежено великій кількості вимірювань помилка може бути незначною. Наприклад, та сама груба помилка при 25 вимірюваннях спотворила б середнє арифметичне значення на 4%, а при 250 тисячах - усього на 0,0004%.

Між результатами, що містять грубу похибку і заслуговують довіри, важко провести межу й указати промахи. Запропоновано ряд прийомів і формул для визначення результатів, що підлягають відкиданню. Щоб визначити, які результати варто відкинути, необхідно попередньо обробити ряд й обчислити його середню квадратичну похибку (σ). Після цього визначити результати, що підлягають відкиданню на підставі відомої раніше середньої квадратичної похибки. Якщо її нема, то використовується знайдена середня квадратична похибка ряду. Потім обчислення проводяться з очищеним рядом. Розбіжності між похибками ряду дозволяють оцінити надійність виконаних вимірювань і ступінь збереження незмінними умови вимірювань. Цей метод можна застосовувати тоді, коли відома σ або коли σ ряду визначається на підставі досить великої кількості вимірювань.

При малому числі вимірювань оцінка точності результатів визначається за критерієм Романовського (додаток ПВ1), заснованого на розподілі Стюдента. Сутність його полягає в наступному.

Припустимо, проведено $n+1$ вимірювань, причому n результатів не викликає сумнівів у закономірності ряду, а один здається, що його порушує. Цей результат позначається через x_{n+1} і міститься для ряду n

вимірювань середнє арифметичне: $\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$, потім визначається

середня квадратична похибка: $\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}$. Після чого задається

ймовірність p_k того, що значення $(x_{n+1} - \bar{x}_n)$ не перевищує деякого значення ε^* , підмет, який потрібно визначити. За таблицею критерію Романовського визначаємо t' для різних значень p_k і n і припустиме значення границь інтервалу за виразом $\varepsilon^* = t' \bar{\sigma}$.

Приклад 4.10. Виконаний ряд вимірювань величини x_i від 789 до 809, усього 15 вимірювань (n). Визначено середнє арифметичне $\bar{x}_{15} = 798,8$. Знайдено суму квадратів відхилень $\sum_{i=1}^n v_i^2 = 526,4$. Додатково було проведено шістнадцяте вимірювання, результат якого 772. Спочатку визначається відхилення від середнього $v_{16} = \bar{x}_{15} - x_{16} = 798,8 - 772 = 26,8$, потім середня квадратичної похибки за результатами 15 вимірювань:

$$\bar{\sigma}_{15} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{526,4}{14}} = 6,13.$$

Для $n = 15$ задається ймовірність $p_k = 0,005$ і по таблиці ПВ1 знаходимо $t' = 4,28$, після чого обчислюється припустиме значення границь інтервалу $\varepsilon^* = t' \bar{\sigma}$, $\varepsilon^* = 4,28 \cdot 6,13 = 26,24$. Потім рівняється відхилення 16-го вимірювання. Якщо воно більше, ніж припустиме, то проводиться його виключення, якщо менше, то залишається. Обчисленням отримано, що $26,8 > 26,24$, тому результат 16-го

вимірювання підлягає виключенню з ряду.

Варіаційний критерій Діксона є досить надійним і з малими ймовірностями помилок. При його застосуванні отримані результати вимірювань записують у варіаційний зростаючий ряд $x_1 < x_2 < \dots < x_n$.

Критерій визначається як:

$$K_g = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}.$$

Критична зона для цього критерію $P(K_g > Z_q) = q$. Значення Z_q наведено в табл. 2 додатка А.

Приклад 4.11. Було проведено п'ять вимірювань температури поверхні зливка. Отримано такі дані, $^{\circ}\text{C}$: 1271, 1272, 1269, 1276, 1272. Результат 1276°C істотно (на перший погляд) відрізняється від інших. Перевірити, чи не є він похибкою.

Складемо варіаційний ряд з результатів вимірювань температури: 1269, 1271, 1272, 1272, 1276.

Для крайнього члена цього ряду (1276°C) критерій Діксона складе:

$$K_g = \frac{1276 - 1272}{1276 - 1269} = \frac{4}{7} = 0,57.$$

Як впливає з табл. ПВ2, за цим критерієм результат 1276°C може бути відкинуто як промах лише на рівні значимості $q=0,10$ ($q=1-P$, де $P=0,9$ – довірча ймовірність).

Застосовуються й інші критерії (Шарлье, Граббса й ін.), однак застосування розглянутих критеріїв вимагає обачності й урахування об'єктивних умов вимірювань. Оператор повинен виключити результат вимірювання з явною грубою похибкою й виконати нове вимірювання, але він не має права відкидати результати вимірювання, які більш-менш різко відрізняються від інших результатів вимірювань.

5. ЕТАЛОНИ

5.1. Еталони одиниць фізичних величин

Для забезпечення єдності вимірювань необхідне відтворення (і зберігання) одиниць фізичних величин і передачі їхніх розмірів засобам вимірювань. Розміри одиниці відтворюються, зберігаються й передаються за допомогою еталонів і зразкових засобів вимірювань.

Вищою ланкою в метрологічному ланцюзі передачі розмірів одиниць вимірювань є еталони.

Еталон – засіб вимірювальної техніки призначений для відтворення й (або) зберігання одиниці вимірювання одного або декількох значень, а також передачі розмірів цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки.

Міжнародні еталони одиниць фізичних величин зберігаються в Міжнародному бюро мір і ваг (МБМВ).

У відповідність із законом України «Про метрологію й метрологічну діяльність» на території України використовуються наступні визначення еталонів:

- *державний еталон* – еталон, визнаний спеціально вповноваженим центральним органом виконавчої влади в галузі метрології як основа для встановлення значень всіх еталонів даної одиниці вимірювань, що існує в країні;

- *первинний еталон* – еталон, що забезпечує відтворення з найвищою в країні точністю (у порівнянні з іншими еталонами тієї ж одиниці);

- *вторинний еталон* – еталон, що одержує розмір одиниці вимірювань безпосередньо від первинного еталона даної одиниці або, у випадку його відсутності, відповідного еталона іншої держави;

- *вихідний еталон* – еталон, що має найбільші метрологічні властивості серед еталонів даної одиниці, які є в державі, на

підприємстві, в установі або організації;

- *робочий еталон* – еталон призначений для перевірки або калібрування засобів вимірювальної техніки.

Еталони одиниці довжини. Ще в XVII сторіччі ставилося питання про створення єдиних одиниць вимірювання. І лише після Французької революції Національні збори Франції ухвалило рішення щодо необхідності ліквідації різноманіття мір і доручило (в 1790 р.) Французькій Академії наук розробити застосовувану в усьому світі систему мір і ваг. Для встановлення одиниці довжини обговорювалося використання трьох природних основ:

- довжина маятника з періодом коливання, рівному одній секунді. Період коливання математичного маятника $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ залежить тільки від його довжини. Однак, для використання цього методу слід було насамперед відновити відтворену одиницю часу, що для тієї епохи неможливим було одержання необхідної точності. Крім того, прискорення сили ваги « g » (ці величини входять у формулу періоду коливання маятника) залежить від положення маятника на поверхні Землі;

- довжина однієї четвертої частини екватора Землі. Ця пропозиція була відкинута через важку доступність земного екватора для вимірювання. До того ж правильність форми екватора не була встановлена так строго, як це було потрібно;

- довжина однієї четвертої частини меридіональної окружності Землі. Довжину меридіана можна виміряти з достатньою точністю розробленим у той час методом триангуляції. При цьому було вирішено за одиницю довжини застосовувати одну сорокамільйонну частину довжини меридіана (як видно, для того, щоб наблизити нову одиницю землі по величині до існуючої у Франції міри довжини - Туазам).

Таким чином, вдалось прийти до незмінного стандарту міри

довжини й був спочатку виготовлений кінцевий платиновий еталон, що потім був замінений штриховим масштабом (штриховим еталоном) із платино-іридієвого сплаву (90% Pt, 10% Ir)

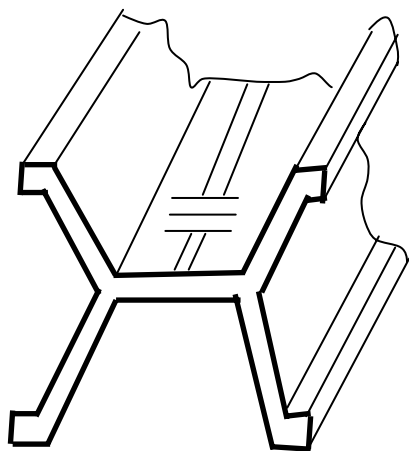


Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд еталона метра

Новий еталон у поперечному розрізі має асиметричний х-подібний профіль (рис. 5.1). При цьому середня лінія проходить по поверхні жолоба. У жолобі вирізані дві групи штрихів, по три штриха в кожній, і відстань між середніми штрихами дорівнює 1 м.

Нова одиниця вимірювання довжини була названа метром, а вся система вимірювання на основі метра одержала назву «метрична система». Уперше ця система була прийнята у Франції в 1799 р.

Однак щодо нового еталону було встановлено, що його довжина може змінюватися із-за явищ перекристалізації матеріалу. Це обумовило пошуки іншого вираження еталона. Крім того, значно зросли вимоги до точності вимірювань.

Зараз існують галузі науки й техніки, де необхідно вимірювати лінійні розміри з точністю 10^{-9} - 10^{-10} м. Тому були розпочаті пошуки принципово інших методів і засобів для встановлення іншого еталона 1 м. Уперше для точного вимірювання (установлення) прийнятої одиниці довжини 1 м було запропоновано використати світлові (електромагнітні) хвилі.

Після вивчення спектральних ліній ряду елементів було знайдено, що найбільшу точність відтворення одиниці довжини забезпечує жовта спектральна лінія ізотопу криптону-86. XI Генеральна конференція по мірах і вагам (1960 р.) прийняла вираження розміру метра в довжинах цих хвиль як найбільш точне

його значення. На основі цього рішення затверджене наступне визначення: «Метр — довжина, рівна 1650763,73 довжини хвилі у вакуумі випромінювання, що відповідає переходу між рівнями $2p_{10}$ й $5d_5$ атома кріптон-86». Як відомо, квант світлової енергії випромінюється або поглинається атомом при переході з одного стаціонарного стану в інший. Частота f випромінювання (поглинання) пропорційна різниці енергій станів

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h},$$

де E_1 й E_2 - рівні енергії;

h - постійна Планка.

Якщо $E_2 > E_1$ відбувається випромінювання електромагнітних хвиль, якщо $E_2 < E_1$ - поглинання. При поширенні випромінювання у вакуумі зі швидкістю «с» довжина хвилі монохроматичного світла дорівнює

$$\lambda = \frac{ch}{E_2 - E_1}.$$

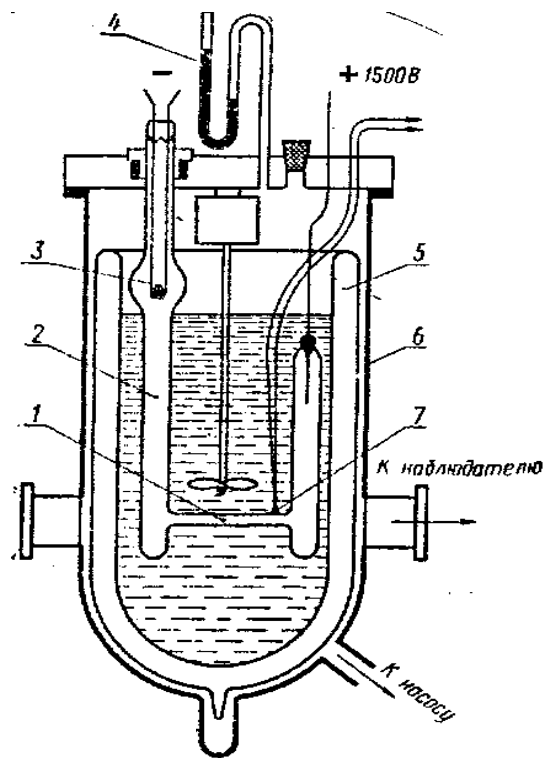
Від довжини хвилі залежать і кольори випромінювання.

Сукупність частот випромінювань утворює спектр. Практично через нестабільність рівнів енергій (за рахунок теплового руху атома, впливу електричних і магнітних полів та інших, умов) спектральні лінії розширені, тобто являють собою смуги частот.

Дослідження спектральних ліній при інтерференції світла показали, що спектральні лінії, випромінювані природними елементами, не тільки розширені, але мають складний контур - надтонку структуру. Далі виявилось, що парно-парні елементи (з парним номером у таблиці Менделєєва й парною атомною масою) мають лінії з простим контуром. Такі елементи були отримані завдяки досягненням техніки виділення ізотопів. Найбільш тонкі й симетричні лінії випромінювання відповідають переходу між рівнями

$2p_{10}$ й $5d_5$ атоми Kr^{86} .

Метр у довжинах світлових хвиль відтворюється інтерференційним методом на спеціальній установці за допомогою



лампи, заповненої ізотопом криптону-86. З метою одержання необхідних умов для вивчення лінії криптон поміщають у капіляр і прохолоджують рідким азотом до 58-60 К. збудження атомів криптону досягають шляхом пропущення через нього електричного струму. Схема лампи із криптоном-86 наведена на рис. 5.2.

У цей час, коли вдалося виміряти швидкість світла з великою точністю (299792,458 км/с), на XV Генеральній конференції по мірах і вагам в 1975 р. було ухвалене рішення як еталон метра взяти відстань, що проходить світло у вакуумі за $1/299792458$ частку секунди.

Еталон одиниці маси. Маса - це єдина основна одиниця, пов'язана з існуванням штучно створеного матеріального прототипу, що може

Рисунок 5.2 - Схема лампи з криптоном-86:

1 - трубка з капіляром, який світиться; 2 - газорозрядна трубка с криптоном; 3 - розжарений катод; 4 - манометр; 5 - посудина Дьюара; 6 - камера, що герметично закривається; 7 - термопара

бути обраний вільно і який не потребує досліджень для забезпечення незмінності прототипу.

Спочатку прототип маси повинен був збігатися по своїй масі з 1дм^3 води при її найбільшій щільності при температурі $3,98^\circ\text{C}$ и тиску 101325 Па (760 мм рт. ст.). Однак при дуже точному визначенні маси одного дм^3 води вона виявилася рівною $0,999972\text{ кг/дм}^3$. Тому за еталон одиниці маси в 1 кг був узятий циліндр зі сплаву платини

(90% Pt) і іридію (10% Ir) діаметром 39 мм і такої ж висоти (рис. 5.3). Вибір цього сплаву забезпечує стійкість, однорідність і високу здатність поверхні поліруватися (для полегшення чищення). Однак через велику щільність ($21,5 \text{ г/см}^3$) він володіє тим недоліком, що відділення від нього вже малих часток призводить до значної зміни маси. Вторинні ж стандарти виготовляються зі сталі або латуні.



Рисунок 5.3 - Еталон кілограма

Перший прототип (еталон) одиниці маси в 1 кг зі сплаву платини й іридію зберігається в міжнародному бюро мір і ваг у Севрі під Парижем. У ході встановлення прототипу маси було виготовлено кілька десятків його екземплярів для зберігання й використання в інших країнах. Періодично виробляється порівняння всіх прототипів з першим зразком, при цьому повинна забезпечуватися сталість визначення 1 кг із відносною точністю 10^{-8} протягом багатьох тисяч років.

Еталон одиниці часу. Одиниця часу - секунда - являє наочний приклад того, що

було сказано вище про співвідношення між одиницею величини і її еталоном. Основна відмінність одиниці часу від інших одиниць полягає в тому, що воно не піддається уречевленню й зберіганню. З іншого боку потрібно, щоб при вимірах можна було проводити кількісне порівняння з минулими відрізками часу. Дуже великі відрізки часу використовуються, насамперед, в астрономії, а в повсякденному житті необхідні набагато менші інтервали. При природничо-наукових дослідженнях і, особливо в галузі ядерної фізики, необхідно вимірювати вкрай малі інтервали часу.

У теорії час являє собою безперервно змінювану незалежну змінну величини, що фігурує в аксіомах Ньютона, тобто у всіх

процесах, пов'язаних з рухом, час відіграє роль істотного параметра. Усякий промір часу означає встановлення рівномірно наступних з рівними інтервалами одним за одним будь-яких (наприклад, коливання маятника, обертання вала із установленими на ньому мітками та ін.).

Завданням установлення одиниці часу є вивід рівномірної шкали часу, причому вона повинна піддаватися вимірювання за допомогою земних методів. Всі старі визначення шкали часу ґрунтувалися на видимому русі зірок по небу. Перші тимчасові оцінки ґрунтувалися на зміні дня й ночі. Спочатку тривалість дня від сходу до заходу Сонця.

В історії розвитку одиниці часу можна відзначити кілька етапів збільшення точності визначення або відтворення розміру цієї одиниці. Одиницю часу визначали, виходячи із сонячної доби. Тому що тривалість сонячної доби протягом року змінюється, то визначили середню сонячну добу. За одиницю часу приймали секунду, рівну $1/86400$ середньої сонячної доби. Це визначення одиниці часу було зв'язане в обертанням Землі навколо своєї осі. Пізніше виявили, що це обертання Землі відбувається нерівномірно. Тоді в основу визначення одиниці часу поклали період обертання Землі навколо Сонця - тропічний рік.

Тропічний рік – це проміжок часу від одного весняного рівнодення до іншого, тобто час між двома послідовними проходженнями Сонця через точку весняного рівнодення. Тривалість середнього тропічного року дорівнює: $1 \text{ рік. троп.} = 365,24220 \text{ середн. сон. діб.}$ Як видно, вона перевищує 365 днів приблизно на $1/4$ доби. Тому кожні 4 роки додається один день (високосний рік).

- *Сидеричний рік* – це той проміжок часу, через який Земля при своєму русі навколо Сонця повертається в колишнє положення відносно нерухомих зірок. Цей проміжок також виражається через

положення точок весняного рівнодення щодо якої-небудь нерухомої зірки. Виміри цього проміжку часу показали, що сидеричний рік у порівнянні із тропічним трохи довший, а саме на 0,014 доби й становить: $1 \text{ рік.сидер.} = 365,25636 \text{ середн.сон.діб.}$

- *Аномалістичний рік* є проміжком часу між двома послідовними проходженнями Землі через перигелій. Відмінність від двох попередніх визначень року полягає в тім, що орієнтація еліпса орбіти Землі в просторі не постійна. По даним точних вимірювань тривалість аномалістичного року становить: $1 \text{ рік.аном.} = 365,25946 \text{ середн.сон.діб.}$

Як основу у визначенні секунди прийнята тривалість тропічного року, тобто інтервал часу між двома весняними рівноденнями. За секунду була прийнято $1/315569259747$ частина тропічного року на 0 січня 1900 р. в 12 годин ефемероїдного часу (тобто року, що розпочався в полудень 31 грудня 1899). В 1967 р. на 13-й Генеральній конференції по мірах і вагам було прийнято наступне визначення секунди.

Секунда - час рівний 9192631770 періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію ^{133}Cs . Це стало можливо після створення генераторів електромагнітних коливань, молекулярних генераторів й атомних, водневих і цезієвих генераторів, що використовують для генерації коливань, квантовий перехід від одного рівня до іншого. На рис. 5.4 наведена схема цезієвого атомно-променевого еталона часу і часток.

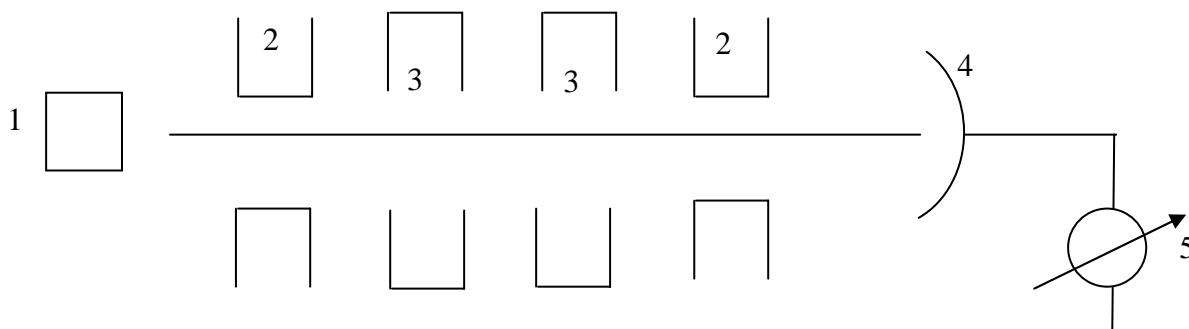


Рисунок 5.4 - Схема цезієвого атомно-променевого еталона часу і часток
1- джерело, 2 - магніти, 3 - резистор, 4 - приймач, 5 - індикатор

Джерело 1 атомного пучка являє собою контейнер з металу, стійкого до лугу. У стінці контейнера є канали, що формують пучок. Температура джерела 100- 150 °С. Магніти 2 служать для сортування атомів пучка по стану надтонкої структури: виділяються атоми, що знаходять у станах $F = 3, M = 0$ і $F = 4, M = 0$.

До резисторів 3 підводиться надвисокочастотний сигнал, частоту якого можна змінювати в невеликих межах біля значення 9192631770 Гц. У результаті дії цього сигналу, виділені атоми переходять зі стану $F=3, M = 0$ у стан $F = 4, M = 0$ або назад. Другий магніт виділяє з пучка тільки ті атоми, які перейшли з одного стану в інший в результаті взаємодії з полем сигналу. Атоми, що зробили перехід, попадають у приймач 4 і реєструються індикатором 5. Якщо частота підведеного сигналу точно відповідає частоті переходу, то показання індикатора максимальні. Якщо ж частота сигналу відрізняється від частоти переходу, то показання індикатора різко зменшується. Всі вузли установки поміщені в камеру, у якій підтримували глибокий вакуум. Стабільність такого еталона (з атомним променем цезію) дорівнює 10^{-11} .

Еталон одиниці сили електричного струму – ампер. У системі SI за основну одиницю обрана одиниця абсолютної магнітної проникності $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м (генрі на метр), названа магнітною постійною. Однак, основною одиницею вважається ампер. Це пов'язане з тим, що при виборі основної одиниці неможливо представити дану одиницю μ_0 у вигляді еталона. Тому одиниця магнітної проникності реалізується (матеріалізується) еталоном ампера.

Визначення сили електричного струму як фізичної величини таке, що одиниця сили струму дорівнює одиниці кількості електрики, що проходить через поперечний переріз провідника в одиницю часу. Але у зв'язку з тим, що кількість електрики неможливо визначити з

досить високою точністю, то за основну електричну одиницю прийнята сила струму ампер. Розмір ампера доводиться визначати по тих діях й явищах, які струм викликає у навколишньому середовищі, наприклад, виділення теплоти при проходженні струму по провіднику, осадження речовини на електродах при проходженні струму через електроліт й ін. Будь-який із законів, що відноситься до цих явищ, може бути покладений в основу встановлення одиниці сили струму, однак необхідно вибрати той, котрий дозволяє відтворити одиницю сили струму з найбільшою точністю.

Перший еталон електричного струму був прийнятий в 1893 р. міжнародним конгресом електриків у Чикаго й одержав назву міжнародного ампера. Він відтворювався за допомогою срібного вольтметра й мав наступне визначення: міжнародний ампер - це струм, що не змінюється, який, проходячи через водняний розчин азотнокислого срібла, при дотриманні прикладеної специфікації виділяє 0,0011180 м срібла в 1 с.

В 1948 р. міжнародний ампер був відмінений. В основу сучасного еталона ампера покладений закон взаємодії електричних струмів. Зараз ампер визначається як сила струму, що не змінюється, який будучи підтримуваний у двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини й мізерно малого кругового перетину, розташованих на відстані 1 м один від іншого у вакуумі, викликав би між цими провідниками силу рівну $2 \cdot 10^{-7}$ Н. В цьому формулюванні міститься поняття нескінченно довгих и нескінченно тонких провідників, які на практиці здійснити неможливо.

Однак, на основі закону Ампера можна розрахувати з досить високою точністю силу взаємодії струмів, що протікають по провідниках кінцевих розмірів. Ампер відтворюватися за допомогою струмових ваг (рисунок 5.5).

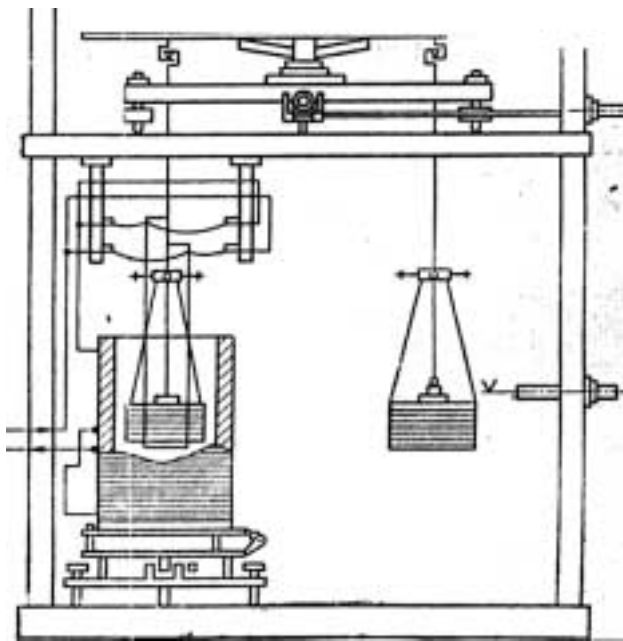


Рисунок 5.5 – Схема струмових ваг (ампер-ваг)

Струмові ваги являють собою важільні рівноплечі ваги, у яких підвішена ліворуч рухлива котушка врівноважується вантажем, покладеним на праву чашку ваг. Рухлива котушка входить у другу нерухому паралельно розташовану котушку. При проходженні по послідовно з'єднаних котушках постійного електричного струму рухлива котушка опускається, тому на праву чашку ваг варто покласти

додатковий вантаж. По масі додаткового вантажу судять про силу електричного струму, що проходить по котушці.

Відповідно до закону Ампера

$$F = kI_1I_2 = kI^2, \quad (5.1)$$

де F - сила взаємодії струмів у котушках;

I_1 й I_2 - сили струмів у котушках (при послідовному з'єднанні котушок $I = I_1 = I_2$);

k - коефіцієнт пропорційності, що залежить від форми й розмірів котушок, діаметра перетину проводів котушок, прийнятого значення відносної магнітної проникності середовища й ін.

З іншого боку, у відповідності із другим законом Ньютона:

$$F = mg, \quad (5.2)$$

де F - сила, що врівноважує ваги;

m - маса додаткового вантажу;

g - прискорення вільного падіння в місці розташування ваг.

Вирішуючи спільно два рівняння (5.1, 5.2) відносно I , одержуємо розрахункову формулу для визначення сили струму залежно від маси додаткового вантажу

$$I = \sqrt{\frac{mg}{k}} . \quad (5.3)$$

З розвитком досліджень в області критичних температур, випромінювань, явища надпровідності з'являється можливість одержання пристроїв - еталонів електричного струму.

Зараз створений еталон одиниці сили струму на основі квантових ефектів Джозефсона і Холла. У сучасних еталонах вимір напруги зводиться до вимірювання частоти, яку можна визначити з дуже високою точністю, на два порядки вище попередніх еталонів.

Еталон одиниці температури – Кельвін. Ідея кількісного подання «теплого» й «холодного» стану тіла відноситься до XVII століття, тобто майже через сторіччя після введення метра як єдиного еталону довжини. Розвиток методів вимірювання температури стало можливим лише тоді, коли були встановлені такі властивості тіл, які залежать від температури (довжина, об'єм та ін.) і які можна виміряти об'єктивно.

У перших приладах (термометрах) використовувалися рідини, які при нагріванні або охолодженні змінювали свій об'єм. Було встановлено, що певні процеси в тих самих умовах завжди протікають при однакових температурах, наприклад, танення льоду або кипіння води при постійному тиску. Такі стани речовини, у яких різні фази при постійній температурі перебувають у рівновазі один з одним, приймаються як опорні (реперні) точки. Їх зручно використовувати як калібровані точки для температурної шкали.

Температурна шкала рідкого термометра задається в такий спосіб: відзначається висота стовпа рідини між двома опорними точками і отриманий проміжок ділиться на кілька рівних частин. Перші спроби створення термометрів відомі ще з стародавніх часів, коли використовувалося термічне розширення повітря для більш якісного визначення ступеня нагрітості атмосферного повітря. Надалі

методи й способи вимірювання температури вдосконалювалися й, нарешті, в 1714 р. німецький фізик Фаренгейт запропонував використати ртуть, зробивши найкращі з відомих тоді термометрів. У своєму термометрі він не хотів ускладнювати шкалу від'ємними поділками. Замість цього він вирішив, що нульовою буде найнижча температура, яку йому вдалося одержати у своїй лабораторії. Змішуючи танучий лід і сіль, Фаренгейт одержав дуже низьку для того часу температуру, що склала по шкалі Цельсія $-17,8^{\circ}\text{C}$ (якби використовувався термометр Цельсія, що з'явився тільки майже через 30 років). Потім він, за пропозицією Ньютона, позначив цифрою дванадцять температуру людського тіла. Однак виявилось, що його термометр в 8 разів чутливіший, тому Фаренгейт прийняв температуру людського тіла за 96 градусів. При такій шкалі точка замерзання води склала 32 градуса, а точка кипіння – 212 градусів. Різниця між двома цими точками склала 180 градусів, а це число виявилось зручним, тому що його можна розділити на різні цілі числа без залишку. По цій шкалі вийшло, що температура людського тіла дорівнює 98,6 градуса. Термометр Фаренгейта отримав широке поширення в країнах Західної Європи, у США і в інших країнах і використовується дотепер. Для переведення шкали Фаренгейта в шкалу Цельсія й назад можна використати наступні формули:

$${}^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} {}^{\circ}\text{C} + 32; \quad {}^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} ({}^{\circ}\text{F} - 32) \quad (5.4)$$

Шкала Фаренгейта надзвичайно зручна в метеорології, тому що температура повітря в Західній Європі коливається якнайбільше від 0 до 100 градусів по Фаренгейту. Ті ж температури укладаються по шкалі Цельсія в інтервалі від -18° до $+38^{\circ}$.

В 1742 року шведський фізик Андерс Цельсій, працюючи із ртутними термометрами, застосував іншу шкалу: точку замерзання води за 0 градусів, а точку кипіння води за 100 градусів. Учені

знаходять, що вона особливо зручна тому, що рідкий стан води укладається в інтервалі 0 - 100 градусів. Шкала з десяти розподілів давала б занадто приблизні дані, а шкала з тисячі розподілів була б зайво точною.

В 1787 році французький хімік Шарль відкрив, що при нагріванні газ рівномірно розширюється, а при охолодженні також рівномірно стискується. Зі зміною температури на один градус Цельсія газ збільшує або зменшує свій об'єм рівно на $1/273$ частину того об'єму, що він займає при нулі градусів за Цельсієм.

Якщо взяти об'єм газу, рівний 273см^3 при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, і остудити до « -273 » градуса за Цельсієм, то теоретично його об'єм повинен скоротитися до нуля. Однак, всі гази, не досягаючи цієї температури, перетворюються в рідину і до них закон Шарля не застосуємо.

Через якийсь час англійський учений Кельвін запропонував робити температурну шкалу, виходячи з кінетичної енергії молекул. При 0°C середня кінетична енергія молекул будь-якої речовини має деяку певну величину. Зі зниженням температури на кожен градус Цельсія молекули зменшують $1/273$ частину своєї кінетичної енергії.

Це означає, що при $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а точніше при $-273.16\text{ }^{\circ}\text{C}$) молекули мають нульову кінетичну енергію. Будь-яку речовину більше остудити не можна, тому що неможливо негативна кінетична енергія.

Отже, температуру « $-273.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ » можна вважати «абсолютним нулем». У сучасних криогенних лабораторіях уже отримана температура близька до абсолютного нуля, рівна $0,00001\text{ K}$ ($-273,15999\text{ }^{\circ}\text{C}$). XIII Генеральна конференція по мірах і вагам в 1967р. визначила «одиницю температури» як $1/273,16$ частина потрійної точки води (точка на діаграмі стану, у якій рідкий, твердий і газоподібний стан речовини одночасно перебувають у рівновазі один з одним).

Шкала Кельвіна є більш зручною, ніж шкала Цельсія при описі й

вивченні термодинамічних процесів і при проведенні теплових розрахунків. Абсолютна температура ідентична термодинамічній температурі, що виводиться із другого начала термодинаміки, і при цьому досягається мета, що полягає в одержанні визначення температури, що не залежить від речовини.

Томсон (Кельвін) запропонував термодинамічну температурну шкалу, що не залежить від виду термодинамічної речовини. Вона ґрунтувалася на другому законі термодинаміки, наслідком якого відношення кількості теплоти Q_1 , одержуваного робочим тілом від джерела теплоти до кількості теплоти Q_2 , що віддає холодному джерелу в ідеальному циклі Карно дорівнює відношенню температур гарячого й холодного джерел:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Якщо однією з температур додати будь-яке значення, наприклад, T_2 значення температури потрійної точки води і якщо відоме відношення кількостей теплоти $\frac{Q_1}{Q_2}$, то можна визначити температуру T_1 . Встановлена в такий спосіб температурна шкала не залежить від властивостей термометричної речовини.

Нижньою границею температурного інтервалу в цій шкалі служить точка абсолютного нуля. З урахування того, що похибка відтворення точки кипіння води становить 0,0002 - 0,01 °С, точка танення льоду 0,0002 - 0,001 °С. У той же час температура потрійної точки води, що є точкою рівноваги води у твердій, рідкій і газоподібній фазах, може бути відтворена в спеціальних посудинах з похибкою не більше 0,0001 °С. Схема посудини для відтворення температури потрійної крапки води показана на рисунк 5.6.

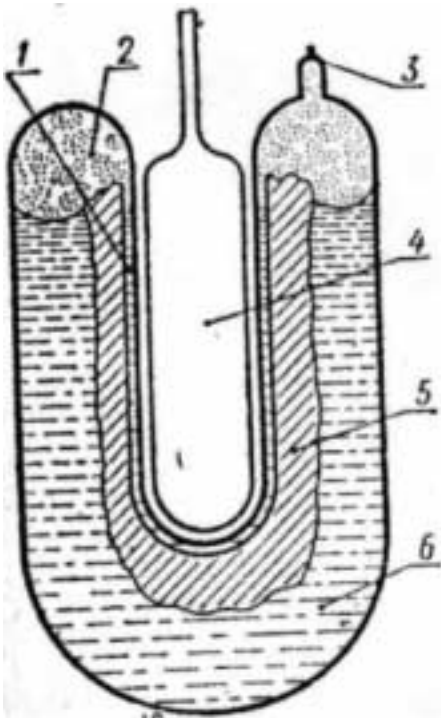


Рисунок 5.6 – Посудина для потрійної точки води:

1 - шар води; 2-пара; 3 – місце запайки посудини; 4 – колба термометра; 5 - лід; 6 - вода

Згідно з термодинамічним визначенням температури для вимірювання температур потрібно використовувати цикл Карно, при цьому вимірювання температур зводиться до вимірювання кількості теплоти. Однак таким шляхом не можна одержати задовільну точність. Більш точним є визначення термодинамічної температури за допомогою газових термометрів.

Газовий термометр - це посудина, у яку поміщений газ (переважно азот, аргон або гелій, термічні властивості яких добре відомі), що має постійну масу (або постійна кількість молей). У відповідності із зрівнянням стану при заданій температурі газ під певним тиском займає певний об'єм.

Зміна температури призводить до зміни тиску або об'єму, по яких і визначається температура. Однак, замість визначення температури абсолютним чином із зрівнянням стану ($T_2 = T_1 \frac{P_2}{P_1}$ або $T_2 = T_1 \frac{V_2}{V_1}$) її вимірюють щодо деякої точки відліку, наприклад, температури потрійної точки води (T_1 у рівнянні стані).

В газових термометрах для вимірювання термодинамічної температури використовуються три методи: газовий термометр постійного об'єму, газовий термометр постійного тиску, газовий термометр постійної температури (рис. 5.7 а, б, в)

У газовому термометрі постійного об'єму (рис. 5.7 а) при $V_0 = \text{const}$ виконується співвідношення $T_1 = T_0 \frac{P_1}{P_0}$. Тиск, під яким газ

перебуває в станах з температурами T_1 і T_0 , вимірюється ртутним манометром, причому ртутний стовпчик одночасно використовується для підтримки постійного об'єму.

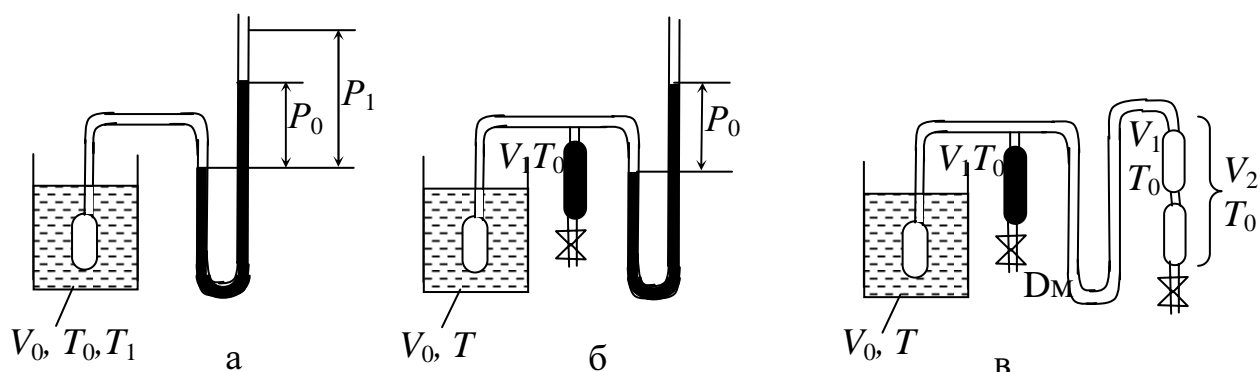


Рисунок 5.7 - Принцип дії газових термометрів

а – при постійному об'ємі, б – при постійному тиску, в – при постійній температурі

У газовому термометрі постійного тиску (рис. 5.7 б) газ при початковій температурі T_0 під тиском P_0 має об'єм V_0 . Якщо резервуар термометра довести до вимірюваної температури $T_1 > T_0$, то для забезпечення постійного тиску розширення газу виробляється в додатковий проградуйований об'єм V_1 шляхом витиснення частини ртуті в ньому. Вимірювана температура обчислюється з виразу:

$$T = T_0 \frac{V_0}{V_0 - V_1} \quad (5.5)$$

Недолік обох попередніх методів полягає в тому, що при нагріванні резервуара термометра до температури T_0 відбувається виділення (десорбція) газу зі стінок посудини й скляних каналів, що приводить до неточності результатів вимірювання. При високих температурах ця обставина стає досить істотним джерелом помилок. На противагу цьому в газових термометрах постійної температури (рис. 5.7 в) спочатку встановлюється рівновага (вимірюваний об'єм при температурі T_1 , вимірювальний прилад при температурі T_0), а потім вимірюється температура. При цьому газ розширюється в проградуйований об'єм V (диференціальний манометр ДМ підтримує

тиск). Вимірювана температура обчислюється з виразу:

$$T = T_0 \frac{V_0}{V} \left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right). \quad (5.6)$$

При відомих V_0 , V_1 , V_2 температура визначається зі значення об'єму V , у який розширюється газ. Температура відліку T_0 задається за допомогою попереднього випробування, коли резервуар термометра має температуру потрійної точки води.

Поряд з вимірюванням термодинамічної температури за допомогою газових термометрів існують й інші методи, які застосовуються особливо в області низьких і високих температур. Так, в акустичному термометрі вимірюється швидкість звуку в ідеальних газах, що залежить від термодинамічної температури. У магнітних термометрах, створених для вимірювання температур близьких до абсолютного нуля ($T < 1\text{К}$), використовується залежність магнітної проникності парамагнітної речовини від температури. При вимірюванні температури вище 1500 К газові термометри застосовувати не можна. У цій галузі використовується випромінювання абсолютного чорного тіла, що вимірюється спектральним пірометром у вузькому діапазоні довжин хвиль випромінювання, що проходить через фільтр і оптичну систему.

Практичне вимірювання термодинамічної температури за допомогою вищерозглянутих методів представляє великі труднощі. Тому були запропоновані більш зручні методи вимірювання температури, результати яких наближалися б до значень термодинамічної температури, тобто термодинамічна температурна шкала замінювалася «практичною» температурною шкалою. З цією метою вибирається деяка кількість добра відтворених реперних точок, термодинамічні температури яких ретельно виміряні й зафіксовані за допомогою газових термометрів. За допомогою реперних точок градууються прилади для вимірювання температури,

показання яких між реперними точками описуються добре відомими функціями термодинамічної температури.

Перша міжнародна обов'язкова практична температурна шкала була введена в 1927 р. на VII Генеральній конференції по мірах і вагам. Однак, після уточнення значення ряду реперних точок і додавання нових в 1968 р. була введена міжнародна практична температурна шкала МТШ-90. Розбіжність між температурою, обмірюваної по цій шкалі, і термодинамічною температурою перебуває в межах існуючої в цей час точності вимірювань. Одиницями МТШ-90 є Кельвін і градус Цельсія. Температура в градусах Цельсія визначається як $t = T - 273,15$ К. Основні реперні точки визначені по стані фазових рівноваг деяких чистих речовин: водню, неону, кисню, води, цинку, срібла й золота (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 - Визначальні опорні точки МТШ-90

Опорна точка	T, К	T, °С	Похибка
Потрійна точка рівноважного водню	13,81	-259,34	0,01
Точка кипіння рівноважного водню при тиску 3330,6 Па	17,042	-256,108	0,01
Точка кипіння рівноважного водню	20,28	-252,87	0,01
Точка кипіння неону	24,556	-248,594	0,01
Потрійна точка кисню	54,358	-218,792	0,01
Потрійна точка води	273,16	0,01	Точно
Точка кипіння води	373,15	100	0,005
Точка затвердіння цинку	692,677	419,527	0,03
Точка затвердіння срібла	1234,93	961,78	0,2
Точка затвердіння золота	1337,33	1064,18	0,2
Точка затвердіння міді	1357,77	1084,62	0,2
Точка затвердіння алюмінію	933,473	660,323	0,2

Еталонним приладом в галузі температур від 13,81 до 630,74 °С є платиновий термометр опору. Для температур в інтервалі 630,74-

1064,43 °C еталонним приладом є платинородій-платинова термопара.

На 17-й сесії Консультативного комітету в 1989р. була прийнята міжнародна практична температурна шкала МТШ-90, що з 1990р. замінила МПТШ-68. Вона визначає одиницю вимірювання температури «Кельвін» також як і МПТШ-68 і зберігає принцип побудови шкали на основі реперних точок. Введення шкали МТШ-90 дозволило вирішити наступні проблеми:

- розширити дію МТШ-90 в галузі низьких температур від 13,8 до 0,65 К;

- більшою мірою МТШ-90 наближається до термодинамічної температурної шкали в порівнянні із МПТШ-68. Це досягається тим, що при температурах вище 0 °C додатково введені нові реперні точки: температура плавлення галію й температура затвердіння індію, алюмінію й міді;

- нова температурна шкала стала досить гладкою, що досягається за рахунок використання платинового термометра опору як інтерполяційного приладу у діапазоні температур від 13,8 до 1235К.

Зараз розроблені і створені первинні й спеціальні еталони, що забезпечують єдність вимірювань температури в діапазоні від 273,15 до 6300 К. Похибка відтворення одиниці температури становить 0,2К у потрібній точці води й 1,5 К при температурі 2800 К.

Еталон одиниці сили світла – свіча. Видиме світло – це частина електромагнітного спектра в діапазоні довжин хвиль приблизно від 380 до 780 нм. В ХІХ столітті з виникненням світлотехніки з'явилися потреба в кількісному порівнянні джерел світла і освітленості, і було введено поняття сили світла.

Сила світла є однією з основних величин у системі SI, її базисна одиниця називається свічою (св). Спочатку еталони одиниці світла

являли собою свічі (кандели), що виготовляють із певних матеріалів. Потім на зміну їм прийшли лампи з рідким пальним, які мали кращі метрологічні характеристики. В 1921 р. був створений міжнародний еталон сили світла - група із трьох комплектів постійно поновлюваних електричних ламп розжарювання з вугільною ниткою.

Свіча - сила світла використовуваного з площі $1/600000 \text{ м}^2$ перетину повного випромінювача перпендикулярно цьому перетину напрямку при температурі випромінювача, рівній температурі затвердіння платини (2042 К) при тиску 101325 Н/м^2 . Еталон сили світла розроблений у США в 1948 р. у вигляді повного випромінювання, що володіє властивостями абсолютно чорного тіла (рисунок 5.8).

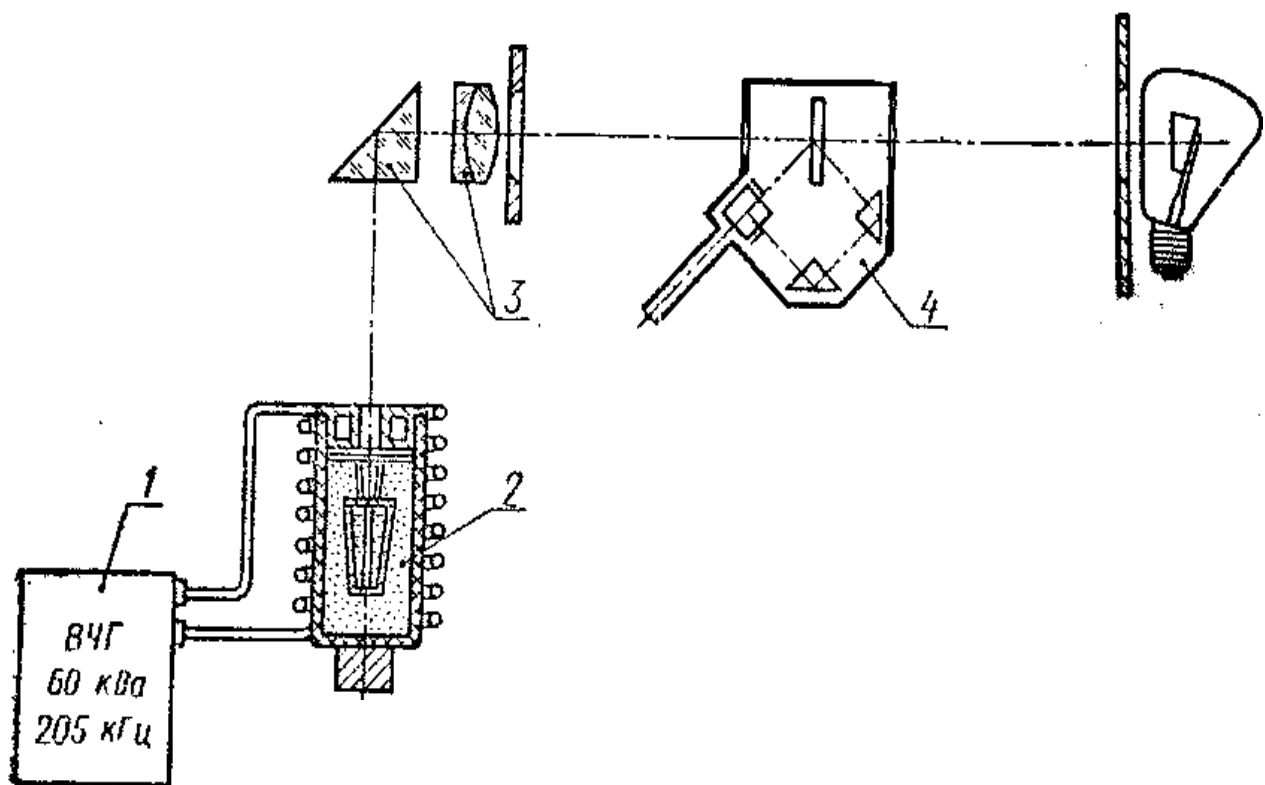


Рисунок 5.8 – Схема повного випромінювання:

1 – високочастотний генератор; 2 – повний випромінювач; 3 – призма повного внутрішнього віддзеркалювання; 4 – фотометр; 5 – еталона лампа розжарювання

Це є невелика трубка з окису торію внутрішнім діаметром 2,5мм, занурену в чисту платину. Платина у свою чергу перебуває в

посудині, спресованій з порошку окису торію, оточеному порошком окису торію. Все це поміщено в зовнішню посудину з плавненого кварцу. Зовнішня посудина оточена невеликим числом витків мідною охолоджуваною водою трубки. По трубці пропускається струм високої частоти (близько 250 кГц), що нагріває платину до її плавлення. Разом із платиною нагрівається й трубочка з торію. Світло випромінюється з порожнини трубочки через отвір у верхній її частині. Яскравість повного випромінювача при температурі затвердіння платини порівнюється за допомогою фотометра з яскравістю особливих ламп розжарювання, використовуваних як вторинні еталони.

Однак, при такому визначенні свічі не було однозначного зв'язку між світловими й енергетичними характеристиками. Тому в 1979 р. на XVI Генеральній конференції мір і ваг було прийнято нове визначення свічі, по якому вона відтворюється шляхом непрямих вимірювань:

свіча – це сила світла в заданому напрямку джерела, що випускає монохроматичне випромінювання частотою 540×10^{12} Гц, енергетична сила світла якого в цьому напрямку становить $1/683$ Вт/Ср (ват на стерадіан).

Для реалізації свічі використовують випромінювання абсолютно чорного тіла. Воно складається з керамічної трубки, що вертикально занурена в тигель, заповнений розплавленою платиною. При нагріванні в індукційній печі платина розплавляється, а при охолодженні платина твердіє при сталій температурі 2045 К. Об'ємне випромінювання від розплавленої платини, обмежене діафрагмою, проектується на поверхню, що грає роль фотометра.

Відтворення свічі як первинного еталона представляє великі труднощі для постійного практичного застосування. Тому первинний еталон одержують у спеціальних лабораторіях і порівнюють із ним

вторинні еталони - лампи розжарювання спеціальної конструкції. Від тривалого вживання ці лампи змінюють свої параметри тому береться декілька ламп й усереднена сила світла всіх ламп розглядається як вторинний еталон. Ці лампи включають лише на короткий час, щоб мати можливість прокалібрувати інші еталони.

Як вторинні еталони сили світла використовуються вольфрамові лампи розжарювання, випромінювання яких має такий же спектральний розподіл, як і випромінювання абсолютно чорного тіла при 2045 К. Узгодження з первинним еталоном проводиться шляхом порівняння обох освітленостей на екрані фотометра.

Еталони одиниці кількості речовини – моль. Остання основна одиниця системи СІ - моль була додатково введена через 11 років після введення перших шести одиниць на XVI Генеральній конференції по мірах і вагам.

Моль - це кількість речовини системи, що містить точно стільки структурних одиниць, скільки міститься атомів в 12 г ізотопу вуглецю з масовим числом 12.

Доцільність введення цієї одиниці не є безперечною, як відзначають багато вчених, тому що не було дано чіткого й однозначного визначення основного поняття «кількість речовини». Під кількістю речовини можна розуміти як масу тієї або іншої речовини, так і кількість структурних одиниць, що містяться в даній речовині. Моль більше є розрахунковою одиницею й еталона для його відтворення не існує. Немає жодного методу й способу, призначеного для вимірювання моля відповідно до його визначення.

Необхідність введення моля, як одиниці кількості речовини в основні одиниці системи SI, з'явилася в результаті розвитку атомістичної концепції будови матерії. Більшість явищ і закономірностей в галузі хімії й атомної фізики можна більш просто описувати й розраховувати, якщо ввести таке поняття як «число

часток», що зовсім не залежить від маси окремої частки. Уперше роль числа частки, незалежної від маси окремої частки, з'явилася в рівнянні стану ідеального газу, у якому властивості окремих часток не розглядається. Число часток, що містяться в 12 г вуглецю-12, одержало назву числа Авогадро (або постійна Авогадро), що має розмірність «(кількості речовини)⁻¹» і вимірюється в одиницях «моль⁻¹».

При цьому макроскопічну масу кількості речовини в 1 молі можна виразити як

$$M = N_A \cdot m_a, \quad (5.8)$$

де $M = 1\text{г-моль}$ (або 1кг-моль);

m_a – маса одного атома;

N_A – число Авогадро.

Маса атома дуже мала, а її прецизійне визначення утруднене. Однак, при сучасному рівні розвитку вимірювальної техніки порівняно просто вимірювати відносні маси. В 1960р. було вирішено взяти за основу при визначенні відносних атомних мас $1/12$ маси атома вуглецю - 12. Причин для цього вибору було декілька, а головна полягала в тому, що вуглець входить у величезне число хімічних сполук, за допомогою яких стає можливим установити дуже точне співвідношення між масами інших хімічних елементів.

6. ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В Україні метрологічна діяльність носить державний характер. Всі найважливіші рішення в цій галузі приймалися на рівні законів і постанов Кабінету Міністрів. З 2004 року діє закон України про метрологію і метрологічну діяльність за № 1765-IV від 15.06.2004. Деякі нормативні документи скасовані як утративши своє значення або замінені.

Під метрологічним забезпеченням розуміють встановлення й застосування наукових й організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності й необхідної точності вимірювань.

Метою метрологічного забезпечення (МЗ) є поліпшення якості продукції, підвищення ефективності виробництва й наукових досліджень, використання матеріальних цінностей й енергетичних ресурсів. Законодавчою основою МЗ є закони України, Декрети й постанови Кабінету Міністрів, спрямовані на забезпечення єдності вимірювань у країні. Основною формою, що встановлює комплекс правил, вимог і норм, обов'язкових для виконання в певній області діяльності, служить нормативний документ (НД), розроблений у встановленому порядку й затверджений компетентним органом. Нормативними документами є технічні умови, технічні вимоги, методичні вказівки й т.п. Головний вид нормативного документа - стандарт. Об'єктами стандартизації є: конкретна продукція, норми, правила, вимоги, методи, терміни, позначення, що мають перспективу багаторазового застосування в будь-яких сферах народного господарства.

У метрологічній діяльності основними об'єктами стандартизації є еталони й перевірочні схеми, методи і засоби перевірки ЗВТ, номенклатура нормованих метрологічних характеристик ЗВТ, норми

точності вимірювань, способи вираження й форми подання результатів і показників точності вимірювань, методики виконання вимірювань й оцінки їхньої вірогідності, форми подання даних про властивості речовин і матеріалів, організація й порядок проведення сертифікації державних випробувань, перевірки, метрологічної атестації ЗВТ, метрологічної експертизи нормативної, проектної, конструкторської й технологічної документації, експертизи й атестації даних про властивості речовин і матеріалів, терміни й визначення в області метрології. Стандартизація є нормативною основою МЗ, а метрологія, у свою чергу, науково-технічною базою стандартизації, тому що ставить цей метод організації виробничої діяльності в основу точних кількісних вимірювань.

Стандартизація в Україні - елемент національної науково-технічної політики. Розроблено національну систему стандартизації (НСС), що поєднує роботи зі стандартизації на всіх рівнях керування народним господарством і представляє собою комплекс взаємопов'язаних правил і положень, що визначають основні цілі й завдання стандартизації; організацію і методику проведення робіт зі стандартизації; порядок розробки, впровадження, обігу стандартів й іншої нормативної документації по стандартизації, а також державного нагляду й контролю за їхнім впровадженням і дотриманням; об'єкти стандартизації, категорії й види стандартів; єдині правила побудови, виклади й оформлення стандартів і їхнього змісту.

Основні положення національної системи стандартів сформульовані в ДСТУ 1.0-2003 «Національна стандартизація. Основні положення». Цим же документом установлений принцип обов'язковості стандартів всіх категорій у межах сфери їхньої діяльності, області й умов застосування. Стандарти в Україні підрозділяються на наступні категорії: національні стандарти України

(ДСТУ); міждержавні стандарти (ГОСТ); міжнародні стандарти (ISO і ІЕС); галузеві стандарти (ГСТУ); стандарти організацій (СОУ); стандарти наукових, науково-технічних або інженерних товариств чи спілок (СТУ); технічні умови (ТУУ). Державні й міждержавні стандарти обов'язкові до застосування всіма підприємствами, організаціями й установами у всіх галузях господарства. Галузеві стандарти обов'язкові для всіх підприємств і організацій даної галузі, а також застосовують продукцію цієї галузі.

Технічною основою МЗ є системи державних еталонів одиниць фізичних величин, які забезпечують їхнє відтворення з найвищою точністю; робочих еталонів, за допомогою яких здійснюється передача розмірів одиниць фізичних величин робітником ЗВТ; стандартних зразків складу і властивостей речовин і матеріалів, робочих засобів вимірювальної техніки. Організаційною основою МЗ є метрологічна служба України.

6.1. Структура метрологічної служби України

Мережа метрологічних органів й їхня діяльність спрямована на забезпечення єдності вимірювань й однаковості засобів вимірювальної техніки в країні, називається метрологічною службою.

Метрологічна служба України складається з державної метрологічної служби й метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій.

Державну метрологічну службу очолює Національний комітет України з питань технічного регулювання й споживчої політики (Держспоживстандарт (до грудня 2002 р. Держстандарт)), який від імені уряду проводить єдину політику в області метрологічного забезпечення у всіх галузях діяльності. Державна метрологічна служба (ДМС) має надвідомчий характер і виконує законодавчі й контрольні функції. На Держспоживстандарт покладене рішення ряду

основних завдань метрологічного забезпечення, у тому числі таких, як визначення основних напрямків розвитку метрологічного забезпечення, що охоплюють розробку міжгалузевих програм метрологічного забезпечення, науково-методичних, техніко-економічних, правових і організаційних основ метрологічного забезпечення на всіх рівнях керування народним господарством; проведення робіт із установлення однакових вимог до метрологічних характеристик ЗВТ, випуску нових типів ЗВТ; здійснення контролю за якістю продукції приладобудування; установлення єдиного порядку передачі розмірів одиниць фізичних величин від державних еталонів до робітників ЗВТ; удосконалювання еталонів одиниць фізичних величин; установлення одиниць фізичних величин, що допускають до застосування в країні; розвиток й удосконалювання національної системи забезпечення єдності вимірювань у країні; науково-методичне керівництво розробкою комплексних програм метрологічного забезпечення галузей народного господарства; міжнародне співробітництво в області метрології; установлення загальних вимог до стандартних зразків складу і властивостей речовин і матеріалів; науково-технічна інформація в області метрологічного забезпечення.

Державна метрологічна служба має наступну структуру. У складі Держспоживстандарт створене Управління метрології, що координує роботи із забезпечення єдності вимірювань. Головною організацією по забезпеченню єдності вимірювань в Україні є національний науковий центр «Інститут метрології» (м. Харків). Харківський, Львівський й Український центри стандартизації, метрології й сертифікації призначені опорними організаціями по впровадженню наукових розробок у виробництво. Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації й захисту прав споживачів (Укрметртестстандарт)

поєднує в собі функції науково-дослідного інституту й територіального органа Держспоживстандарт. По статусу Укрметртестстандарт є Державним науковим метрологічним центром України; головним центром національної метрологічної служби стандартних довідкових даних про фізичні сталі і властивості речовин і матеріалів; головною організацією по ряду видів і підвидів вимірювань.

Для подальшого вдосконалювання, розвитку й ефективного функціонування Державної метрологічної служби в -1997 р. в Укрметртестстандарт був створений головний центр метрологічної служби України. Основні завдання головного центра метрологічної служби України полягають у наступному:

- створенні наукових, нормативних й організаційних основ діяльності національної метрологічної системи в галузях; державних випробувань, твердження типу й перевірки ЗВТ; державного метрологічного нагляду за забезпеченням єдності вимірювань і фасованих товарів в упакуваннях; уповноваження державних наукових метрологічних центрів і територіальних органів, метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій на проведення державних випробувань і перевірки ЗВТ; метрологічного забезпечення обов'язкової сертифікації продукції.

У головному центрі метрологічної служби створені й ведуться Державний реєстр ЗВТ, допущених до застосування в Україні; Реєстр організаційно-методичних документів по метрології, у який заносяться: методики перевірки; методики виконання вимірювань; типові програми державних випробувань ЗВТ; положення, правила, інструкції й рекомендації в області метрології й метрологічної діяльності; нормативно-правові акти, які зареєстровані в Міністерстві юстиції; Реєстр організацій, уповноважених на проведення

державних випробувань і перевірки ЗВТ, що нараховує 32 такі організації. Інформація з реєстрів публікується в офіційних виданнях Держспоживстандарт, а також надається по запитам, які надходять у виконавчий відділ Державного центра метрологічної служби.

До складу державної метрологічної служби входять центри державних еталонів, що є головними організаціями по закріпленім за ними видам вимірювань і відповідальні за рівень і випереджальний розвиток метрологічного забезпечення народного господарства, за створення й удосконалювання державних, робочих і вихідних еталонів. Центри державних еталонів забезпечують відтворення одиниць фізичних величин і передачу інформації про їхній розмір робочим і вихідним еталонам підприємств, що перебувають у віданні державної метрологічної служби, координують і проводять науково-дослідні роботи з теоретичної метрології, створенню й удосконалюванню методів і засобів вимірювальної техніки вищої точності, а також по визначенню значень фізичних констант. У число центрів еталонів входять: 1) національний науковий центр «Інститут метрології» (м. Харків), за яким закріплені виміри ємності, рівня; часу й частоти; сили струму; кількості електрики; ЕРС, напруги, електроопору, параметрів магнітних полів, магнітних характеристик матеріалів; інтенсивності сигналів; параметрів, форми й спектра сигналів; низьких, середніх і високих температур; виміру теплофізичних величин при низьких і високих температурах; довжини; маси; параметрів руху, міцності; 2) Державний НДІ «Система» (м. Львів), що відповідає за метрологічне забезпечення інформаційних вимірювальних систем й АСУ технологічними процесами; атестацію аналітичних, вимірювальних лабораторій і іспитові підрозділи, антенні й акустичні виміри, контактну термометрію; 3) Український ЦСМС (ДП «Укрстандартметрологія», м. Київ), що займається вимірами об'єму й об'ємної витрати рідин;

високої напруги постійного й змінного струму; сили змінного струму в діапазоні 20 Гц – 300 МГц; потужності, енергії, коефіцієнта потужності, кута зрушення фаз, ємності, провідності, добротності, індуктивності, тангенса кута втрат, показників якості електроенергії; параметрів антен з робочими розмірами розкриття до 2 м; довжин від 0 до 100 мм; відхилень форми оброблених поверхонь; кутів, площ, прискорень під час ударного руху, вібропереміщень, віброприскорень і віброшвидкостей, надвисокого тиску до 250 МПа, різниці тисків до $4 \cdot 10^4$ Па; електрохімічними вимірами; 4) Харківський ЦСМС (ДП «Харків стандартметрологія»), який займається вимірами ЕРС і електроопору, сили; зберіганням, експлуатацією, дослідженням і вдосконаленням робочих еталонів ЕРС і опору; 5) Білоцерківський ЦСМС, який займається вимірами іонізуючих випромінювань, зберіганням, експлуатацією, дослідженням і вдосконаленням робочих еталонів іонізуючих вимірювань; 6) Дніпропетровський ЦСМС, який займається вимірами втрат рідин; 7) Івано-Франківський ЦСМС, який займається вимірами втрат і кількості газу.

В Україні на момент утворення держави було всього 10 державних еталонів (у СРСР було 150 первинних еталонів одиниць фізичних величин), які морально й фізично застаріли; крім того, були відсутні еталони основних фізичних величин. Наявність еталонної бази є найважливішим елементом власної системи забезпечення єдності вимірювань. Як свідчить досвід передових країн з ринковою економікою, всі вони мають високоефективну метрологічну інфраструктуру, основним елементом якої є еталонна база. Наприклад, кількість державних (національних) еталонів у США - 98, Великобританії - 104, Німеччини - 121, Франції - 104, Росії - 114, Кореї - 80.

Аналіз шляху побудови національної системи забезпечення єдності вимірювань показав, що вартість метрологічних послуг за

кордоном, на еталонному рівні, досить висока й має тенденцію до постійного) росту; причому ріст вартості метрологічних послуг випереджає ріст вартості продукції; різко зростає вартість транспортування мір до місця дислокації еталона, досягаючи у більшості випадків вартості метрологічних послуг. Показано, що одержання вихідної одиниці фізичної величини від закордонних еталонів є неефективним і може бути використане тільки для тих ЗВТ, які мають міжповірний інтервал не менш 5 років. Для вихідних еталонів, у яких міжповірний інтервал 1-2 року (а таких більшість), одержання одиниці фізичної величини за межами України економічно не вигідно, тому що строк окупності витрат на створення еталона в середньому становить 5-6 років при строку його служби не менш 10 років.

В 1992 р. була розроблена програма створення еталонної бази України на 1993-97р., у якій витриманий принцип мінімальної достатності, що полягає в тім, що з наявної безлічі одиниць фізичних величин обґрунтовано обрані найпоширеніші, а для кожної обраної одиниці фізичних величин установлені найпоширеніший діапазон її застосування. Основний обсяг робіт по створенню еталонної бази України виконали вчені національного наукового центра «Інститут метрології» (м. Харків). На початок 2002 р. затверджено 40 державних еталонів, серед них державні первинні еталони одиниці маси, одиниці довжини й одиниці сили світла. До складу еталонної бази України, крім державних еталонів, входять 54 вторинних еталона.

У цей час розроблено продовження програми створення національної еталонної бази - програма «Еталони України», відповідно до якої Україна повинна мати близько 80 державних еталонів, тобто за рівнем забезпечення еталонами як у розвинені в промисловому відношенні країнах світу.

Національна еталонна база є технічною основою забезпечення єдності вимірювань в Україні з урахуванням потреб промисловості, оборони й науки. Ця база забезпечує підтримку вітчизняних виробників, підвищує конкурентоздатність української продукції й забезпечує її вихід на світовий ринок. Постановою Кабінету Міністрів України від 01.04.1999 №527 національна еталонна база включена в перелік наукових об'єктів, що представляють собою національне надбання. Складність різних еталонів і точність відтворення ними розмірів одиниць не однакові. Найпростіший еталон - еталон кілограма, до складу якого входять національний прототип кілограма № 12 (гиря із платиноіридієвого сплаву циліндричної форми діаметром і висотою 39 мм) і еталонні рівноплечі ваги на 1 кг із дистанційним керуванням для передачі розміру одиниці маси вторинним еталонам. Найбільш точний еталон України - еталон одиниці часу секунди, що одночасно є еталоном одиниці частоти - герца. Він забезпечує відтворення одиниць із відносним середнім квадратичним відхиленням результату вимірювань $1 \cdot 10^{-13}$ при невиключній відносній систематичній похибці, яка не перевищує $1 \cdot 10^{-12}$; найнижчою точність володіє еталон одиниці сили світла свіча, для якого ці похибки не перевищують відповідно значень $2 \cdot 10^{-3}$ і $6 \cdot 10^{-3}$.

В державну метрологічну службу також входять:

1) державна служба єдиного часу й еталонних частот (ДСЧЧ); 2) державна служба стандартних зразків речовин і матеріалів (роботи зі створення стандартних зразків плануються Держспоживстандартом і становлять самостійний розділ плану національної стандартизації); 3) державна служба стандартних довідкових даних про фізичні константи, властивості речовин і матеріалів, що у своїй діяльності опирається на науково-дослідні інститути Національної академії наук України.

Організаційно ДСЧЧ включає: Державну комісію єдиного часу й еталонних частот з її робочим апаратом і науково-технічною радою; національний науковий центр «Інститут метрології» (м. Харків); Український центр визначення параметрів обертання Землі на базі Головної астрономічної обсерваторії (м. Київ); Західний (ДНДІ «Система», м. Ужгород) і Північний (УкрЦСМ, м. Київ) метрологічні центри ДСЧЧ; пункти передачі еталонних сигналів часу й частоти; пункти метрологічного контролю; пункти спостереження системи визначення параметрів обертання Землі. До складу ДСЧЧ входять також регіональні метрологічні центри, які повинні забезпечувати рішення таких завдань, як відтворення й зберігання одиниць часу й частоти й шкал часу, передача еталонних сигналів часу й частоти, метрологічний контроль ЗВТ часу й частоти.

Передача інформації про розміри одиниць часу й частоти здійснюється цією службою по системі провідного, радіорелейного і радіозв'язку, телебачення, УКХ й іншим каналам, що забезпечують прийом сигналів на всій території України.

Систему національної служби стандартних зразків (ДССЗ) становлять: головний центр ДССЗ, функції якого покладені на національний науковий центр «Інститут метрології» (м. Харків); центри ДССЗ, функції яких покладені на головні організації метрологічної служби центральних органів виконавчої влади, організацій установ і підприємств, у тому числі науково-виробничі об'єднання підприємства, НДІ, вузи й ін., які мають необхідну експериментальну базу й кваліфікований персонал з досвідом роботи зі стандартними зразками.

Положення про центри ДССЗ затверджується керівником відповідної організації за узгодженням з Головним центром ДССЗ. За кожним центром ДССЗ закріплюється певна номенклатура стандартних зразків або науково-технічна сфера діяльності по

розробці й впровадженню стандартних зразків.

Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні постійні і властивостях речовин і матеріалів (ДССДД) є системою організацій, установ і підприємств, об'єднаних науковою й метрологічною діяльністю по розробці й впровадженню стандартних довідкових даних. Вона включає Головний центр, функції якого здійснює Укрметртестстандарт, і центри ДССДД, функції яких можуть покладати на головні організації метрологічної служби центральних органів виконавчої влади, організацій, установ і відомств, науково-виробничі об'єднання, НДІ, вузи й ін., які мають необхідну експериментальну базу й кваліфікований персонал з досвідом роботи в даній області.

В Україні встановлені такі категорії стандартних довідкових даних (ССД):

- таблиці ССД - атестовані в ДССДД числові значення фізичних постійних або властивостей речовин і матеріалів оціненої точності, отримані на основі використання результатів декількох прецизійних експериментальних досліджень, які виконані методично незалежними способами;

- рекомендовані довідкові дані - атестовані в ДССДД числові значення фізичних постійних або властивостей речовин і матеріалів оціненої точності, отримані на основі застосування одного або декількох взаємопогоджуваних експериментальних досліджень, або в результаті обґрунтованої екстраполяції за межі області параметрів, охоплених експериментом, а також дані, отримані розрахунковим шляхом, точність яких оцінена;

- інформаційні довідкові дані - опубліковані в різних джерелах значення фізичних постійних і властивостей речовин і матеріалів, у тому числі результати експериментальних досліджень, числові дані, які перебувають у вторинних джерелах інформації, тобто довідниках і

рекомендаціях закордонних центрів даних.

Органами державної метрологічної служби на місцях є територіальні органи державної метрологічної служби-центри стандартизації, метрології й сертифікації. В Україні створено 25 обласних й 9 міських державних центрів стандартизації, метрології й сертифікації (м. Горлівка, Дрогобич, Кременчук, Кривий Ріг, Маріуполь, Мелітополь, Краматорськ, Червоноград). Всі територіальні органи Держспоживстандарту є самостійними організаціями господарського керування країни й реалізують функції і права Держспоживстандарту на закріплених за ними територіях, проводять єдину технічну політику в області метрології й виміральної справи, спрямовану на поліпшення якості продукції.

Виробничою базою державної метрологічної служби є заводи «Еталон» (м. Київ, Донецьк, Харків, Умань, Біла Церква), досвідні заводи «Прилад» (Вінниця, Полтава).

Підготовка кадрів для державної метрологічної служби ведеться навчальними закладами: Українським учбово-науковим центром по стандартизації, метрології і якості продукції (УкрУНЦ) і рядом вузів Міністерства освіти і науки України.

6.2. Функції державної метрологічної служби

Функції основних ланок державної метрологічної служби визначені законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Відповідно до цього документа відносини у сфері метрології та метрологічної діяльності регулюються Державною метрологічною системою, яка створює необхідні засади для забезпечення єдності вимірювань у державі.

Діяльність державної метрологічної системи координує спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у сфері метрології (ЦОВМ). При ЦОВМ створюється консультативно-

державний орган – Наукова технічна комісія з метрології.

Національний науковий центр «Інститут метрології» (раніше ДНВО «Метрологія», м. Харків) - головна організація по забезпеченню єдності вимірювань в Україні, розробляє наукові, методичні, законодавчі й організаційні основи забезпечення єдності вимірювань у країні, координує й проводить фундаментальні дослідження з теоретичної метрології; створює й удосконалює еталонну базу; здійснює науково-методичне керівництво територіальними органами національної метрологічної служби й головними організаціями по видах вимірювань. Нею проводиться аналіз стану метрологічного забезпечення закріплених вимірювань, метрологічна експертиза нормативних документів ДСВ; сертифікація, державні випробування й метрологічна атестація ЗВТ у закріплених видах вимірювань і т.п.

Головні організації по видах вимірювань виконують фундаментальні дослідження нових фізичних явищ з метою створення й удосконалювання методів і ЗВТ вищої точності, розробляють й удосконалюють державні еталони, здійснюють відтворення й зберігання одиниць фізичних величин і передачу їхніх розмірів ЗВТ, що належать метрологічним службам у закріплених видах вимірювань. Національний науковий центр «Інститут метрології» (ДНВО «Метрологія») проводить сертифікацію, державні випробування й метрологічну атестацію ЗВТ, розробляє нормативні документи на методи й засоби перевірки ЗВТ, здійснює метрологічну експертизу нормативних документів по забезпеченню єдності вимірювань.

На державну службу єдиного часу й еталонних частот, покладені наступні функції: відтворення й зберігання розмірів одиниць часу і частот, передача із заданою точністю еталонних сигналів частоти й часу по каналах електрозв'язку й забезпечення

споживачів цих сигналів офіційною інформацією довідкового характеру; визначення параметрів обертання Землі й передача даних про ці параметри споживачеві.

Державна служба стандартних зразків речовин і матеріалів здійснює розробку основних напрямків метрологічного забезпечення вимірювань складу і властивостей речовин і матеріалів, координує розробку й виготовлення державних стандартних зразків, проводить науково-дослідні роботи в області створення й застосування стандартних зразків, розробляє нормативні й методичні документи з питань стандартних зразків, організує роботи з метрологічної оцінки й атестації методик виконання вимірювання складу і властивостей речовин і матеріалів із застосуванням стандартних зразків. Ця служба веде реєстр державних стандартних зразків і забезпечує підприємства й організації інформацією про стандартні зразки; здійснює атестацію головних і базових організацій по розробці стандартних зразків, проводить експертизу, атестацію й ствердження стандартних зразків.

Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні константи, властивості речовин і матеріалів установлює й прогнозує потреби економіки країни в довідковій інформації про властивості речовин і матеріалів, готує цю інформацію й забезпечує споживачів достовірними довідковими даними про фізичні константи й властивості речовин і матеріалів; проводить наукові дослідження в області вдосконалювання методів одержання, оцінки вірогідності, систематизації й узагальнення даних про властивості речовин і матеріалів; проводить науково-технічну експертизу й атестацію стандартних довідкових даних, співробітничує із закордонними центрами стандартних довідкових даних.

6.3. Повірка засобів вимірювань

Повірочні схеми

Повірка ЗВТ є найважливішим напрямком діяльності органів метрологічних служб по забезпеченню єдності вимірювань у країні. Повіркою називається встановлення придатності ЗВТ, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їхніх метрологічних характеристик. Необхідність повірки обумовлена тимчасовою нестабільністю й залежністю метрологічних характеристик ЗВТ від якості їхнього виготовлення, дотримання технологічних процесів і геометричних розмірів, фізико-хімічних властивостей матеріалів, з яких виготовлені ЗВТ. Організація й порядок проведення повірки ЗВТ в Україні регламентується стандартом ДСТУ 2708:2006.

Для тих ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд, законом України «Про метрологію й метрологічну діяльність» передбачене калібрування.

Основні положення діючої системи повірки ЗВТ зводяться до наступного. Повіркою при випуску з виробництва, після ремонту й в експлуатації повинні бути охоплені все без винятку ЗВТ як ті, що випускаються серійно, так і НСІТ або ввезені в країну з-за кордону. До експлуатації допускаються тільки ЗВТ, визнані придатними до застосування на основі їхньої повірки (або після їхньої метрологічної атестації (МА)). Періодичність повірки залежить від тимчасової нестабільності метрологічних характеристик (метрологічної надійності), інтенсивності експлуатації й важливості результатів, одержуваних за допомогою ЗВТ.

Основними компонентами технічної основи забезпечення єдності вимірювань є:

- відтворення одиниць фізичних величин;
- - передача інформації про розмір одиниці від еталонів

робочим ЗВТ;

- МА й перевірка ЗВТ.

Відтворення одиниць може бути централізованим або частково або повністю децентралізованим. При централізованому відтворенні одиниця фізичної величини відтворюється державним еталоном, і інформація про її розмір передається всім ЗВТ даної величини в країні. При частково децентралізованому відтворенні воно здійснюється не в одному місці, а в декількох регіонах країни, міністерствах або відомствах. При цьому існує кілька незалежних еталонів. Іноді застосовують і повністю децентралізовану систему відтворення одиниці безпосередньо там, де виконуються вимірювання. Таким, наприклад, є відтворення одиниці площі - m^2 , одиниці об'єму - m^3 і ін. Зараз найбільш широко застосовується централізоване відтворення одиниць, хоча це не завжди виправдано як технічно, так й економічно. Схеми передачі інформації про розміри одиниць при їхньому централізованому відтворенні називають повірочними.

Повірочна схема - це затверджений у встановленому порядку документ, що регламентує засоби, методи й точність передачі розміру одиниці фізичної величини від державного еталона або вихідного еталона робочим ЗВТ. Повірочну схему варто розглядати як відбиття існуючого стану вимірювальної техніки, графічне відображення керівного принципу організації метрологічної діяльності.

Повірочна схема може бути державною або локальною. Державна повірочна схема встановлює порядок передачі інформації про розмір одиниці в масштабі країни. Локальні повірочні схеми уточнюють вимоги національної повірочної схеми стосовно до специфіки ЗВТ окремого відомства, підприємства. Державні повірочні схеми розробляються метрологічними установами, що є головними центрами державних еталонів. Вони очолюються

державними еталонами. Локальна повірочна схема розробляється метрологічною службою підприємства й до ствердження керівництвом підприємства погоджується з територіальним органом Держспоживстандарту. Вона очолюється вихідним еталоном.

Повірочні схеми оформляють у вигляді креслень, доповнюючи текстовою частиною (рис. 6.1). На кресленні вказують найменування ЗВТ і методів повірки, номінальні значення або діапазони фізичних величин, похибки повірки. Креслення повинен складатися з полів, розташованих один під одним і розділених штриховими лініями. Число полів залежить від структури перевіркової схеми. Поля повинні мати найменування, що вказують у лівій частині креслення, відділеною вертикальною суцільною лінією.

У верхнім полі креслення державної повірочної схеми, очолюваної державним еталоном, вказують найменування еталонів у порядку їхньої співпідпорядкованості. У верхнім полі креслення локальної повірочної схеми вказують найменування вихідних еталонів. Поле робочих ЗВТ поміщають під полем робочих еталонів, зліва направо у порядку зростання похибки в ньому розташовують групи робочих ЗВТ, що перевіряють по еталону одного найменування. Для кожної групи вказують вид, діапазон вимірювань і значення похибки ЗВТ. Форма вираження похибки еталона й робочих СИТ в одній повірочній схемі повинна бути однаковою. На повірочній схемі також вказують один з методів перевірки ЗВТ: безпосереднього звірення або звірення за допомогою компаратора або ін.

При правильній постановці повірочної справи необхідно забезпечити еталону, принаймні, в 3 рази більшу точність, ніж точність приладу, що перевіряє. Підраховано, що при відношенні між межами похибок еталона, що допускають, і повіреного ЗВТ 1:3 імовірність браку перевірки не перевищує 0,035 (у середньому 35 ЗВТ з 1000 будуть забраковані помилково або помилково визнані придатними). У практиці повірочних робіт імовірність браку 0,035 ще допускається, але вже визнана незадовільною.

Сучасний стан ЗВТ дозволяє реально забезпечити відношення між межами похибок еталона, що допускаються, і повірюваного ЗВТ при повірці в області радіовимірювань 1:10; вимірювань електричних величин 1:5; тиску 1:4. Можливий і подальший ріст вимог до співвідношення похибок, але повинне зберігатися розумна рівновага між матеріальними витратами на розробку й виготовлення еталонів і достатньої для даного етапу розвитку техніки точністю вимірювань.

Як правило, верхня межа вимірювань еталона при повірці може перевищувати межу вимірювання повірюваного ЗВТ не більш, ніж на 25%.

Створювати повірочні схеми доцільно при наявності більш як двох ступенів передачі інформації про розмір одиниці. Кількість ступенів, що вимагає створення робочих еталонів декількох розрядів, повинна бути техніко-економічно обґрунтованим. Надмірне збільшення числа ступенів приводить до необхідності збільшення кількості еталонів і втратам точності при передачі інформації про розмір одиниці (в. 3-10 разів на кожному ступені.) Навпаки, не виправдано мала кількість ступенів спричиняє перевантаження еталонів, а іноді й більші витрати на перевезення засобів вимірювальної техніки для повірки.

Варто розрізняти поняття «повірочна схема» й «схема повірки». Схема повірки - це схема реального з'єднання еталона із засобом

вимірювальної техніки при повірці останнього (рис. 6.2, 6.3).

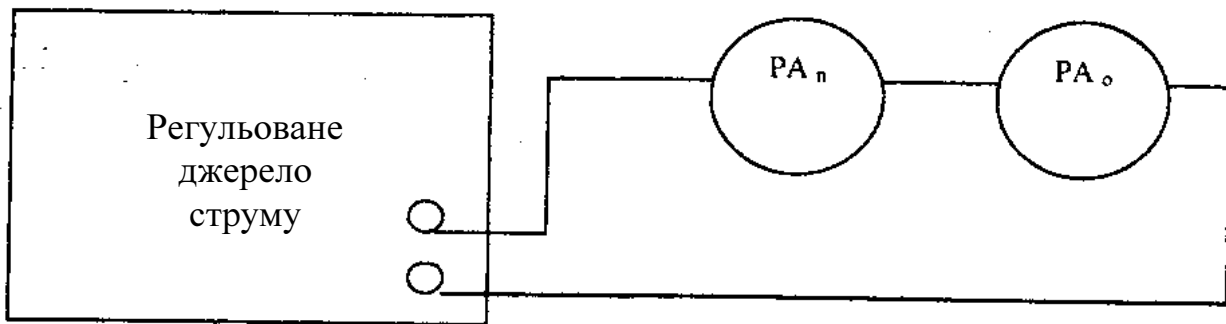


Рисунок 6.2 - Схема повірки амперметрів методом безпосереднього звірення

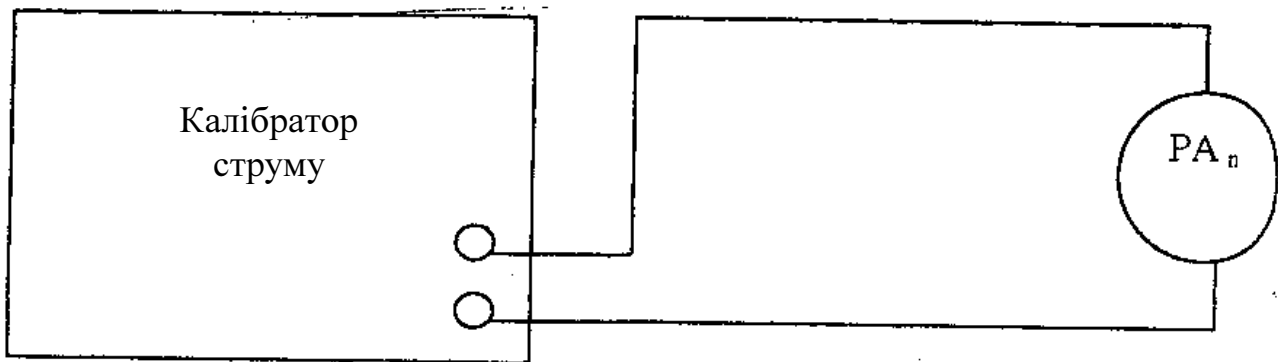


Рисунок 6.3 - Схема повірки амперметрів методом прямих вимірювань

Методи і види повірок засобів вимірювань

В основу класифікації застосовуваних методів повірки покладені наступні ознаки, відповідно до яких ЗВТ можуть бути повірені:

- без використання компаратора (приладу порівняння), тобто безпосереднім звіренням повірюваного ЗВТ з еталоном того ж виду;
- звіренням повірюваного ЗВТ з еталоном того ж виду за допомогою компаратора;
- прямим вимірюванням повірюваного ЗВТ величини, відтвореною еталоною мірою;
- прямим вимірюванням еталоном величини, відтвореній мірі, що підлягає повірці;

- непрямым вимірюванням величини, відтвореною мірою або вимірюваної приладом, що піддають повірці;
- шляхом незалежної (автономної) повірки.

Ці методи можуть мати відповідно до нормативних документів, що регламентують методи повірки, визначення, відмінні від цієї класифікації, але, власне кажучи, вони можуть бути зведені до одного з перерахованих методів.

Метод безпосереднього звірення двох ЗВТ без застосування компаруючих або яких-небудь інших проміжних приладів широко застосовується при повірці. Основою методу служить одночасне вимірювання того самого значення фізичної величини X аналогічними по роду вимірюваної величини повірочним приладом і еталоном. При повірці даним методом установлюють необхідне значення X , потім порівнюють показання приладу, що перевіряє, X_n з показаннями еталона X_0 і визначають різницю: $\Delta X = X_n - X_0$. Ця різниця дорівнює абсолютній похибці приладу, що перевіряє, яка приводить до нормованого значення X_N для одержання наведеної похибки: $\gamma = \Delta X / X_N \cdot 100\%$, де X_N - нормуюче значення, умовно прийняте значення, рівне або верхній межі вимірювань, або діапазону вимірювань, або довжині шкали. Цей метод може бути реалізовано двома способами:

- реєстрацією суміщень;
- відрахуванням похибки по шкалі повірюваного приладу.

При першому способі показчик приладу, що перевіряє, шляхом зміни вхідного сигналу сполучають із повірюваного відміткою шкали, а похибку визначають розрахунковим шляхом як різниця між показаннями приладу, що перевіряє, і дійсним значенням, що обумовлюється за показниками еталона. При другому способі номінальні для повірюваної відмітки шкали значення розміру ФВ установлюють по еталону, а похибку визначають по відстані між

повірюваною відміткою повірюваного приладу і його покажчиком.

Перший спосіб зручний тим, що дає можливість точно визначити похибку по еталону, шкала якого звичайно має більше число поділок, а звітний пристрій практично виключає появу похибки відліку внаслідок паралакса. Другий спосіб зручний при автоматичній повірці, тому що дозволяє повірять одночасно кілька приладів за допомогою одного еталона. Недоліки другого способу: нелінійність шкал аналогових приладів, що повіряють, і неточності нанесення проміжних поділок. Але це не відноситься до цифрових приладів. При їхній повірці другий спосіб дає таку ж точність, як і перший. Переваги методу безпосереднього звірення: простота, відсутність необхідності застосування складного устаткування і ін.

Метод звірення повірюваного ЗВТ з еталонем того ж виду за допомогою компаратора (приладу порівняння) полягає в тім, що в ряді випадків неможливо зрівняти показання двох вольтметрів, якщо один з них придатний тільки в ланцюгах постійного струму, а інший - змінного, не можна безпосередньо зрівняти розміри мір магнітних і електричних величин. Вимірювання цих величин виконують шляхом введення в схему повірки деякої проміжної ланки - компаратора, що дозволяє побічно порівнювати дві однорідні або різнорідні фізичні величини. Компаратором може бути кожне ЗВТ, що однаково реагує на сигнал еталона й повірюваного ЗВТ. При звірнні мір опору, індуктивності, ємності як компаратор використовують мости постійного або змінного струму, а при звірнні мір опору - потенціометри.

Звірнення мір за допомогою компаратора здійснюється методами протиставлення або заміщення. Загальним для цих методів повірки ЗВТ є вироблення сигналу про наявність різниці розмірів порівнюваних величин. Якщо цей сигнал шляхом підбора, наприклад, еталонної міри або шляхом примусової зміни її розміру буде

зведений до «0», то метод називається нульовим. Якщо ж на вході компаратора при одночасному впливі розмірів звірюваних мір вимірювальний сигнал указує на наявність різниці порівнюваних розмірів, то це диференціальний метод. Застосування в ході перевірки методу протиставлення дозволяє зменшити вплив на результати перевірки величин, що впливають, через те, що вони практично однаково спотворюють сигнали, що подаються на входи компаратора.

Недолік нульового методу заміщення: необхідність мати ЗВТ, що дозволяють відтворювати будь-яке значення відомої величини без істотного зниження точності.

Особливістю диференціального методу при проведенні вимірювань є можливість одержання достовірних результатів звірення двох ЗВТ навіть при застосуванні порівняно грубих засобів для вимірювання різниці. Разом з тим реалізація цього методу вимагає наявності високоточної еталонної міри з номінальним значенням, близьким до номінального значення звірюваної міри.

Практична реалізація методів прямого вимірювання пред'являє до мір, використовуваним як еталони, ряд специфічних вимог. Найбільш характерними з них є:

- можливість відтворення мірою тієї фізичної величини, в одиницях якої градуйоване повірюваного ЗВТ;
- достатній для перекриття всього діапазону вимірювань повірюваного ЗВТ діапазон фізичних величин відтворених мірою;
- відповідність точності міри, у ряді випадків її типу й плавності зміни розмірів вимогам, що обумовлюються у нормативних документах на методи й засоби перевірки вимірювань даного виду.

Як і при проверці методом безпосереднього звірення, визначення основної похибки повірюваного ЗВТ проводять двома способами:

- зміною розміру міри до сполучення показчика повірюваного ЗВТ з повірюваного відміткою;

- попередньою установкою розміру міри X_0 , рівного номінальному для даного показання повірюваного ЗВТ і наступним відліком показання X_n по його відліковому пристрої і визначенням похибки як різниці $X_n - X_0$.

Реалізація першого способу, що володіє рядом переваг, може бути здійснена тільки при наявності магазину мір, що дозволяє досить плавно змінювати відтворювану фізичну величину. У ряді випадків безпосередньо виміряти розмір міри перевірюваного ЗВТ неможливо. У цьому випадку вимірюють перевірювання ЗВТ деяку проміжну величину, що у свою чергу безпосередньо зіставляють зі значенням еталонної міри. Наприклад, повірка вольтметрів шляхом звірення їхніх показань із мірою ЕРС за допомогою потенціометрів постійного струму. Широке застосування метод прямих вимірювань знаходить при повірці мір електричних і магнітних величин. Особливо він ефективний при повірці мір обмеженої точності.

У повірній діяльності широко застосовують метод непрямих вимірювань величини, відтвореною мірою або повірюваним приладом. При реалізації цього методу про дійсний розмір міри й вимірюваної повірюваним приладом величини судять на підставі прямих вимірювань декількох величин, пов'язаних із шуканою величиною певною залежністю. Метод застосовується тоді, коли дійсні значення величин, відтворені повірюваним ЗВТ, неможливо визначити прямим вимірюванням або коли непрямі вимірювання більш прості або більш точні у порівнянні з прямими. На підставі прямих вимірювань і по їхнім даним виконують розрахунок. Тільки шляхом розрахунку, заснованого на певних залежностях між шуканою величиною й результатами прямих вимірювань, визначають значення величини, тобто знаходять результат непрямого

вимірювання. Наприклад, визначення систематичної складової відносної похибки електролічильника активної енергії за допомогою ватметра і секундоміра.

Незалежна (автономна) повірка, тобто повірка без застосування еталонів, виникла при розробці особливо точних ЗВТ, які не можуть бути повірені жодним з розглянутих методів, через відсутність ще більш точних ЗВТ з відповідними межами вимірювань. Сутність методу незалежної повірки, найчастіше реалізованого при повірці приладів порівняння, полягає в порівнянні величин, відтворених окремими елементами схеми повірюваної ЗВТ з величиною, обраної як опорна і конструктивно відтвореної в самому повірюваному ЗВТ. Наприклад, при повірці m -ої декади потенціометра необхідно переконатися в рівності спадань напруги на кожному n -ому ступені цієї декади. Для цього, вибравши як опорну величину опір i -ого ступеня декади, можна за допомогою компаратора по черзі порівнювати спадання напруги на кожному n -ому ступені зі спаданням напруги на цьому опорі. Метод трудомісткий, але дозволяє визначати поправки з високою точністю безпосередньо на місці експлуатації ЗВТ.

При комплектній повірці ЗВТ повіряють у повному комплекті його складових частин, без порушення взаємозв'язку між ними. Визначені похибки розглядають як похибки, властиві ЗВТ, як єдиному цілому повірюваному. У випадку неможливості реалізувати комплектну повірку (відсутність еталона) застосовують поелементну повірку - визначають похибки окремих частин, загальну суму.

Повірка засобів вимірювань

Повіркою мір і вимірювальних проділів називають сукупність дій, виконуваних для визначення або оцінки похибок засобу вимірювань. Ціль, що у першу чергу переслідує повірка, - з'ясувати,

чи відповідають їх точностні характеристики регламентованим значенням і чи придатний засіб вимірювань до застосування.

Повірка засобів вимірювань є, власне кажучи, одним з ланок багатоступінчатого процесу передачі розміру одиниці від еталона до робочого засобу вимірювань. Саме зв'язок з еталоном є необхідною умовою повсюдної єдності мір, єдності вимірювань. Зв'язок ця здійснюється ступенями, причому, якщо йти від еталона, кожен наступний ступень по точності нижче попередньої. При застосуванні засобів вимірювань у робочих умовах цей зв'язок здійснюється як би у зворотному напрямку: від застосовуваного ним засобу вимірювань уверх до еталона. Бути впевненим у правильності показань, робочого засобу вимірювань можна, тільки перевіривши його за допомогою більш точного зразкового засобу вимірювань.

Щоб упевнитися в тім, що похибки зразкового засобу вимірювань малі настільки, наскільки це необхідно для перевірки робочого засобу вимірювань, зразковий засіб вимірювань у свою чергу піддається повірці за допомогою ще більш точного зразкового засобу вимірювань і так далі до еталона.

Повірка засобів вимірювань регламентується державним стандартом України ДСТУ 2708-94, який установлює основні вимоги до організації й порядку проведення перевірки засобів вимірювань, що випускають із виробництва й ремонту, що перебувають в експлуатації, що підлягають продажу або прокату і ввезених з-за кордону. Його дія поширюється на підприємства, установи й організації незалежно від форм власності й виду діяльності, а також на громадян-суб'єктів підприємницької діяльності.

Відповідно до цього стандарту повірка буває державна й відомча. Державна повірка здійснюється органами державної метрологічної служби, які одержали дозвіл у Держстандарті України на право її проведення. Державній повірці підлягають вихідні

зразкові засоби вимірювань метрологічних служб; робочі засоби вимірювань, застосовувані в області охорони здоров'я; при виробництві й контролі медикаментів і харчових продуктів; при здійсненні заходів по охороні навколишнього середовища, охороні праці й техніки безпеки; при геодезичних і гідрометеорологічних роботах; при розрахунках з покупцями, а також операціях, що включають всі види торговельної діяльності, пов'язані з визначенням кількості товарів або послуг; при обліку матеріальних ресурсів (електричної й теплової енергії, газу, нафтопродуктів і т.д.); при проведенні податкових, митних і поштових операцій; при проведенні експертиз (зокрема, з доручення державних органів); при реєстрації національних і міжнародних спортивних рекордів, а також при виконанні робіт, пов'язаних з обов'язковою сертифікацією продукції.

Відомчу повірку засобів вимірювань роблять метрологічні служби підприємств й організацій, об'єднань підприємств, міністерств й інших центральних органів державної виконавчої влади (відомчі метрологічні служби).

Засоби виміру піддають первинній, періодичній, позачерговій, інспекційній й експертній повірці.

Первинна повірка

Первинній повірці підлягає кожен екземпляр засобів вимірювань з виробництва й ремонту, а також при ввозі з-за кордону (у випадку відсутності договорів або угод про визнання повірок, проведених в інших країнах)

Державну первинну повірку засобів вимірювань при випуску з виробництва й ремонту здійснюють органи державної метрологічної служби на контрольно-повірочних пунктах (КПП) підприємств, що випускають або ремонтують засоби вимірювань. Однак, якщо буде потреба органи метрологічної служби можуть виконувати повірку:

- на місці застосування засобів вимірювань;
- частково на місці виготовлення (ремонту) і частково на місці застосування засобів вимірювань;
- на території органа державної метрологічної служби або відомчої метрологічної служби.

Періодична повірка

Періодичній повірці підлягають засоби вимірювань, що перебувають в експлуатації або призначені до продажу й прокату. Проміжок часу між повірками (міжповірний інтервал) установлюється таким чином, щоб забезпечити придатність засобів вимірювань до застосування протягом цього періоду.

Органи метрологічної служби (державної і відомчої) повинні нести облік й аналіз результатів періодичної повірки. На їх підставі органи державної метрологічної служби можуть приймати рішення, а відомчої метрологічної служби - давати користувачеві рекомендації по зміні міжповірного інтервалу.

Періодичну державну перевірку роблять у календарний термін, установлені графіком перевірки засобів вимірювань, або за заявкою користувача засобів вимірювань.

Час перебування засобів вимірювань у стаціонарних повірочних лабораторіях, за умови їхнього надання відповідно до графіка державної перевірки, не повинне перевищувати 15 робочих днів (за винятком засобів вимірювань, тривалість повірки яких перевищує цей строк).

Засоби вимірювань, що перебувають на довгостроковому зберіганні, можна не піддавати періодичній повірці.

Якщо в орган державної метрологічної служби звертається користувач із заявою про повірку засобів вимірювань, які не підлягають державній повірці, то відповідний орган зобов'язаний

прийняти такі засоби вимірювань на повірку або вказати найближчий орган державної або відомчої метрологічної служби, який може виконати повірку.

Позачергова повірка

Позачергова повірка здійснюється в процесі експлуатації засобів вимірювань до закінчення міжповірного інтервалу в наступних випадках:

- при необхідності переконатися в придатності засобів вимірювань до застосування;
- при ушкодженні відбитка повірочного клейма або втраті свідчення, що підтверджує проходження засобами вимірювань первинної або періодичної повірки;
- при використанні засобів вимірювань як комплектуючих у випадку закінчення половини міжповірного інтервалу;
- при продажі (відправленню) споживачеві засобів вимірювань після закінчення половини міжповірного інтервалу.

Інспекційна повірка

Інспекційна повірка проводиться з метою повірки придатності засобів вимірювань до застосування при здійсненні державного метрологічного нагляду. Її проводять у присутності представників підприємства, яке перевіряють. За рішенням інспектора інспекційну перевірку можна робити не в повному обсязі, передбаченому нормативними документами або технічною документацією. Результати інспекційної повірки відбивають в акті проведення державного метрологічного нагляду.

Експертна повірка

Експертну повірку роблять органи державної метрологічної

служби по письмовій заяві державних органів (суду, прокуратури і ін.) при виникненні суперечних питань щодо метрологічних характеристик, придатності до застосування й правильності експлуатації засобів вимірювань. У заяві повинні бути зазначені предмет, ціль експертної перевірки й причина, що викликала необхідність її проведення.

При проведенні експертної перевірки засобів вимірювань, якщо буде потреба, можуть бути присутніми заявники, а також представники зацікавлених сторін. За результатами експертної перевірки складають висновок, який затверджується керівником органа державної метрологічної служби й направляється заявникові. Один екземпляр висновку повинен зберігатися в органі державної метрологічної служби, що проводила експертну перевірку.

Позитивні результати перевірки засобів вимірювань засвідчують відбитком повірочного клейма й (або) свідоцтвом про перевірку. Відбиток повірочного клейма ставиться на засіб вимірювань й (або) на експлуатаційну документацію.

У тому випадку, коли доступ до вимірювального механізму засобів вимірювань пломбується, відбиток повірочного клейма ставиться на пломбу.

Якщо в результаті перевірки засіб вимірювань зізнається непридатним до застосування, орган метрологічної служби видає довідку про непридатність засобу вимірювань і погашає колишнє клеймо.

Якщо відбиток повірочного клейма або пломба ушкоджені або свідоцтво загублене, засіб вимірювань вважається недовіренним.

Засоби вимірювань, застосовувані для спостереження за зміною величин без оцінки їхнього значення в одиницях фізичних величин з нормованою точністю (як індикатори), а також засобу вимірювань, які використовуються тільки в навчальних цілях, повірці не

підлягають. На такі засоби вимірювань і їхніх експлуатаційних документів повинне бути нанесене відповідне позначення «I» або «У».

Контроль за придатністю таких засобів вимірювань до застосування здійснюється в порядку, установленому підприємством або обговорене в правилах їхньої експлуатації.

7. СТАНДАРТИЗАЦІЯ

З розвитком людського суспільства безупинно вдосконалювалася трудова діяльність людей. Це проявлялося в створенні різних предметів, знарядь праці, нових трудових прийомів. При цьому відбиралися й використовувалися найбільш вдалі результати трудової діяльності з метою їхнього повторного застосування.

В епоху Відродження у зв'язку з розвитком економічних зв'язків між державами починають широко використовуватися методи стандартизації. Так, у зв'язку з необхідністю будівництва великої кількості суден у Венеції почало здійснюватися складання галер з деталей, що виготовлялись заздалегідь, і вузлів (був використаний метод уніфікації).

У період переходу до машинного виробництва мали місце такі значні досягнення стандартизації, як створення французом Лебланом в 1785 р. 50 збройових замків, кожний з яких був придатний для кожної з одночасно виготовлених рушниць без попередньої підготовки (приклад досягнення взаємозамінності й сумісності). У Німеччині, наприклад, з метою переходу до масового виробництва був установлений стандарт на рушниці, по якому їхній калібр був визначений в 13,9 мм. В Англії в 1845 р. була введена система кріпильних різьблень, що використовується дотепер.

Перші згадування про стандарти в Росії відзначені в часи правління Івана Грозного, коли були введені для вимірювання гарматних ядер стандартні калібри, так звані кружала. Петра I, прагнучи до розширення торгівлі з іншими країнами, не тільки ввів технічні умови, які враховували підвищені вимоги іноземних ринків до якості вітчизняних товарів, але й організував урядові бракеражні комісії в Петербурзі й Архангельську. В обов'язок комісії входила

ретельна перевірка якості експортованої Росією сировини (деревини, льону, прядива та ін.)

Перші стандарти в Україні були введені в дію в 1993 р. згідно Декретом Кабінету Міністрів «Про стандартизацію і сертифікацію» і комплексів стандартів державної системи стандартизації. Національні стандарти на території України використовують всі підприємства незалежно від форм власності й підпорядкованості, міністерства (відомства), органи державної виконавчої влади, на діяльність яких поширюється їхня дія.

Зараз для України характерні такі напрямки розвитку системи стандартизації:

- активізація робіт з узгодження українських стандартів з міжнародними у зв'язку з необхідністю освоєння міжнародного ринку;

- першочергова розробка державних стандартів на продукцію й послуги;

- впровадження міжнародних стандартів ISO серії 9000 і створення вітчизняних систем якості, що відповідають цим стандартам.

Сутність стандартизації, виходячи із сучасних уявлень, можна зрозуміти з наступного визначення: «Стандартизація - це діяльність, спрямована на розробку й установлення вимог, норм, правил і характеристик як обов'язкових для виконання, так і рекомендованих, що забезпечують право споживання на придбання товарів належної якості за прийнятну ціну, а також право на безпеку й комфортність праці».

У процесі трудової діяльності фахівцеві доводиться вирішувати систематично повторювані завдання: вимірювання й обліку кількості продукції, складання технічної й управлінської документації, вимірювання параметрів технологічних операцій, контроль якості й

кількості готової продукції, упакування виготовленої продукції й т.д. Існують різні варіанти рішення цих завдань. Ціль стандартизації - виявлення найбільш правильного й економічного варіанта, тобто знаходження оптимального рішення. Знайдене рішення дає можливість досягти оптимального впорядкування в певній галузі стандартизації. Для перетворення цієї можливості в дійсність необхідно, щоб знайдене рішення стало надбанням великої кількості підприємств (організацій) і фахівців. Тільки при загальному й багаторазовому використанні цього рішення існуючих і потенційних завдань можливий економічний ефект від проведеного впорядкування.

Основними результатами діяльності по стандартизації повинні бути підвищення ступеня відповідності продукту (послуги), процесів їхньому функціональному призначенню, усунення технічних бар'єрів у міжнародному товарообміні, сприяння науково-технічному прогресу й співробітництву в різних областях.

Об'єктом (предметом) стандартизації звичайно називають продукцію, процес або послугу, для яких розробляють ті або інші вимоги, характеристики, правила і т.п. (рис.7.1).

7.1. Принципи стандартизації

Стандартизація як наука і як вид діяльності базується на використанні ряду принципів. Принципи стандартизації відбивають основні закономірності процесу розробки стандартів, обґрунтовують її необхідність у керуванні й організації різними видами людської діяльності.

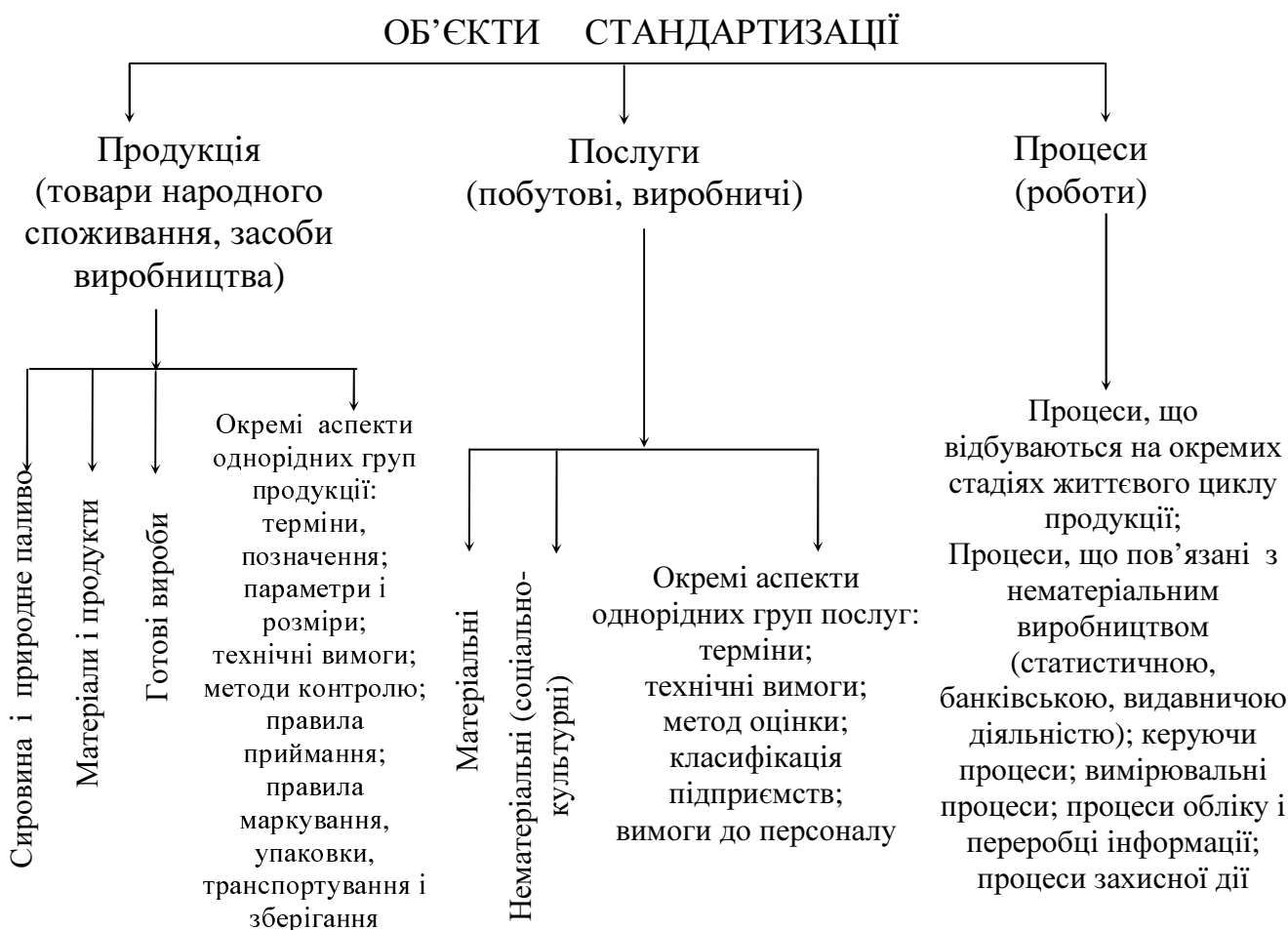


Рисунок 7.1 - Класифікація об'єктів стандартизації

Можна виділити сім найважливіших принципів стандартизації:

- *збалансованість інтересів сторін*, що розробляють, що виготовляють, надають і споживають продукцію (послугу). Учасники робіт зі стандартизації, виходячи з можливостей виготовлювача продукції й виконавця послуги, з одного боку, і вимог споживача - з іншого, повинні знайти консенсус, що приймається як загальна згода, тобто як відсутність заперечень по істотних питаннях у більшості зацікавлених сторін, прагнення врахувати думку всіх сторін і зблизити розбіжні точки зору. Однак, консенсус не припускає повної єдності;

- *системність і комплексність стандартизації*. Системність -

це розгляд кожного об'єкта як частини більш складної системи. Комплексність припускає сумісність всіх елементів складної системи;

- *динамічність і випереджальний розвиток стандарту*. Як відомо, стандарти моделюють реально існуючі закономірності в господарській і в інших галузях діяльності людини. Однак науково-технічний прогрес вносить зміни в техніку, у процеси керування й сферу послуг. Тому стандарти повинні адаптуватися до змін, що відбуваються. Динамічність забезпечується періодичною перевіркою стандартів і внесенням у них змін. Для того, щоб новостворюваний стандарт менше підлягав моральному старінню, він повинен трохи випереджати вимоги до якості продукції й послуг. Випереджальний розвиток забезпечується внесенням у стандарт перспективних вимог до номенклатури продукції, показників якості, методом контролю й ін.;

- *ефективність стандартизації*. Економічний ефект роблять стандарти, що ведуть до економії ресурсів, підвищенню надійності, технічної й інформаційної сумісності. Стандарти, спрямовані на забезпечення безпеки життя й здоров'я людей, навколишнього середовища, забезпечують соціальний ефект;

- *періодичність розробки стандартів*, що сприяють забезпеченню безпеки, сумісності й взаємозамінності продукції (послуг). Ця мета досягається шляхом забезпечення відповідності вимогам стандартів, нормам законодавства й реалізується шляхом регламентації й дотримання вимог державних стандартів.

- *принцип гармонізації*. Цей принцип передбачає розробку гармонізованих стандартів. Забезпечення, наприклад, ідентичності документів, що відносяться до одного і того ж об'єкта, але прийнятих як організаціями по стандартизації в нашій країні, так і міжнародними організаціями, що дозволяє розробити стандарти, які не створюють перешкод у міжнародній торгівлі;

- *чіткість формулювань положень стандарту.* Такий принцип дозволяє виключити двозначне тлумачення окремих положень стандарту.

7.2. Функції стандартизації

- *Функція впорядкування* – подолання (зменшення) різноманіття об'єктів (розширена номенклатура продукції, непотрібне різноманіття документів). Вона зводиться до спрощення й обмеження.

- *Охоронна (соціальна) функція* – забезпечення безпеки споживачів продукції (послуг), виготовлювачів і держави, об'єднання зусиль людства по захисту природи від техногенного впливу цивілізації.

- *Ресурсозберігаюча функція* – обумовлена обмеженістю матеріальних, енергетичних, трудових і природних ресурсів і полягає у встановленні обґрунтованих обмежень на витрату ресурсів.

- *Комунікативна функція* – забезпечує спілкування й взаємодію людей, зокрема фахівців, шляхом особистого обміну або використання документальних засобів, апаратних (комп'ютерних, супутникових й ін.) систем і каналів передачі повідомлень. Ця функція спрямована на подолання бар'єрів у торгівлі й на сприяння науково-технічному й економічному співробітництву.

- *Цивілізуюча функція* - спрямована на підвищення якості продукції й послуг як складової якості життя. Так, наприклад, державний стандарт по вмісту шкідливих речовин у харчових продуктах, питній воді, в атмосферному повітрі й в інших видах використовуваних речовин і продукції відображає рівень цивілізації в даній країні.

- *Інформаційна функція.* Стандартизація забезпечує матеріальне виробництво, науку і техніку та інші сфери нормативними документами, еталонами мір, зразками, каталогами продукції як

носіями цінної технічної й управлінської інформації. Посилання в договорі (контракті) на стандарт є найбільш зручною формою інформації про якість товару як головної умови договору (контракту).

7.3. Методи стандартизації

Методи стандартизації - це прийом або сукупність прийомів, за допомогою яких досягають мети стандартизації. Можна відзначити наступні основні методи стандартизації:

- *упорядкування об'єктів стандартизації* – це універсальний метод в галузі стандартизації продукції, процесів і послуг. Упорядкування зв'язане, насамперед, зі скороченням різноманітності. Результатом роботи з упорядкування є, наприклад, обмежувальні переліки комплектуючих виробів для кінцевої готової продукції; альбоми типових конструкцій виробів й ін.;

- *систематизація об'єктів стандартизації* – полягає в науково обґрунтованому, послідовному класифікуванні й ранжируванні сукупності конкретних об'єктів стандартизації;

- *селекція об'єктів стандартизації* – діяльність, що полягає у відборі таких конкретних об'єктів, які визнаються доцільними для подальшого виробництва й застосування в суспільному виробництві;

- *симпліфікація* – діяльність, що полягає у визначенні таких конкретних об'єктів, які визнаються недоцільними для подальшого виробництва й застосування в суспільному виробництві;

- *типізація об'єктів стандартизації* – діяльність по створенню типових (зразкових) об'єктів, конструкцій, технологічних правил, форм документації. На відміну від селекції відібрані конкретні об'єкти піддають яким-небудь технічним перетворенням, спрямованим на підвищення їхньої якості й універсальності.

- *оптимізація об'єктів стандартизації* полягає в знаходженні оптимальних головних параметрів, а також значень всіх інших

показників якості й економічності.

На відміну від робіт із селекції й симпліфікації, що базуються на нескладних методах оцінки й обґрунтування прийнятих рішень, наприклад, експертний метод, оптимізацію об'єктів стандартизації здійснюють шляхом застосування спеціальних економіко-матеріальних методів і моделей оптимізації. Метою оптимізації є досягнення оптимальних ступенів упорядкування й максимально можливої ефективності за обраним критерієм.

Параметрична стандартизація

Параметр продукції - це кількісна характеристика її властивостей. Найбільш можливими параметрами є характеристики, що визначають призначення продукції й умови її використання:

- розмірні параметри (діаметри труб, типорозміри кріпильних виробів і ін.);
- параметри, що характеризують продуктивність машин і механізмів (продуктивність димососів, піднімальних машин і ін.);
- енергетичні параметри (потужність двигуна і ін.).

Процес стандартизації параметричних рядів - параметрична стандартизація - полягає у виборі й обґрунтуванні доцільної номенклатури й чисельного значення параметрів. Вирішується це завдання за допомогою математичних методів статистики.

Параметричні ряди машин, приладів, механізмів різних пристроїв і так далі рекомендується будувати відповідно до системи найкращих чисел - набору наступних чисел, що змінюються в геометричній прогресії. Зміст цієї системи полягає у виборі лише тих значень параметрів, які підкоряються строго визначеній математичній закономірності, а не будь-яких значень, прийнятих у результаті розрахунків або в порядку вольового рішення.

В Україні згідно національного стандарту прийняті переважні

числа й рядів переважних чисел при проектуванні машин, механізмів, приладів. На базі цього стандарту були встановлені наступні ряди чисел для вибору лінійних розмірів. Передбачено чотири основних ряди переважних чисел:

- R5:1,00; 1,60; 2,50; 4,00; 6,30; 10,00 ... зі знаменником прогресії $\sqrt[5]{10} = 1,6$;
- R 10:1,00; 1,25; 1,60; 2,00; 2,50 ... зі знаменником прогресії $\sqrt[10]{10} = 1,25$;
- R 20:1,00; 1,12; 1,25; 1,40; 1,60 ... зі знаменником прогресії $\sqrt[20]{10} = 1,12$;
- R 40:1,00; 1,06; 1,12; 1,18; 1,25 ... зі знаменником прогресії $\sqrt[40]{10} = 1,06$.

У деяких технічних обґрунтованих випадках допускається округлення переважних чисел.

При виборі того або іншого ряду враховують інтереси не тільки споживачів продукції, але й виготовлювачів. Частота параметричного ряду повинна бути оптимальною: занадто «густий» ряд дозволяє максимально задовольнити потреби споживачів (підприємств, індивідуальних покупців), але, з іншого боку, надмірно розширюється номенклатура продукції, розширюється її виробництво, що приводить до більших виробничих витрат. Тому ряд R5 є кращим у порівнянні з рядом R10, а ряд R10 кращий ніж ряд R20.

Застосування системи переважних чисел дозволяє не тільки уніфікувати параметри продукції певного типу, але й погодити по параметрах продукцію різних видів - деталі, вироби, транспортні засоби й технологічне устаткування. Наприклад, практика стандартизації в машинобудуванні показала, що параметричні ряди деталей і вузлів повинні базуватися на параметричних рядах машин і

устаткування. При цьому доцільно керуватися наступним правилом: ряду параметрів машин по R5 повинен відповідати ряд розмірів деталей по R10, а ряду параметрів машин по R10 - ряд розмірів деталей по R20 і т.д.

Уніфікація продукції

Діяльність по раціональному скороченню числа типів деталей, агрегатів однакового функціонального призначення називається уніфікацією продукції. Основними напрямками уніфікації є:

- розробка параметричних і типорозмірних рядів виробів, машин, устаткування, приладів, вузлів і деталей;
- розробка типових виробів з метою створення уніфікованих груп однорідної продукції;
- розробка уніфікованих технологічних процесів, включаючи технологічні процеси для спеціалізованих виробництв продукції міжгалузевого застосування;
- обмеження доцільним мінімумом номенклатури виробів, дозвільної до застосування, і матеріалів.

Результати робіт з уніфікації оформляються у вигляді альбомів типових (уніфікованих) конструкцій деталей, вузлів, складальних одиниць; у вигляді стандартів типів, параметрів і розмірів, конструкцій, марок й ін.

Ступінь уніфікації характеризується рівнем уніфікації продукції – насиченістю продукції уніфікованими, у тому числі стандартизованими деталями, вузлами й складальними одиницями. Одним з показників рівня уніфікації є коефіцієнт застосовності (уніфікації) K_n , що обчислюють по формулі:

$$K_n = \frac{n - n_0}{n} 100\%, \quad (7.1)$$

де n – загальне число деталей у виробі, шт.;

n_0 – число оригінальних деталей (розроблених уперше), шт.

При цьому, у загальне число деталей (крім оригінальних) входять стандартні, уніфіковані деталі, а також деталі загально-машинобудівного, міжгалузевого й галузевого застосування.

Коефіцієнти застосовності можуть бути розраховані для одного виробу, для групи виробів, що становлять типорозмірний (параметричний) ряд, для конструктивно-уніфікованого ряду.

Агрегативання

Агрегативання - це метод створення машин, приладів й устаткування з окремих стандартних уніфікованих вузлів, багаторазово використовуваних при створенні різних виробів на основі геометричної й функціональної взаємозамінності.

Агрегативання дуже широко застосовується в машинобудуванні, радіоелектроніці. Розвиток машинобудування характеризується ускладненням і частою змінюваністю конструкції машин. Для проектування й виготовлення великої кількості різноманітних машин треба було в першу чергу розчленувати конструкцію машини на незалежні складальні одиниці (агрегати) так, щоб кожна з них виконала в машині певну функцію. Це дозволило спеціалізувати виготовлення агрегатів як самостійних виробів, роботу яких можна перевірити незалежно від всієї машини.

Розчленовування виробів на конструктивно закінчені агрегати стало першою передумовою розвитку методу агрегативання. Надалі аналіз конструкції машин показав, що багато агрегатів, вузлів й деталей, різні за будовою, виконують у різноманітних машинах однакові функції. Узагальнення приватних конструктивних рішень шляхом розробки уніфікованих агрегатів, вузлів і деталей значно розширило можливості даного методу. Подальший розвиток принципу агрегативання це перехід до виробництва техніки на базі

великих агрегатів-модулів. Модульний принцип широко розповсюджений у радіоелектроніці й приладобудуванні.

Комплексна й випереджальна стандартизація

При комплексній стандартизації здійснюються цілеспрямоване й планомірне встановлення й застосування системи взаємопов'язаних вимог як до самого об'єкта комплексної стандартизації в цілому, так і до його основних елементів з метою оптимального рішення конкретної проблеми. Стосовно до продукції - це встановлення й застосування взаємозалежних по своєму рівні вимог до якості готових виробів, необхідних для їхнього виготовлення сировини, матеріалів і комплектуючих вузлів, а також умов збереження й споживання (експлуатації). Так, наприклад, при здійсненні програми комплексної стандартизації трансформаторів треба було переглянути й створити 36 інших взаємозалежних стандартів на вироби й матеріали, застосовувані при виготовленні трансформаторів: електротехнічну тонколистову сталь і методи її випробувань; електроізоляційний картон і методи визначення його міцності й електроізоляційних властивостей; кабельний папір; порцелянові ізолятори, що ізолюють матеріали (текстоліт, склотекстоліт). Для забезпечення точної геометрії листів сталі були розроблені й уточнені стандарти на норми точності прокатних станів. Таким чином, для розробки й реалізації програми комплексної стандартизації трансформаторів потрібна була участь багатьох галузей промисловості.

Метод випереджальної стандартизації полягає у встановленні підвищених стосовно вже досягнутого на практиці рівню норм і вимог до об'єктів стандартизації, які згідно із прогнозами будуть оптимальними з часом.

Стандарти не можуть тільки фіксувати досягнутий рівень

розвитку науки й техніки, тому що через високі темпи морального старіння багатьох видів продукції вони можуть стати гальмом технічного прогресу. Для того, щоб стандарти не гальмували технічний прогрес, вони повинні встановлювати перспективні показники якості із вказівкою строків їхнього забезпечення промисловим виробництвом. Випереджальні стандарти повинні стандартизувати перспективні види продукції, серійне виробництво яких ще не почато або перебуває на початковій стадії.

До випереджальної стандартизації можна віднести застосування в стандартах галузей (стандартах підприємств, стандартах громадських організацій) прогресивних міжнародних стандартів і стандартів окремих закордонних країн до їхнього прийняття в Україні як державних. Держава гарантує економічну підтримку й стимулювання суб'єктів господарської діяльності, які роблять продукцію (роблять послуги) відповідно до державних стандартів з попередніми вимогами на перспективу, що випереджають можливості традиційних технологій.

Загальна характеристика стандартів різних видів

залежно від призначення й змісту розробляються стандарти наступних видів:

- основоположні;
- на продукцію й послуги;
- на роботи (процеси);
- на методи контролю.

Основний стандарт – це нормативний документ, що має широку область поширення. Основний стандарт у широкому змісті має об'єкти міжгалузевого значення: система державної стандартизації, система конструкторської документації, одиниці вимірювання, надійність й ін. Основний стандарт у вузькому змісті -

стандарт, що визначає загальні положення в «ланцюжку» стандартів конкретної системи (наприклад, «Статистичні методи. Основні положення», «Система нормативних документів у будівництві. Основні положення»).

Основоположні організаційно-методичні стандарти встановлюють загальні організаційно-технічні положення по проведенню робіт у певній області.

Основоположні загально-технічні стандарти встановлюють науково-технічні терміни, багаторазово використовувані в науці, техніці, виробництві; умовні позначки різних об'єктів стандартизації: коди, мітки, символи; вимоги до побудови, викладу, оформленню й змісту різних видів документації; загально-технічні величини, вимоги й норми, необхідні для технічного забезпечення виробничих процесів.

Стандарти на продукцію (послугу) встановлюють вимоги до груп однорідної продукції (послуги) або конкретної продукції (послуги).

На продукцію (послугу) розробляють наступні основні різновиди стандартів: стандарт загальних технічних умов; стандарт технічних умов. У першому випадку стандарт містить загальні вимоги до груп однорідної продукції, у другому - до конкретної продукції. Зазначені стандарти в загальному випадку включають наступні розділи: класифікація, основні параметри й (або) розміри; загальні технічні вимоги; правила приймання; маркування, упакування, транспортування, зберігання. По групах однорідної продукції можуть розроблятися стандарти вузького призначення: стандарти правил маркування, пакування, транспортування й зберігання.

Стандарти на роботи (процеси) установлюють вимоги до виконання різного роду робіт на окремих етапах життєвого циклу продукції (послуги) – розробка, виготовлення, зберігання, транспортування, експлуатація, утилізація для забезпечення їхньої технічної єдності й оптимальності. Стандарти на роботи (процеси) повинні містити вимоги безпеки для життя й здоров'я населення й охорони навколишнього середовища при проведенні технологічних операцій.

На сучасному етапі великого значення набувають стандарти на управлінські процеси в рамках систем забезпечення якості продукції (послуг) - керування документацією, закупівлями продукції, підготовкою кадрів й ін.

Стандарти на методи контролю (випробувань, вимірювань, аналізу) повинні в першу чергу забезпечувати всебічну перевірку всіх обов'язкових вимог до якості продукції (послугу). Установлювані в стандартах методи контролю повинні бути об'єктивними, точними й забезпечувати відтворені результати. Виконання цих умов у значній мірі залежить від наявності в стандарті відомостей про похибки вимірювань.

Для кожного методу залежно від специфіки його проведення встановлюють:

- засоби випробувань і допоміжні пристрої;
- порядок підготовки до проведення випробувань;
- порядок проведення випробувань;
- правила обробки результатів випробувань;
- правила оформлення результатів випробувань.

Стандарти можуть бути вузького призначення - перевірка одного показника якості або широкого призначення - перевірка комплексу показників.

7.4. Національна система стандартів в Україні

Робота зі стандартизації в Україні реалізується Декретом Кабінету Міністрів «Про стандартизацію й сертифікацію» і комплексом стандартів державної системи стандартизації, перші стандарти якого введені в дію в 1993 році. Державні стандарти на території України використовують всі підприємства незалежно від форм власності й підпорядкованості, міністерства (відомства), органи державної виконавчої влади, на діяльність яких поширюється їхня дія.

Продукція підприємств України або громадян-суб'єктів підприємницької діяльності не повинна реалізовуватися, якщо не відповідає обов'язковим вимогам, передбаченим стандартами або технічними умовами. Продукція, що імпортується, повинна відповідати обов'язковим вимогам державних або галузевих стандартів України по безпеці й охороні навколишнього середовища.

Державна система стандартів в Україні містить наступні найбільш важливі складові:

- *Національна система стандартизації* визначає мету й принципи керування, форми й загальні організаційно-технічні принципи всіх видів робіт зі стандартизації. Ця група стандартів перед номером стандарту має цифру 1.

- *Єдина система конструкторської документації (ЄСКД)* - це система постійно діючих технічних і організаційних вимог, які забезпечують взаємний обмін конструкторської документації між галузями промисловості й окремих підприємств, розширення уніфікації продукції, спрощення форми документів і скорочення її номенклатури, а також єдність графічних зображень.

Система ЄСКД повинна забезпечувати механізовану й автоматизовану розробку документів і готовності промисловості до організації виробництва якого-небудь виробу на якомусь

підприємстві в найкоротший термін.

Стандарти системи ЄСКД позначаються перед номером стандарту цифрою 2.

- *Єдина система технологічної документації (ЄСТД)* встановлює обов'язковий порядок розробки, оформлення й заощадження всіх видів технологічної документації на машино- і приладобудівних підприємствах країни для виготовлення, транспортування, монтажу й ремонту виробів цих підприємств. На підставі технологічної документації здійснюють планування, підготовку й організацію виробництва, установлюють зв'язки між відділами й цехами підприємства, а також між виконавцями (конструктором, технологом, робітником і т.п.).

Стандарти системи ЄСТД позначаються перед номером стандарту цифрою 3.

- *Державна система забезпечення єдності вимірювань (ДСВ)* визначає вірогідність і порівнянність вимірювань. Ця система відіграє особливу роль. У сучасній промисловості витрати праці на виконання вимірювань становить більше 10% загальних витрат праці на всіх стадіях створення й експлуатації, а в окремих галузях промисловості вони досягають 50- 60% (наприклад у радіоелектроніці).

Стандарти системи ДСВ позначаються номером стандарту цифрою 8.

- *Система стандартів безпеки праці (ССБП)* установлює єдині правила й норми, які стосуються безпеки людини в процесі праці.

Стандарти системи ССБП позначаються перед номером стандарту цифрою 12.

- *Єдина система технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ)* - це комплекс міждержавних і галузевих систем технологічної підготовки виробництва, при виконанні вимог яких створюються умови для скорочення строків підготовки виробництва,

освоєння й випуску продукції заданої якості, забезпечується висока гнучкість виробництва й значна економія трудових, матеріальних і фінансових ресурсів.

Стандарти системи ЄСТПВ позначаються перед номером стандарту цифрою 14.

- Система розробки й постановки продукції на виробництво (СРПП) регламентує порядок робіт зі створення, виробництва й використання продукції, установлених відповідними стандартами.

Стандарти системи СРПП позначаються перед номером стандарту цифрою 15.

Державний нагляд за введенням і використанням стандартів виконує Держспоживстандарт України, а також інші спеціально уповноважені для цього органи. Об'єктами державного нагляду є:

- продукція виробничо-технічного призначення; товари народного споживання; продукція тваринництва й рослинництва; продукти харчування, у тому числі й продукція, що пройшла сертифікацію;

- продукція імпортна - на відповідність діючим в Україні стандартам, нормам і правилам щодо безпеки для життя, здоров'я й стану людей і навколишнього середовища;

- продукція експортна - на відповідність стандартам, нормам, правилам або окремим вимогам, які обумовлені договорами (контрактом);

- атестовані виробництва - на відповідність вимогам щодо сертифікації продукції.

Контроль якості продукції і її відповідність вимогам стандартів виконують у такому порядку:

- відбираються контрольні проби із числа тих, що були прийняті відділом технічного контролю;

- проводять випробування відібраних виробів за всіма

показниками відповідно до діючих стандартів;

- у цехах перевіряється виконання режимів технологічних процесів, стан пристосувань для вимірювань, робота відділу технічного контролю;

- перевіряється виконання стандартів на матеріали й комплектуючі напівфабрикати, які отримані від суміжників.

При порушенні вимог стандартів органи держконтролю:

- дають вказівка на усунення виявлених недоліків;
- забороняють відвантаження недоброякісної продукції;
- у необхідних випадках порушують питання залучення до адміністративної й судової відповідальності персон, які винуваті у випуску недоброякісної продукції.

Порядок розробки стандартів (нормативних документів)

Нормативні документи розробляють відповідно до основних принципів державної політики у сфері стандартизації, завдань та об'єктів стандартизації згідно ДСТУ 1.0.

З метою організаційної єдності й створення умов для своєчасної підготовки до застосування стандартів передбачаються наступні етапи розробки:

- організація розроблення нормативних документів;
- розроблення першої редакції проекту;
- розроблення другої редакції проекту;
- розроблення остаточної редакції проекту та підготовки справи нормативних документів;
- державна експертиза проекту;
- прийняття та надання чинності нормативним документам;
- державна реєстрація та видання нормативних документів.

В обґрунтованих випадках дозволено перші чотири етапи об'єднувати.

Нормативні документи доцільно перевіряти регулярно: через п'ять років після розроблення, перегляду чи останнього перевірчення, якщо не виникає потреби перевірити його раніше.

Нормативні документи перевіряють на відповідність їх чинному законодавству України, потребами споживачів і держави, обороноздатності, рівневі розвитку науки й техніки, досягнутому на момент перевіряння нормативних документів, та для визначення ступеня їх гармонізації з міжнародними, регіональними стандартами та іншими документами у сфері стандартизації а також національними стандартами розвинених країн та узгодженості з чинними нормативними документами тієї самої сфери застосування.

За результатами перевірчення нормативних документів готують висновок, який повинен містити одну із обґрунтованих позицій:

- застосовувати нормативні документи далі, не переглядаючи;
- переглянути;
- скасувати;
- розробити зміни.

Переглядають, щоб установити в нормативних документах нові, прогресивніші положення за результатами перевірчення:

- у разі виникнення його невідповідності чинним технічним регламентам чи законодавству;
- якщо опубліковано нову версію міжнародного чи регіонального документа, прийнятого національним нормативним документом чи з яким його гармонізовано;
- за результатами перевірчення.

Переглядання нормативних документів полягає в розробленні нового нормативного документу. У цьому разі переглянутий нормативний документ скасовують, а в новому – зазначають, замість якого нормативного документу його розроблено і змінюють рік його прийняття.

Якщо регламентовану нормативним документом продукцію більше не випускають (процес – не використовують, послугу – не надають), розроблено замість нього інший нормативний документ, або нормативний документ втратив актуальність, а також в інших обґрунтованих випадках.

Нормативні документи скасовують наказом Держспоживстандарту України чи Держбуду України.

За потреби документ скасовують частково:

- якщо нормативний документ стосується групи продукції і не виробляють більше окремих видів цієї групи;

- якщо надають чинності нормативному документу, який замінює частину положень чинного нормативного документу.

У разі часткового скасування нормативного документу уточнюють, за потреби, його сферу застосування.

Зміни до нормативного документу розробляють, якщо є потреба змінити чи вилучити певні положення нормативного документу або внести нові положення, зокрема, відстежуючи зміни законодавства та технічних регламентів.

Одночасно з проектом зміни до нормативного документу готують пропозиції щодо змін взаємопов'язаних нормативних документів.

До нормативного документу, розробленого на основі міжнародного, регіонального стандарту чи національного стандарту іншої країни, зміну розробляють тоді коли до міжнародного, регіонального чи національного стандарту іншої країни внесено зміни.

Зміну до нормативного документу на продукцію (процеси, послуги) розробляють, якщо є потреба доповнити його новими положеннями або нормами, які не призведуть до порушення вимог безпеки, охорони природного довкілля, сумісності і взаємозамінності

продукції (процесів, послуг) з тією, яку виготовлено згідно з чинним нормативним документом.

Обсяг зміни не повинен перевищувати 20% від обсягу документа. Якщо обсяг пропонованої зміни перевищить 20% від обсягу тексту документа, то його треба переглянути або перевидати, урахувавши цю зміну.

Усі національні нормативні документи України приймають наказами Держспоживстандарту України, який видає наказ щодо прийняття чи вертає на доопрацювання або скасування чинності в Україні, якщо вони суперечать уведеному нормативному документу або втратили актуальність.

Державний контроль і нагляд за дотриманням вимог державних стандартів

Державний контроль і нагляд здійснюється за дотриманням суб'єктами господарської діяльності тільки обов'язкових вимог державних стандартів. Об'єктами державного контролю є продукція, у тому числі імпортна, послуги, технологічна документація, технологічні процеси.

На відміну від контролю нагляд здійснюється відносно об'єктів, що не перебувають у відомчому підпорядкуванні органам, які його здійснюють. Наприклад, посадові особи Держспоживстандарту можуть здійснювати нагляд у межах своєї компетенції на будь-якому промисловому підприємстві або підприємстві сфери послуг. Це ж стосується інших державних органів, яким дане право адміністративного нагляду в певній області діяльності, - комітетів, інспекцій в області екології, протипожежної безпеки, охорони праці, санітарно-епідеміологічної обстановки на окремій території, промисловості, повітряних, морських і річкових суден, архітектури й будівництва, торгівлі, ветеринарії і ін.

Держспоживстандарт України у відповідності зі своїм статусом здійснює контроль і нагляд у всіх областях діяльності, де застосовуються затверджені ним державні стандарти, що містять обов'язкові вимоги. Безпосереднє здійснення контролю й нагляду від імені Держспоживстандарту проводиться його посадовими особами - державними інспекторами по нагляду за державними стандартами.

У випадку виявлення порушень обов'язкових вимог державних стандартів здійснюється акт перевірки встановленої форми, що є підставою для видачі приписів і винесення постанов про накладення штрафів.

Основна форма державного контролю й нагляду - вибіркова перевірка, у процесі якої здійснюється технічний огляд, ідентифікація, випробування й інші процедури, що забезпечують вірогідність і об'єктивність результатів.

7.5. Стандартизація в провідних закордонних країнах

Стандартизація в Російській Федерації

Державна система стандартизації Російської Федерації почала формуватися в 1922 році. Основою державної системи стандартів є фонд законів, підзаконних актів, нормативних документів по стандартизації. Зазначений фонд представляє чотирьохрівневу систему:

- Технічне законодавство;
- Державні стандарти, загальноросійські класифікатори техніко-економічної інформації;
- Стандарти галузі й стандарти науково-технічних й інженерних товариств;
- Стандарти підприємств і технічні умови.

Технічне законодавство є правовою основою державної системи стандартів. Воно представляє сукупність законів Російської

Федерації, підзаконних актів по стандартизації (постанов Уряду РФ, наказів федеральних органів виконавчої влади), застосовуваних для державного регулювання якості продукції, робіт і послуг. У перспективі технічне законодавство буде інтенсивно поповнюватися законодавчими й підзаконними актами, що встановлюють вимоги до груп однорідної продукції й послуг з метою забезпечення їхньої безпеки для людей і навколишнього середовища.

Нормативні документи 2 рівня представлені:

- державними стандартами Російської Федерації;
- міждержавними стандартами (ГОСТ), введеними в дію постановою Держспоживстандарту Росії як державні стандарти Російської Федерації;
- державними стандартами колишнього СРСР (ГОСТ);
- правилами, нормами й рекомендаціями зі стандартизації;
- загальноросійськими класифікаторами техніко-економічної й соціальної інформації.

Нормативні документи 3 рівня представлені стандартами, сфера застосування яких обмежена певною галуззю народного господарства - галузевими стандартами (ГСТ) або сферою діяльності - стандартами науково-технічних і інженерних товариств (СТТ).

Нормативні документи 4 рівня представлені нормативними документами, сфера дії яких обмежена рамками організацій (підприємства) - стандартами підприємств (СТП) і технічними умовами (ТУ).

Технічні умови (ТУ) можуть виступати в ролі технічних і нормативних документів, до яких відносяться ті ТУ, на які робляться посилання в договорах на продукцію, що поставляється.

Нижче приводиться загальна характеристика стандартів Росії різних категорій.

Державний стандарт Російської Федерації (ДСТ-Р) – стандарт,

прийнятий Державним комітетом Російської Федерації по стандартах і метрології (Держспоживстандартом Росії).

До об'єктів державних стандартів РФ відносять:

-організаційно-методичні і загально-технічні об'єкти міжгалузевого застосування;

- продукція, роботи і послуги, що мають міжгалузеве значення.

При стандартизації організаційно-методичних і загально-технічних об'єктів установлюються положення, що забезпечують технічну єдність при розробці, виробництві, експлуатації продукції й наданні послуг, наприклад, організація робіт зі стандартизації, сертифікації; розробка й постановка продукції на виробництво; правила управління технічною, управлінською, інформаційно-бібліографічною документацією; загальні правила забезпечення якості продукції; типорозмірні ряди й типові конструкції; класифікація й кодування техніко-економічної інформації; метрологічні й інші загально-технічні правила й норми.

При стандартизації продукції (послуг) у державні стандарти включають обов'язкові вимоги до якості продукції (послуг), що забезпечують безпеку для життя, здоров'я й майна споживача; охорону навколишнього середовища, сумісність і взаємозамінність; методи контролю відповідності обов'язковим вимогам; метод маркування як засіб інформації про виконання обов'язкових вимог і правил безпечного використання продукції.

Позначення державного стандарту складається з індексу, реєстраційного номера й відділених тирі двох останніх цифр року прийняття.

Державні стандарти застосовують федеральні органи виконавчої влади й суб'єкти господарської діяльності в таких напрямках:

- на всіх стадіях життєвого циклу продукції (від розробки до використання й утилізації);

- при виконанні робіт і послуг;
- при розробці технічної документації.

Застосування державних стандартів - це насамперед реалізація обов'язкових вимог, що містяться в них. Відповідно до Закону РФ «Про стандартизацію» замовник і виконавець зобов'язані включати в договір умову про відповідність продукції (робіт, послуг) обов'язковими вимогами стандартів.

Стандарти галузей (ГСТ) можуть розроблятися й прийматися державними органами управління в межах їхньої компетенції стосовно до продукції, роботам і послугам галузевого значення.

Стандарти галузей (як і державні стандарти) розробляють на два об'єкти: організаційно-технічні й загально-технічні об'єкти.

Прикладами організаційно-технічних і загально-технічних об'єктів є: організація робіт з галузевої стандартизації; організація робіт з метрологічного забезпечення в галузі; типорозмірні ряди і типові конструкції виробів галузевого застосування.

Позначення стандарту галузі складається з індексу (ГСТ), умовної позначки міністерства (відомства), реєстраційного номера і відділених тире двох останніх цифр року ствердження стандарту.

Стандарти науково-технічних, інженерних товариств і інших громадських об'єднань (СТТ). Об'єктами СТТ є:

- принципово нові види продукції й послуг;
- нові методи випробувань;
- нетрадиційні технології розробки, виготовлення й зберігання і нові принципи організації й керування виробництвом;
- інші види діяльності.

Розробка принципово нових видів продукції (послуг), нетрадиційних технологій, методів випробувань - це результат науково-дослідних робіт. Раніше розробку цих стандартів організовували галузеві міністерства. Зараз, при відсутності

більшості галузевих промислових міністерств, цю функцію виконують науково-технічні інженерні товариства, що поєднують учених і практиків певної галузі науки й техніки. Наприклад, якщо необхідно встановлювати стандарти на нові види продукції з області металургії, то це завдання будуть вирішувати фахівці Російського науково-технічного союзу металургів, аналогічні завдання в області хімії будуть вирішувати фахівці з Російського товариства ім. Д.И.Менделєєва.

СТТ підлягає узгодженню з відповідними наглядовими органами, якщо встановлювані в них положення торкаються безпеки людей, майна і навколишнього середовища.

Вимоги СТТ не повинні бути нижче рівня обов'язкових вимог державних стандартів.

Стандарти підприємств (СТП) розробляються об'єктами господарської діяльності в наступних випадках:

- для забезпечення застосування на підприємстві державних стандартів, стандартів галузей і стандартів інших категорій;
- на створювані й застосовувані на даному підприємстві продукцію, процеси й послуги(складові частини продукції, інструмент, технологічні процеси й т.п.);
- СТП затверджує керівник підприємства (об'єднання підприємств). СТП обов'язковий для розроблювачів даного підприємства і є локальним нормативним актом.

Таким чином, основне призначення СТП - рішення внутрішніх завдань і цей стандарт є основним нормативним документом у діючих на підприємствах системах забезпечення якості продукції (послуг).

Стандартизація в Німеччині

В 1917 р. був створений Комітет нормалей для загального

машинобудування, що вважається датою виникнення національної системи стандартизації в Німеччині. Комітет двічі міняв назву: в 1926р. - Німецький комітет стандартів й в 1975 р. -Німецький інститут стандартизації (DIN).

Після приєднання було ухвалене рішення розробляти єдині нормативні документи об'єднаної Німеччини, які повинні відповідати міжнародним і європейським стандартам. З цього року Німецький інститут стандартизації став національною організацією по стандартизації Німеччини і єдиним повноважним представником країни в міжнародні (ISO) і європейських (EN і CEN) організаціях по стандартизації.

Принципи діяльності німецької національної організації по стандартизації визначає основний стандарт DIN 820. Головні принципи цієї діяльності знайшли своє вираження в наступних формулюваннях:

- *добровільність*, що забезпечується правом будь-якої особи брати участь у створенні стандарту, а також рекомендаційним характером нормативних документів;
- *гласність*, що реалізується публікацією всіх проектів стандартів і прийняттям до уваги кожного критичного зауваження;
- *участь всіх зацікавлених сторін* і рівноправність всіх юридичних осіб, що беруть участь у стандартизації;
- *єдність і несуперечність*, що виражаються у встановленні правил і процедур, що забезпечують єдність всієї системи стандартизації, і в обов'язковій перевірці знову прийнятих стандартів на їхню сумісність із діючими нормативними документами;
- *конкретність*, що полягає в обов'язковій відповідності стандарту сучасному науково-технічному рівню;

- *орієнтованість на загальну вигоду*, що визначається правилом: користь для всієї країни превалює над вигодою окремої сторони;
- *орієнтованість на економічні реальності*, що складається в тім, що в стандарт закладаються тільки абсолютно необхідні вимоги, тому що стандартизація - не самоціль;
- *міжнародний характер стандартизації* — діяльність DIN спрямована на усунення технічних бар'єрів у торгівлі й створення єдиного ринку в Європі, на застосування міжнародних і європейських стандартів.

Робочі органи - комітети DIN, які не тільки розробляють національні стандарти, але й забезпечують роботу німецької частини технічних комітетів на міжнародному і європейському рівнях.

Національною стандартизацією в Німеччині охоплені наступні галузі: будівництво, електротехніка, хімічні виробництва, точна механіка й оптика, фотографія й кінематографія, документація й діловодство, охорона здоров'я, атомна техніка, сільське господарство, виробництво фарб, машинобудування й суднобудування, авіація, спорт і дозвілля, годинна, ювелірна й зуболікарська справа, водне господарство й каналізація і деякі інші. Особливе місце приділяється стандартизації в області забезпечення безпеки товарів і послуг, захисту навколишнього середовища й створенню основних стандартів.

Дочірні організації DIN - видавництво «Бойт», суспільство DIN «Програмне забезпечення», Видавництво нормативних документів, Німецьке товариство по інформації й продукції, Німецьке товариство по сертифікації систем забезпечення якості, Німецьке товариство по маркуванню продукції.

Між інститутом і урядом укладене угода, відповідно до якої DIN зобов'язується діяти в інтересах усього суспільства і вносити вклад в

усунення технічних бар'єрів у торгівлі, а також в охорону праці, захист споживачів і навколишнього середовища. Так, після прийняття Закону про безпеку технічних пристроїв (1980 р.) значне число національних стандартів, прийнятих DIN у рамках договору про співробітництво з урядом й у розвиток даного закону, стало обов'язковим як для німецьких виготовлювачів, так і імпортерів промислової продукції. Коли ж набув чинності Закон про охорону навколишнього середовища (1980 р.), стандарти на вимоги до чистоти води, атмосфери й припустимому рівню шуму перетворилися в обов'язкові юридичні норми. Стандарти в області охорони здоров'я населення стали обов'язковими на підставі Закону про продукти й товари масового споживання.

Крупні німецькі фірми виділяють на стандартизацію 0,24 % щорічного валового обороту, середні - 0,17 %. У той же час із обліком прибутку великих і середніх фірм від вкладень у стандартизацію ефективність стандартизації у ФРН, по підрахунках німецьких фахівців, становить від 300 до 500 % на вкладений капітал.

Крім стандартизації, DIN займається питаннями сертифікації відповідності продукції. Ця область діяльності інституту пов'язана з Німецьким суспільством по маркуванню продукції (DQWK), що створено за рішенням Президії DIN і займається організацією, керуванням і наглядом за системами сертифікації продукції на відповідність вимогам стандартів DIN (або міжнародних).

У міжнародних організаціях з питань стандартизації (ISO/IEC) і європейських (CEN) фахівці DIN ведуть понад чверть секретаріатів технічних комітетів. Питаннями сертифікації в цих організаціях з Німецької сторони займається Німецька рада по сертифікації (DINZERT), створений Президією DIN. В обов'язки цього органа, крім роботи в міжнародних організаціях, входить також координація діяльності по сертифікації, контролю й оцінкам продукції,

сертифікація систем забезпечення якості в країні. В DINZERT створений банк даних про служби сертифікації й сертифікованої продукції з метою обміну інформації.

Діяльність DIN по інформаційному забезпеченню ведеться на базі фонду стандартів, що нараховує більше 30 тис. стандартів і проектів стандартів. Щорічне видання DIN - Каталог технічних правил, що містить інформацію про національні стандарти, проекти стандартів, нормативних документах інших організацій, а також всі закони, що стосуються технічного законодавства. Велику роль в інформаційному забезпеченні грає Інформаційний центр технічних правил (DITR), що входить у міжнародну інформаційну мережу ISONET і виконує функції інформаційного центра ВТО в Німеччині відповідно до кодексу ГАТТ/ВТО по стандартизації.

Таким чином, національні німецькі стандарти носять рекомендаційний характер і розглядаються як «загальновизнані правила техніки». У сфері виробництва застосування стандартів уважається мірою бездоганного технічного поведіння. Обов'язковий характер національний стандарт здобуває, якщо він поширюється на таку сферу, де діють федеральні законодавчі норми.

Стандартизація у Великобританії

Британський інститут стандартів (*BSI*) був створений в 1901 р. з ініціативи товариств інженерів-механіків, інженерів-суднобудівників, інженерів-електриків й інженерів-металургів. Основні функції BSI - координація діяльності по розробці стандартів на основі угоди між всіма зацікавленими сторонами й прийняття стандартів. Вищий виконавчий орган BSI - Керуюча рада, підзвітна Генеральній конференції, керує роботою інституту й контролює всі напрямки діяльності (через підлеглий йому Фінансовий комітет). До складу BSI входять колективні й індивідуальні члени (понад 15 тис. фірм,

організацій і окремих осіб), зацікавлені в участі в роботах по стандартизації й застосуванні стандартів.

Безпосередньо розробляють національні стандарти основні робочі органи BSI - технічні комітети (їх близько 3,5 тис.). Курирують цю роботу комітети зі стандартизації, вони в свою чергу підлягають галузевим радам по стандартизації. Головне завдання галузевих рад - представляти інтереси виготовлювачів, споживачів і всіх інших зацікавлених осіб у конкретній області.

Загальна кількість діючих національних стандартів досягає 20 тисяч. Інформаційним забезпеченням стандартизації й поширенням інформації про стандарти займається центральна довідкова служба, що має автоматизовану систему інформації «Standard-line». Система організована з урахуванням участі BSI у діяльності ISO і є складовою частиною ISONET. Інформаційна служба BSI має центральний доступ до банків даних інших країн і є абонентом 50 національних інформаційних систем. У свою чергу абонентами «Standard-line» є більш 30 країн світу.

BSI представляє Великобританію в міжнародних організаціях по стандартизації й приймає рішення про використання міжнародних стандартів у країні. В ISO BSI веде стандарти 111 технічних комітетів і підкомітетів, у IEC - 26 технічних комітетів і підкомітетів, у CEN - 29. Один з важливих напрямків діяльності BSI - участь у роботах по єдиному ринку Європи, для чого в структурі інституту створені 10 підрозділів. При підготовці проектів національних стандартів у максимальній мірі враховуються вимоги нормативних документів, прийнятих цими організаціями.

Близько 25 % національних британських стандартів являють собою прийняті методом обкладинки міжнародні стандарти. Приблизно 70 % розроблювальних проектів стандартів ведеться відповідно до напрямків міжнародної стандартизації. Більше 16 %

стандартів являють собою часткове прийняття міжнародних.

Крім стандартизації, BSI очолює роботи з управління якістю і по сертифікації. Питаннями якості й сертифікації керує Рада по забезпеченню якості, що підкоряється Керуючій раді. BSI має великий іспитовий центр, що проводить випробування серійної продукції широкого діапазону. Випробування здійснюються як на відповідність вимогам безпеки, так і на відповідність продукції національним стандартам. Центр BSI вважається одним з самих авторитетних у світі, і практично всі країни визнають його сертифікати відповідності без повторних випробувань.

Стабільність якості сертифікованої продукції контролюється шляхом регулярних перевірок діючої у виготовлювача системи забезпечення якості на її відповідність міжнародним стандартам ISO серії 9000 (або BS 5750 «Системи якості»).

BSI видає довідник, куди включаються відомості про фірми, продукція яких відповідає національним стандартам - «Регістр фірм, що випускають і продають продукцію високої якості». Число таких фірм перевищує п'ять тисяч.

Стандартизація у Франції

Національною організацією по стандартизації у Франції є Французька асоціація по стандартизації (*AFNOR*), на яку покладені наступні функції: організація, керівництво й координація діяльності по стандартизації; аналіз вступних заявок на стандарти й визначення потреби в нових стандартах; розробка й прийняття національних стандартів; контроль за їхнім впровадженням; пропаганда й продаж стандартів; керування діяльністю по маркуванню продукції знаком відповідності національному стандарту ВІД; навчання, підготовка й перепідготовка фахівців; подання Франції в міжнародних організаціях по стандартизації й ін.

Початком національної стандартизації у Франції прийнято вважати 1918 р., коли урядовим декретом була створена Постійна комісія зі стандартизації, що направила свої зусилля на уніфікацію типів виробів машинобудівних галузей. Останні великі зміни в національній французькій стандартизації відбулися в 1991 р. Їх викликала необхідність адаптації до змін, що відбуваються у міжнародній й, насамперед європейській системах стандартизації, пов'язаним зі створенням об'єднаної Європи. Були сформульовані основні завдання на найближчі роки: активізація участі в стандартизації дрібних і середніх підприємств і стимулювання їх податковими пільгами; спрощення процедур національної системи стандартизації й посилення координації цієї роботи; розширення участі французьких фахівців у європейській стандартизації й ін. На чолі AFNOR стоїть Адміністративна рада, постійними членами якої є представники міністерств. Адміністративною радою вибираються президент і віце-президент асоціації (бюро Адміністративної ради).

У національній системі стандартизації Франції під методичним керівництвом AFNOR діють галузеві бюро по стандартизації (їх більше 30). Галузеві бюро виконують основне навантаження по стандартизації в галузі. Проте, далеко не всі галузі мають бюро по стандартизації. Якщо подібне галузеве міністерство ухвалює рішення щодо проведенні робіт зі стандартизації, то AFNOR створює спеціалізовану комісію із представників промислових підприємств, науково-дослідних і технічних центрів, споживчі товариств.

Зацікавлені державні, суспільні й частки організації можуть стати колективними членами AFNOR. Проблемним моментом у роботі AFNOR вважається досить слабка участь французьких фірм. З більш як 30 тис. національних фірм її членами є лише близько 6 тис. Публікуються також довідники, керівництва, інструкції, щорічно виходить у світ зведений Показчик французьких стандартів,

щомісяця журнал із проблем стандартизації «Enjeux». У журналі публікуються матеріали про проблеми французької й міжнародної стандартизації, відомості про перегляд і скасування стандартів, про проекти нових нормативних документів як національних, так і загальноєвропейських.

При AFNOR створений інформаційний і виставочний центр «Espace», що надає консультації фахівців і велику інформацію з будь-яких питань стандартизації. Інформаційний підрозділ AFNOR володіє декількома банками даних, найбільш популярним з них визнаний NORIANE, що включає більше 45 тис. довідок по національних, міжнародних і закордонних стандартах і технічних регламентах.

Крім стандартизації, французька національна асоціація займається проблемами сертифікації, надаючи фірмам і підприємствам послуги із сертифікації продукції й систем забезпечення якості. Служба сертифікації складається із трьох підрозділів, в обов'язки яких входять: сертифікація продукції й присвоєння їй знаку відповідності французькому стандарту; оцінка систем забезпечення якості на підприємствах і видача їм належного свідоцтва; сертифікація інформаційних технологій. Система сертифікації на відповідність національним стандартам є сертифікацією третьою стороною, роль якої виконує AFNOR. Про масштаби сертифікації говорить той факт, що більше 110 тис. найменувань продукції маркіровані французьким знаком відповідності.

У зв'язку із посиленням глобалізації *екологічних* проблем AFNOR вважає за необхідне активізувати діяльність на міжнародному рівні: у СЕН французькі фахівці очолюють робочу групу «Відходи», в ISO - беруть участь у роботі комітету «Охорона й раціональне використання навколишнього середовища». По цих напрямках реалізуються програми, розраховані як на національні

проблеми, так і на європейські: «Відходи», «Якість повітря», «Якість ґрунту». У рамках зазначених програм створюються нормативні документи, що стосуються різних етапів життєвого циклу продукції. На базі розроблених норм експерти готують технічні умови на ті види продукції, які ще не пройшли екологічний контроль на право маркування знаком відповідності «NF Environment».

Посилення впливу національної стандартизації спостерігається в області інформаційних технологій: AFNOR одночасно представлена в Європейському інституті по стандартизації в області телекомунікацій (ETSI) і комітеті ISO/IEC «Інформаційні технології». Це дає можливість, з одного боку, впливати на політику стандартизації в цій області, а з іншого боку - більш ефективно здійснювати гармонізацію національних і міжнародних стандартів. Конкретна мета національного аспекту цієї діяльності - установа відповідності інформаційних технологій нормам французьких стандартів і присвоєння знака NFТІ. Найближчим часом AFNOR планує прискорити стандартизацію інформаційних технологій у наступних областях: засоби масової інформації, цивільне будівництво, офісне документування.

Загальною умовою для всіх напрямків стандартизації французька національна організація вважає доцільність підтримки необхідних ділових зв'язків зі споживачами нормативних документів - представниками промисловості всіх секторів економіки. На практиці це реалізується в першу чергу через їхню участь у діяльності технічних комітетів, у підготовці проектів стандартів.

Стандартизація в США

Національним органом по стандартизації в США є Американський національний інститут стандартів і технологій (NIST). NIST - неурядова некомерційна організація, що координує роботи з

добровільної стандартизації в приватному секторі економіки, що керує діяльністю організацій - розроблювачів стандартів, що приймає рішення про додання стандарту статусу національного (якщо в ньому зацікавлені різні фірми, і стандарт здобуває міжгалузевий характер). NIST не розробляє стандарти, але є єдиною організацією в США, що приймає (стверджуючи) національні стандарти. Це відповідає основному завданню NIST - сприяння рішенню проблем, що мають загальнодержавне значення (економія енергоресурсів, захист навколишнього середовища, забезпечення безпеки життя людей і умов виробництва). На сьогоднішній день членами NIST є більше 1200 фірм, понад 250 виробничих і торговельні компаній, науково-технічних і інженерних товариств.

Програмно-цільове планування інституту охоплює виробництво й транспортування палива, постачання електроенергії, застосування ядерного, сонячного та інших видів енергії. Значно менше уваги приділяється розробці стандартів на готову продукцію, оскільки в цій області діють фірмові нормативні документи.

Національні (федеральні) стандарти містять обов'язкові для виконання вимоги, що стосуються в основному аспектів безпеки. Поряд з обов'язковими федеральними стандартами в США діють технічні регламенти, затверджені органами державного управління - Міністерством торгівлі, Міністерством оборони, Керуванням служб загального призначення, Федеральним агентством по охороні навколишнього середовища, Федеральним агентством по охороні праці й здоров'я на виробництві, Федеральним керуванням по безпеці харчових продуктів і медикаментів, Комісією з безпеки споживчих товарів і деякими іншими.

Самі перераховані вище органи керування нерідко беруть участь у розробці фірмових стандартів і враховують наявність таких при плануванні створення федерального стандарту. Нерідкі випадки, коли

фірмовий стандарт, задовольняючи їхнім вимогам, приймається як федеральний.

Розробляють федеральні стандарти авторитетні організації, акредитовані Американським національним інститутом стандартів. Найбільш відомі з них: Американське товариство по випробуваннях і матеріалам (ASTM); Американське товариство по контролі якості (ASQC); Американське товариство інженерів-механіків (ASME); Об'єднання іспитових лабораторій страхових компаній, товариство інженерів-автомобілебудівників (SAE), Інститут інженерів по електротехніці й електроніці (IEEE) і ін. Ці організації розробляють не тільки федеральні обов'язкові стандарти, але й стандарти, що носять добровільний характер. У США розробкою добровільних стандартів займається більше 400 різних організацій і фірм, а добровільних стандартів налічується більше 35 тисяч.

Очолює інститут Рада директорів. Його функції: вибори президента строком на один рік, трьох віце-президентів, виконавчого віце-президента й виконавчий комітет. Останній управляє інститутом у період між засіданнями Ради директорів і контролює виконання бюджету. Рада директорів планує роботу інституту, розробляє пріоритетні напрямки стандартизації. Раді директорів підкоряються: Рада організацій-членів, Рада компаній-членів і Рада по захисту інтересів споживачів.

Крім трьох рад, у складі NIST є комітети при Раді директорів, що координують різні сторони діяльності інституту, а також велике число постійних робочих органів.

Стандартизація в Японії

Національна організація по стандартизації Японії - Японський комітет промислових стандартів (JISC) - заснована в 1949 р. Це консультативний орган при Міністерстві зовнішньої торгівлі й

промисловості, підлеглий Управлінню науки й техніки, що затверджує плани робіт JISC, а відділ стандартизації цього управління власне кажучи виконує роль секретаріату JISC. До складу JISC входять: Рада по стандартизації, ради галузевих відділень і технічні комітети. Ради галузевих відділень і технічні комітети (їх кілька сотень) розробляють стандарти для основних галузей промисловості й будівництва. Члени всіх рад і технічних комітетів призначаються Міністром зовнішньої торгівлі й промисловості. Президент і віце-президент обираються Генеральною конференцією один раз у два роки. Діяльність JISC фінансується урядом.

Відповідно до Закону про стандартизацію в Японії діють національні промислові стандарти, галузеві стандарти промислових асоціацій і фірмові стандарти.

Національні промислові стандарти носять добровільний характер для галузей видобувної й обробної промисловості. Але стандарти на медичні препарати, засоби захисту сільськогосподарських культур і мінеральних добрив обов'язкові. Національні промислові стандарти затверджуються міністрами галузей, які на це уповноважені Законом про стандартизацію. Національні промислові стандарти переглядають один раз у три роки.

Галузеві стандарти промислових асоціацій являють собою, як правило, деталізацію національних стандартів.

Фірмові стандарти розробляють на основі національних і галузевих, але, як правило, вимоги фірмових стандартів відрізняються від національних внаслідок виробничих можливостей фірми, її прагнення задовольнити потреби певних кіл споживачів (наприклад, цільового сегмента), орієнтації на конкурентів й ін. Роботу зі стандартизації на фірмах ведуть відділи стандартизації

На підставі Закону про промислову стандартизацію в Японії проводиться сертифікація промислової продукції на відповідність

національному стандарту. Свідченням відповідності виробу служить знак JIS. Дозвіл на видачу сертифіката й право маркування продукту знаком відповідності стандарту дає міністр галузі за результатами галузевого інспекційного контролю якості даної продукції й атестації підприємства, у ході якої оцінюють стан виробничого процесу. Зараз понад 16 тис. японських підприємств користуються правом маркування своєї продукції знаком відповідності національним стандартам. З 1980 р. сертифікат на право застосування японського знака відповідності стандарту видається й закордонним підприємствам. Жоден виготовлювач у Японії не може одержати замовлення від урядових органів або престижне замовлення від авторитетних компаній, якщо його продукція не має знака JIS.

Із середини 80-х рр. у Японії реалізується урядова програма, спрямована на усунення технічних бар'єрів у торгівлі. Багато в чому цей наслідок багаторічного тиску іноземних торговельних партнерів Японії, для яких нерідко торгівля із цією країною перетворюється в «гру в одні ворота». Усуненню перешкод для експорту в Японію сприяють такі положення, як недопущення дискримінації до закордонних постачальників товарів; врахування інтересів закордонних партнерів у роботах по стандартизації; надання більш відкритого характеру інформації про стандартизацію; гармонізація японських національних стандартів з міжнародними; розвиток діяльності по визнанню результатів випробувань продукції закордонними організаціями й спрощення процедур сертифікації.

Соціальні вимоги і різноманітність споживчих переваг стимулюють вживання заходів по активізації участі представників споживачів у розробці й обслуговуванні проектів стандартів на споживчі товари. Переглянуто зміст маркування товарів знаком JIS, що не містить інформацію про екологічні властивості продукту, у той час як саме вони стали все частіше визначати вибір покупця. Тепер

знак відповідності національному стандарту доповнюється написами екологічного й соціального змісту («використана вторинна сировина», «піклування про старих» і т.п.).

В області сертифікації держава забезпечує її високу надійність, вірогідність і законність, піклуючись про інтереси суспільства. З позицій закону держава оцінює діяльність приватних іспитових організацій. Японські фахівці вважають, що ця функція держави буде підсилюватися.

8. УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ

8.1. Показники якості продукції й методи її оцінки

Якість - сукупність властивостей речовин, виробів або процесів, що обумовлює їх здатність задовольняти певні й передбачувані потреби у відповідності зі своїми призначеннями.

Показник якості - кількісна характеристика одного або декількох властивостей речовин, виробів або процесів.

Оцінкою якості продукції займається кваліметрія - наука, що поєднує кількісні методи оцінки якості, прийняті при управлінні якістю продукції.

Кваліметрія - з'єднання двох слів, латинського *qualitas* (якість) і грецького *metrew* (вимірювати). Таким чином, кваліметрія - це сукупність методів і засобів кількісної оцінки якості. Кваліметрія жорстко зв'язана зі стандартизацією й метрологією.

Властивості якості - це технологічність, надійність, транспортабельність і ін., які мають якісь кількісні характеристики, які й називаються показниками якості. Останні можуть бути одиничними, груповими, комплексними й інтегральними.

Одиничні показники якості, поєднуються в групі за спорідненими показниками. Комплексний показник характеризує кілька споріднених властивостей виробів. Інтегральний показник якості є комплексним і характеризує ефективність або економічність технічного пристрою, розраховується як співвідношення сумарного корисного ефекту від експлуатації продукції до сумарних витрат на її створення й експлуатацію.

Одиничні показники якості лежать в основі всіх інших показників якості (групові, комплексні і інтегральні) і на всі види виробів серійного або масового виробництва номенклатура, що містить у собі такі показники:

- призначення;
- надійності;
- економічного використання сировини;
- ергономічні;
- естетичні;
- технологічності;
- транспортабельності;
- стандартизації;
- патентно-правова;
- безпеки;
- екологічності...

Розглянемо докладніше.

8.2. Показники якості продукції

Показники призначення існують для оцінки корисного ефекту, що може бути отриманий при використанні виробу по призначенню.

Група показників призначення ділиться на підгрупи:

- показники функціональної й технічної ефективності;
- конструктивні показники.

Показники функціональної й технічної ефективності характеризують корисний ефект від експлуатації або споживання продукції й прогресивність технічних рішень, що закладають продукцію.

Наприклад, до показників функціональної й технічної готовності засобів вимірювань відносяться:

- метрологічні характеристики;
- діапазон вимірювань;
- вхідний і вихідний імпеданс;
- умови експлуатації засобів вимірювань.

Конструктивні показники для засобів вимірювань залежать від

сфери застосування. У той же час підвищення вимог і метрологічних характеристик приводить до ускладнення конструкції приладів і до збільшення розмірів і маси приладів у стаціонарних умовах.

Надійність - властивість об'єкта зберігати в часі (у встановлених межах) значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах й умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання й транспортування. Показники надійності мають властивості:

- безвідмовності;
- довговічності;
- ремонтпридатності;
- зберігаємості.

Безвідмовність характеризує властивості об'єкта зберігати працездатність протягом деякого наробітку.

До показників безвідмовності відносять імовірність безвідмовної роботи й імовірність відмови. *Довговічність* - це властивість об'єкта зберігати працездатність до настання граничного стану.

До показників довговічності ставляться середній ресурс і середній термін служби. *Середній термін служби* - математичне очікування терміну служби від початку експлуатації до настання граничного стану сукупності об'єктів.

Ремонтпридатність - властивість об'єкта, що полягає в пристосованості стану шляхом технічного обслуговування й ремонту. До показників ремонтпридатності ставляться:

- імовірність відновлення;
- середній час відновлення.

Зберігаємість - властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції протягом зберігання й після нього, а

також при транспортуванні й після цього.

Показник зберігаємості - середній термін зберігання.

Показники економічного використання сировини, матеріалів, палива, енергії й трудових ресурсів характеризують властивості виробу, що відбивають його технічна досконалість за рівнем або ступенем споживання ним сировини, матеріалів, палива, енергії й трудових ресурсів при експлуатації.

Узагальненим показником ефективності використання продукції є *інтегральний показник якості*, що визначає відношення сумарного корисного ефекту від експлуатації або споживання продукції до сумарних витрат на її створення або експлуатацію:

$$K = \frac{E}{B} \left(\frac{\text{ефект}}{\text{витрати}} \right).$$

Ергономічні показники характеризують систему «людина машина» і враховують комплекс гігієнічних, антропологічних, фізіологічних і психологічних властивостей людини, що проявляються у виробничих і побутових умовах.

Гігієнічні показники містять у собі рівень шуму, освітленості, напруженості електричних і магнітних полів.

Антропологічні показники характеризують відповідність конструкції виробу формі тіла і його окремих частин, що входять у контакт із виробом.

Фізіологічні й психофізіологічні показники характеризують відповідність конструкції виробу (розмір, форма, яскравість, контрастність кольорів і просторове положення) зоровими, психологічними можливостями людини.

Психологічні показники визначають відповідність виробу можливості сприйняття й переробки вимірювальної інформації.

Естетичні показники характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції й досконалість

виробничого виконання.

Інформаційна виразність показує можливість виробу відбивати в його формі різні соціально-естетичні подання, оригінальність, відповідність моді.

Досконалість виробничого виконання характеризує товарний вигляд виробу.

Показники технологічності містять у собі коефіцієнт збірності, коефіцієнт використання матеріалів, показник трудомісткості.

Коефіцієнт збірності характеризує простоту зборки й монтажу виробу. Кількісно цей коефіцієнт оцінюється відношенням числа конструктивних елементів $Q_{зб}$, що входять у специфіковані блоки, до загального числа елементів, що входять у виріб Q_0 .

$$K_{зб} = \frac{Q_{зб}}{Q_0}.$$

Коефіцієнт використання матеріалів показує, яка частка конкретного матеріалу у виробі, тобто його маса Q_{mk} щодо загальної маси виробу Q_{m0} :

$$K_m = \frac{Q_{mk}}{Q_{m0}}.$$

Питома трудомісткість виробу оцінюється відношенням трудомісткості виробництва виробу T_k до одного з показників призначення B :

$$Q_{mp} = \frac{T_k}{B}.$$

Показник транспортабельності характеризує пристосованість продукції до переміщення в транспорті, що не супроводжується використанням і споживанням.

Показники транспортабельності містять у собі:

- тривалість підготовки виробу до транспортування;
- трудомісткість підготовки виробу до транспортування.

Показники стандартизації й уніфікації характеризують насиченість виробу стандартними, уніфікованими запозиченими й покупними складовими частинами, повторюваність складових частин у виробі, а також рівень уніфікації по рівнянню з іншими виробами.

Показниками стандартизації й уніфікації є коефіцієнти:

- повторюваності;
- застосовності

Коефіцієнт повторюваності характеризує рівень уніфікації застосовуваних у виробі складових частин:

$$K_n = \frac{N}{n},$$

де N — загальна кількість складових частин;

n - кількість типорозмірів складових частин, застосовуваних у виробі.

Коефіцієнт застосовності стандартних складових частин

$$K_{np} = \frac{N - n_0}{N} 100\%,$$

де N - загальна кількість типорозмірів складових частин у виробі;

n_0 - кількість оригінальних частин виробу.

Патентно-правові показники характеризують ступінь оновлення технічних рішень, використовуваних у продукції, їхній патентний захист, також можливість реалізації продукції в країні й за рубежом.

Офіційним документом про патентоспроможність виробу є його патентний формуляр, у якому вказується, що і яким патентом захищено, яка вагомість винаходів, використовуваних у виробі, скільки складових частин виробу захищено патентами. Показник патентної частоти обчислюють за формулою

$$П_{н.ч.} = \frac{N - n \sum_{i=1} N_i K_i}{N},$$

де N_i - загальне число складових частин виробу;

K_i - вагомість кожної i -складової частини;

n - число груп значимості, що попадають під дію патенту.

Показник патентного захисту характеризує новизну технічних рішень, прийнятих при розробці виробу. Він функціонально залежить від кількості захищених вузлів виробу, важливості цих вузлів для захисту всього виробу в кількості країн патентування m :

$$P_{n.z.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i N_i + \frac{m}{N} \sum_{i=1}^n K'_i N'_i,$$

де K'_i й N'_i - вагомість і число складових частин, запатентованих за кордоном.

Екологічні показники характеризують рівень шкідливих впливів на навколишнє середовище, що виникають при експлуатації або споживанні продукції.

Показники безпеки характеризують властивості виробу, що гарантують безпеку обслуговуючого персоналу й інших об'єктів при його експлуатації, обслуговуванні, транспортуванні й зберіганні.

До показників безпеки відносять:

- імовірність безпечної роботи;
- середній час безпечної роботи захисних пристроїв;
- мінімальну електричну міцність ізоляції струмоведучих частин і ін.

Можна відзначити, що основу системи показників якості становлять одиничні показники. Вони характеризують властивості продукції, які можуть бути як простими, так і складними.

Прості властивості не можна розділяти на інші властивості, у той же час складні можуть бути розділені на менш прості.

Порівняльну оцінку аналогічних по призначенню виробів з різними технічними характеристиками дозволяє проводити комплексний показник якості.

Найпростішими з них є адитивні комплексні показники якості:

$$K = \sum_{i=1}^n q_i K_{BI} ,$$

де q_i - відношення одиничних показників оцінюваного й базового виробів;

K – коефіцієнт вагомості i -го показника якості.

$$\sum_{i=1}^n K_{BI} = 1$$

Інша форма комплексного показника являє собою добуток відносних одиничних показників якості в ступені коефіцієнта вагомості:

$$K = \prod_{i=1}^n (q_i^{k_{BI}}) .$$

Оскільки лінійні адитивні комплексні показники якості не завжди дозволяють урахувати всю різноманітність вимог до продукції, то в ряд критеріїв варто включити такі, які забезпечують можливість обліку нелінійного характеру залежності комплексного показника від одиничних показників. Тоді формула здобуває наступний вид:

$$K = \sum_{i=1}^n f(q_i) K_{BI} ,$$

де $f(q_i)$ - функція, що визначає залежність комплексного показника від відносного одиничного показника якості.

8.3. Методи оцінки якості продукції

При оцінці якості в цьому випадку необхідно:

- Визначити набір необхідних для оцінки параметрів. Основою для порівняння виробів завжди служать їхні параметри, які кількісно визначені, причому можна враховувати тільки ті параметри, які

істотно відрізняються від базового.

- Зробити вибір базового виробу й значень його параметра. Базові елементи завжди вибираються із числа аналогічних вузькопрофільного призначення. Годинники ручні рівняються з такими ж, а не з будильником. Базовим може бути реальний зразок і кращий з існуючих.

Для визначення значень показників якості продукції методи можна підрозділити на дві групи:

По способах одержання інформації:

- вимірювальний,
- реєстраційний,
- органолептичний,
- розрахунковий.

По джерелах одержання інформації:

- технічний,
- біологічний,
- експертний.

Існують наступні методи визначення показників якості:

- вимірювальний - на основі технічних засобів вимірювань;
- реєстраційний - на основі спостереження й підрахунку числа певних подій, витрат або предметів;

- розрахунковий - на основі використання теоретичних й (або) емпіричних залежностей показників якості продукції від її параметра;

- органолептичний - на основі аналізу сприйняття органів почуття;

- експертний - на основі рішення, прийнятого експертами;
- соціологічний - на основі збору й аналізу думок фактичних або можливих споживачів продукції.

Вимірювання якості містить в собі два етапи:

- визначення значень показників якості;
- порівняння показників якості різних зразків.

Якщо значення показника якості вимірюється, то вимірювання може виконуватися інструментальним або експертним методами.

Вимірювальний метод базується на застосуванні технічних засобів вимірювань. Цим методом можуть визначатися фізичні величини (ФВ) з 12 областей їхніх вимірювань. При вимірюванні використовується шкала відносин. Будь-яке вимірювання по шкалі відносин складається в порівнянні невідомого параметра з відомим і вираженням першого через другий у кратному або дільному відношенні. Вимірювальний метод є найпоширенішим у промисловості в силу об'єктивності, високій точності й можливості автоматизації вимірювань. Аж до створення вимірювальних установок і систем. За допомогою вимірювального методу визначаються значення: маси виробу, сили струму, числа обертів двигуна, частоти електричних коливань і т.д.

Ресстраційний метод заснований на використанні інформації, одержуваної шляхом підрахунку числа певних подій, предметів або витрат, відмов виробів при випробуваннях, числа частин складного виробу (стандартних, оригінальних, уніфікованих, захищених патентами і т.п.) Цим методом визначаються показники стандартизації й уніфікації, патенто-правові показники й ін.

Експертний метод виміру показників якості застосовується тоді, коли використання технічних систем показників неможливо, складно або економічно не виправдано. До нього вдаються при визначенні ергономічних і естетичних показників.

Експерти застосовують шкали відносин, шкали порядку й шкали інтервалів.

При органолептичному методі, як первинні перетворювачі використовуються органи почуттів людини: зір, слух, нюх, дотик і

смак. Органолептичний метод широко застосовується в медицині, харчовій і парфумерній промисловості, а також у деяких галузях науки й техніки (наприклад, при візуальній топографічній зйомці місцевості).

Природа в різному ступені наділила людей здатностям до органолептичних вимірювань по шкалі відносин. При цьому оцінюється, у скільки разів дане значення ФВ більше або менше його одиничного значення. Наприклад, показання 100 В означає, що обмірюване значення напруги в 100 разів більше одного вольт. При вимірюванні по шкалі інтервалів визначається, на скільки оцінюваних значень ФВ більше або менше іншого значення ФВ. Наприклад, 120 В на 20 В більше напруги 100 вольтів.

Частоту звукових коливань можуть визначити лише деякі, хто має абсолютний слух. Більшість же визначає різниця звукових частот у тонах або півтонах, тобто має здатність до виміру частоти звуку тільки по шкалі інтервалів. Вимірювання по шкалі інтервалів, будучи менш досконалими ніж по шкалі відношень, можуть виконуватися й без участі органів почуттів. Вимірювання часу або гравітації засновано на відчуттях. Ще менш досконалі вимірювання по шкалі порядку, які будуються на враженнях. До них відносяться конкурси майстрів мистецтв (скульпторів, художників, поетів, композиторів), змагання спортсменів по фігурному катанню на ковзанах і т.п.

Вимірювання, засновані на інтуїції, називаються *евристичними*. При всіх таких вимірюваннях крім *ранжирування* (розміщення вимірюваних величин у порядку убутання або зростання їхніх розмірів) широко використовується *метод попарного зіставлення*, коли вимірювальні величини спочатку порівнюють між собою попарно, і для кожної пари результат порівняння виражається у формі «більше - менше» або «гірше - краще». Потім ранжирування здійснюється на підставі результатів попарного зіставлення.

Соціологічний метод виміру показників якості будується на масових опитуваннях населення або окремих його соціальних груп, члени яких виступають як експерти. Опитування може проводитися шляхом анкетування, інтерв'ювання, голосування й т.п. Цей метод вимагає науково обґрунтованої системи збору й обробки інформації, що припускає широке застосування засобів автоматизації й обчислювальної техніки. Соціологічний метод використовується для визначення показників якості товарів народного споживання (наприклад, попиту), виявлення суспільної думки й т.п.

Якість як об'єкт вимірювань є багатомірним і жоден з об'єктів не може бути охарактеризований тільки фізичною величиною-мірою одного із властивостей багатомірного по своїй природі об'єкта.

Значення показників якості, отримані різними методами, використовуються для оцінок рівня якості продукції й технічного рівня продукції.

Оцінка рівня якості продукції - це сукупність операцій, що включає в себе вибір номенклатури показників якості оцінюваної продукції, визначення значень цих показників і зіставлення їх з базовими.

Оцінка технічного рівня продукції - сукупність операцій, що включає в себе вибір номенклатури показників, які характеризують технічну досконалість оцінюваної продукції, визначення значень цих показників і зіставлення їх з базовими. Оцінка технічного рівня продукції частіше застосовується при зіставленні зразків вітчизняної й закордонної продукції, оскільки економічні показники для закордонної продукції, як правило, невідомі. Розглянемо методи оцінки рівня якості продукції.

Оцінка рівня якості продукції є основою для виробітку необхідних управлінських рішень у системі управління якістю продукції. У загальному випадку оцінка рівня якості складається з

наступних етапів:

- вибір номенклатури показників якості й обґрунтування її необхідності й достатності;
- вибір або розробка методів визначення показників якості;
- вибір базових значень показників і вихідних даних для визначення фактичних значень показників якості оцінюваної продукції;
- визначення фактичних показників якості й зіставлення їх з базовими;
- порівняльний аналіз варіантів можливих рішень і знаходження найкращого;
- обґрунтування рекомендацій для прийняття управляючого рішення.

Для продукції одного виду використовують наступні методи оцінки рівня її якості:

- диференціальний;
- комплексний;
- змішаний.

Диференціальний метод оцінки рівня якості продукції здійснюється порівнянням показників якості продукції з відповідними базовими показниками. При цьому для кожного з показників розраховуються відносні показники якості оцінюваної продукції по формулах:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{i\bar{0}}},$$

$$q_i = \frac{P_{i\bar{0}}}{P_i},$$

де P_i - числове значення i -ого показника якості оцінюваної продукції;
 $P_{i\bar{0}}$ - числове значення i -ого показника якості базового зразка.

Вираження використовується, коли збільшення абсолютного

значення показника якості відповідає поліпшенню якості продукції. По цій формулі необхідно обчислити відносний показник якості для потужності, діапазону вимірюваних значень фізичних величин, імовірності безвідмовної роботи й ін.

Комплексний метод оцінки рівня якості передбачає використання комплексного (узагальненого) показника якості. Цей метод застосовується у випадках, коли рівень якості доцільно виразити одним числом. По комплексному методу визначається відношення узагальненого показника якості оцінюваної продукції Q до узагальненого показника базового зразка Q_0 , тобто

$$K = \frac{Q}{Q_0}.$$

При оцінці складних виробів, що мають широкую номенклатуру показників якості, за допомогою диференціального методу неможливо зробити конкретний вивід, а використання тільки одного комплексного методу не дозволяє об'єктивно врахувати всі значимі властивості оцінюваного виробу. У цих випадках для оцінки рівня якості виробу одиничні й комплексні показники якості застосовують одночасно, використовуючи й комплексний, і диференціальний методи, тобто оцінку рівня якості здійснюють змішаним способом.

Змішаний метод оцінки якості полягає в наступному:

- Одиничні показники якості поєднують у ряд груп. Поєднувати одиничні показники в групи необхідно залежно від мети оцінки, наприклад, при атестації виробу - по групах призначення, надійності, технологічності, стандартизації, уніфікації і ін., тобто для даної оцінки показники групуються по властивостях, що їх характеризують.

- Знайдені значення групових комплексних й окремо виділених найбільш важливих одиничних показників піддають порівнянню з відповідними значеннями базових показників, тобто застосовують диференціальний метод.

Оцінка технічного рівня виробів здійснюється:

- при проведенні експертизи технічного завдання на розробку засобів вимірювань (визначається ступінь відповідності заданих вимог до виробу на потребу ринку, робиться вивід про доцільність нової розробки);
- розробка нового типу виробу (визначається технічний рівень створюваного виробу);
- порівняння із закордонними аналогами (визначається ступінь технічної досконалості на світовому рівні);
- плануванні показників якості виробу (робиться вивід про основні напрямки вдосконалювання й доцільності подальших робіт із застосовуваним методом перетворення, структурою, конструкцією і т.д.).

Порівняльний аналіз технічного рівня розроблювач виробів проводить на стадіях і етапах: НДР, технічної пропозиції, розробки робочої документації.

Як аналоги оцінюваного виробу незалежно від принципу дії вибираються кращі з відомих виробів закордонного й вітчизняного виробництва, аналогічні по призначенню. Кількість аналогів повинне бути не менше двох (зразки різних фірм), найбільш близькі по строках розробки.

Оцінювані зразки необхідно порівнювати по однаковій номенклатурі технічних характеристик (одиничних показників якості). Одиниці вимірювання для аналога й оцінюваного виробу повинні бути ідентичними. Приведення даних до єдиної форми подання і єдиної розмірності забезпечує розроблювач виробу.

Номенклатура обраних для оцінки показників кожного зразка повинна найбільш повно характеризувати технічні й енергетичні характеристики, експлуатаційні можливості, надійність виробу.

Основними джерелами інформації про технічні параметри

закордонних аналогів можуть служити:

- звіти про випробування закордонних зразків;
- каталоги й проспекти провідних закордонних фірм;

Допускається використовувати:

- оглядову інформацію;
- експрес-інформацію;
- статті з науково-технічних закордонних журналів і інші

джерела.

При відсутності в джерелах інформації даних, необхідних для розрахунку, технічні характеристики прогноуються спеціалістом або призначаються із кращих, досягнутих на світовому рівні.

Процес оцінки технічного рівня складається з наступних етапів:

- формування підгрупи аналогів для кожного виробу, технічний рівень якого оцінюється;
- визначення відносних значень одиничних показників якості (диференціальний метод оцінки);
- оцінка групових (узагальнених) показників технічного рівня;
- комплексна оцінка технічного рівня.

Технічні характеристики базових зразків необхідно періодично коректувати й уточнювати з урахуванням зростаючих вимог, надходження інформації про закордонні аналоги й технічних характеристик знову розроблених виробів.

Диференціальний метод оцінки технічного рівня передбачає оцінку в порівнянні з ідеальним зразком або аналогом по окремих одиничних показниках.

В результаті оцінки технічного рівня I_{np} за одиничними показниками (диференціальним методом) визначається:

- чи досягнутий рівень оцінюваного зразка в цілому;
- за якими показниками рівень досягнутий;
- які показники найбільше сильно відрізняються від ідеальних

показників якості або від показників закордонного аналога.

Технічний рівень оцінюваного виробу:

- перевищує вищі світові досягнення, якщо кожне зі значень обраних для зіставлення показників, перевищує відповідне значення аналога;

- відповідає вищому світовому рівню, якщо відхилення значення параметрів оцінюваного зразка й аналогів перебувають у межах ± 10 ;

- не відповідає вищому світовому рівню, якщо по всіх параметрах відносні значення одиничних показників якості (ОПЯ) становлять менше 0,9 від відповідних показників аналога.

У випадку, якщо результати порівняльного аналізу за одиничними показниками не дозволяють зробити однозначний вивід про ступінь відповідності I_{np} світовому рівню, оцінка технічного рівня проводиться по групових і комплексних показниках.

Коефіцієнти вагомості одиничних показників (загальні і уточнені) визначені експертним шляхом, тобто шляхом анкетування великої кількості фахівців-розроблювачів. При відсутності числових даних по деяких одиничних показниках якості оцінки технічного рівня необхідно проводити по скороченій номенклатурі, але однакової для всіх розглянутих I_{np} .

За результатами оцінки повинні бути зроблені висновки про відповідність технічного рівня кращим вітчизняним і закордонним досягненням. Розрахункова (кількісна) оцінка технічного рівня повинна бути доповнена аналізом причин, що обумовили одержання низьких (високих) показників у порівнянні з аналогом, а також конкретними пропозиціями по пошуку шляхів(способів) використання прогресивних технічних рішень для підвищення цих показників.

Для оцінки рівня якості продукції використовують також експертний метод, що виділяє два основних класи експертиз:

- інтелектуальних експертних методів, заснованих на залученні інтелекту (досвіду, знань) фахівців;

- клас сенсорних експертних методів, що складаються у використанні сенсорних (чутливих) можливостей людини.

Експертний метод застосовується для рішення наступних завдань:

- вибір номенклатури оцінюваних і базових ПЯ, а так само їхнє ранжирування.

- визначення коефіцієнтів вагомості ПЯ.

- вибір базових зразків і значень показників їхньої якості.

- визначення комплексних ПЯ.

- ухвалення рішення про категорії якості продукту.

Для проведення робіт пов'язаних з експертними оцінками, повинна бути створена експертна комісія, що складається звичайно з робочої й експертної груп.

Процедура проведення експертних робіт, як правило, складається з наступних послідовних операцій:

- призначення організаторів експертної оцінки.

- формування робочої групи.

- формування експертної групи.

- підготовка анкет для опитування експертів.

- опитування експертів.

- обробка експертних даних.

- аналіз результатів оцінок.

До складу робочої групи входять:

- організатор;

- фахівці з оцінюваної продукції;

- технічні працівники.

Організатор здійснює методичне керівництво роботою на всіх етапах. Він повинен кваліфіковано розбиратися в методології оцінки

якості промислової продукції, особливо в експертних методах оцінки, в основних питаннях виробництва й споживання оцінюваної продукції, знати тенденції її розвитку і техніко-економічні характеристики аналогів. Організатор формує робочу групу, бере участь у формуванні експертної групи, складає програму робіт, бере участь в опитуванні експертів, аналізує результати кожної операції для коректування подальшої роботи і остаточних результатів, формує висновки і рекомендації.

Фахівець із оцінювання продукції вибирається із числа висококваліфікованих працівників організації, у якій формується експертна група. По характеру основної роботи фахівця повинні цікавити результати експертної оцінки якості продукції. Бажано, щоб знання оцінюваної продукції носили універсальний характер.

Основне завдання фахівця полягає в аналізі інформації, отриманої від експертів, для коректування програми подальшої роботи.

Технічні працівники проводять опитування експертів й обробку отриманої інформації. Кількість технічних працівників у робочій групі залежить від чисельності експертної групи. Один технічний працівник організує опитування й обробку інформації 1-10 експертів.

Експертам необхідно володіти такими якостями:

- інформованість професійна і кваліметрична;
- здатність вирішувати творчі завдання;
- зацікавленість у результатах роботи;
- діловитість;
- об'єктивність;

В експертну групу повинні входити не менше 7 чоловік.

На чолі експертної комісії стоїть голова, його замісником є керівник робочої групи.

При голосуванні рішення вважається прийнятим, якщо за нього

проголосувало 2/3 експертів.

При експертному оцінюванні вагомості показників якості (ПЯ) застосовуються методи:

- переваги;
- оцінювання;
- зіставлення.

При використанні методів переваги (рангів) кожен експерт, переглядаючи всю обрану номенклатуру ПЯ оцінюваної продукції, проводить нумерацію (ранжирування) ваг показників у певному порядку їхньої переваги, важливості. Самому маловажному показнику привласнюють номер 1, що впливає по важливості номер 2 і т.д., тобто найважливіший показник одержує останній номер, а самий маловажний перший.

При такому переважному розміщенні номерів ваг ОПЯ, вага кожного ОПЯ, певний j -м експертом, можна розрахувати по такі формулі:

$$K_{B_{ij}} = \frac{M_{ij}}{\sum_{I=1}^N M_{ij}},$$

де M_{ij} - ранг i -го показника, даний j -м експертом.

Наприклад, при $n = 10$ і рангах 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 по виразу одержимо:

$$K_{B_1} = \frac{1}{\sum_{I=1}^{10} ai} = \frac{1}{55} = 0,018, \quad K_{B_2} = \frac{2}{55} = 0,036,$$

аналогічно $K_{B_3} = 0,054$, $K_{B_4} = 0,072$, $K_{B_5} = 0,09$, $K_{B_6} = 0,109$,
 $K_{B_7} = 0,127$, $K_{B_8} = 0,14$, $K_{B_9} = 0,16$, $K_{B_{10}} = 0,18$.

Всі ПЯ по даним всіх номерів експертів, що беруть участь у роботі:

$$K_{B_1} = \frac{\sum_{j=1}^n K_{ij}}{N} .$$

Метод оцінювання (приписування балів) передбачає оцінювання експертами важливості кожного ПЯ по бальній шкалі значимості. Звичайно діапазон шкал вибирається (1...10). Найбільш важливому показнику експерт може дати 10 балів. При використанні методу оцінювання коефіцієнт вагомості може бути розрахований по формулі

$$M_i = \sum_{j=1}^N M_{ij} ,$$

де M_{ij} - ранг i -го показника j -го експерта.

Величина W можлива в діапазоні $1 < W < 0$. При $W=0$ погодженість думок експертів відсутній, при $W=1$ вона повна. Звичайно погодженість думок експертів вважається достатньою при $W > 0,5$.

Коефіцієнт конкордації є величиною випадкової. Значимість оцінки коефіцієнта конкордації може визначатися за допомогою критерію χ^2 . Величина $\chi_p^2 = N(n-1)W$ має χ^2 розподіл з $\nu = n - 1$ ступенями волі.

Якщо $\chi_p^2 > \chi_t^2$, то можна вважати, що думки експертів узгоджуються.

Сутність управління полягає у виробітку керуючих впливів (рішень) на об'єктах управління.

Під управлінням якістю продукції розуміють встановлення, забезпечення і підтримка оптимального рівня якості продукції при її розробці, виготовленні, зберіганні, транспортуванні, експлуатації або споживанні, здійснювані шляхом систематичного контролю якості і цілеспрямованого впливу на умови, що впливають, і фактори.

Під фактором розуміється причина (конкретна рушійна сила) процесу створення продукції, здатна поліпшити один або кілька

показників якості продукції.

Умови підвищення якості продукції обставини, обстановка, середовище, у якій діють фактори.

Група факторів:

- технічні;
- організаційні;
- економічні;
- соціальні.

До технічних факторів відносяться стан устаткування, оснащення, інструмента, засобів контролю і технічної документації, а також якість вихідних матеріалів і напівфабрикатів.

До організаційних факторів належать: планомірність і ритмічність роботи; технічне обслуговування й ремонт устаткування; забезпеченість матеріалами виробами, які комплектують оснащенням, інструментами, технічною документацією і засобами контролю; культура виробництва; наукова організація праці; рівень технічної естетики; організація живлення й відпочинку на робочому місці і ін.

Економічні фактори - це форми оплати праці, величина зарплати, преміювання за високоякісну продукцію і роботу, утримання за брак, рівень якості, собівартість, ціни на продукцію й ін.

$$\bar{K}_{Bi} = \frac{\sum_{j=1}^n M_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij}},$$

де M_{ij} - ранг i -го показника в балах, даний експертом.

При необхідності експерт оцінює ваги показників не тільки цілим числом, але й дробовим.

Метод зіставлень реалізується попарним і послідовним зіставленнями.

Сутність попарного зіставлення полягає в тому, що експерт зіставляє (порівнює) показники якості по їхній важливості, попарно встановлюючи парі показників найвищий бал.

Загальне число пар, тобто кількість зіставлень для показників, повинне бути таким:

$$c = \frac{n(n-1)}{2}.$$

На перетині вертикальних і горизонтальних рядків матриці для кожної з пар ставлять 1 бал важливому і 0 - менш важливому показникам. При цьому рядок переважніше стовпця.

Погодженість думок про вагомість кожного з показників якості оцінюється за допомогою коефіцієнтів варіації, які визначаються за формулою

$$V_i = \frac{\sigma_{ki}}{K_{bi}},$$

де σ_{ki} - середньо квадратичне відхилення коефіцієнтів вагомості i -го показника якості;

K_{bi} - коефіцієнт вагомості i -го показника якості.

Оцінка погодженості думок експертів про вагомість всіх ПЯ може визначатися за допомогою коефіцієнтів конкордації (згоди) по рівнянню

$$W = \frac{12S}{N^2(n^3 - n)},$$

де $S = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^N a_{ij} - T)^2$ - сума квадратів відхилень суми рангів кожного

показника по всіх експертах від середньої суми рангів.

Середнє значення рангів визначається по формулах

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i \text{ або } T = N \frac{n+1}{2},$$

де n - число показників;

N - число експертів;

До соціальних факторів відносяться: підбір, розміщення й переміщення кадрів; організація й підвищення кваліфікації; науково-технічна творчість; раціоналізація й винахідництво; житлово-побутові умови; взаємини й психологічний клімат у колективі.

Фактори, які впливають на якість продукції, можуть утрудняти його досягнення або, навпаки, сприяти цьому. До першого можна віднести такі: часта зміна видів продукції, підвищення складності виробів; більше жорстких технічних умов; збільшення обсягу робіт з постачальниками; підготовка кадрів; часта зміна виробів.

Факторами, що сприяють досягненню якості, є: більш досконале проектування; кращі засоби зв'язку; успіхи в раціоналізації й стандартизації; поліпшення технології й устаткування; використання матеріалів більш високої якості й сучасної вимірювальної техніки; організації контролю і ін.

На якість продукції впливають також природні фактори (географічні, кліматичні), а також властивості корисних копалин.

Послідовність дій при управлінні якістю показана на рис. 8.1.

Перш ніж створити продукцію, необхідно з'ясувати характер потреби. У результаті вивчення характеру й обсягу потреб, технічних, економічних й організаційних можливостей окремого підприємства, галузі встановлюються плани і вимоги до окремих видів продукції. Встановлення вимог полягає в нормуванні показників якості, що становлять якість продукції. На цій основі ведеться розробка й виробництво продукції. При цьому з певною періодичністю або постійно порівнюється інформація про фактичну якість із нормативними значеннями, тобто здійснюється контроль. Інформація про фактичну якість надходить зі сфери споживання. При виникненні різниці фактичною й необхідною якістю виробляються й

реалізуються заходи щодо усунення причин, що викликають ці відхилення.

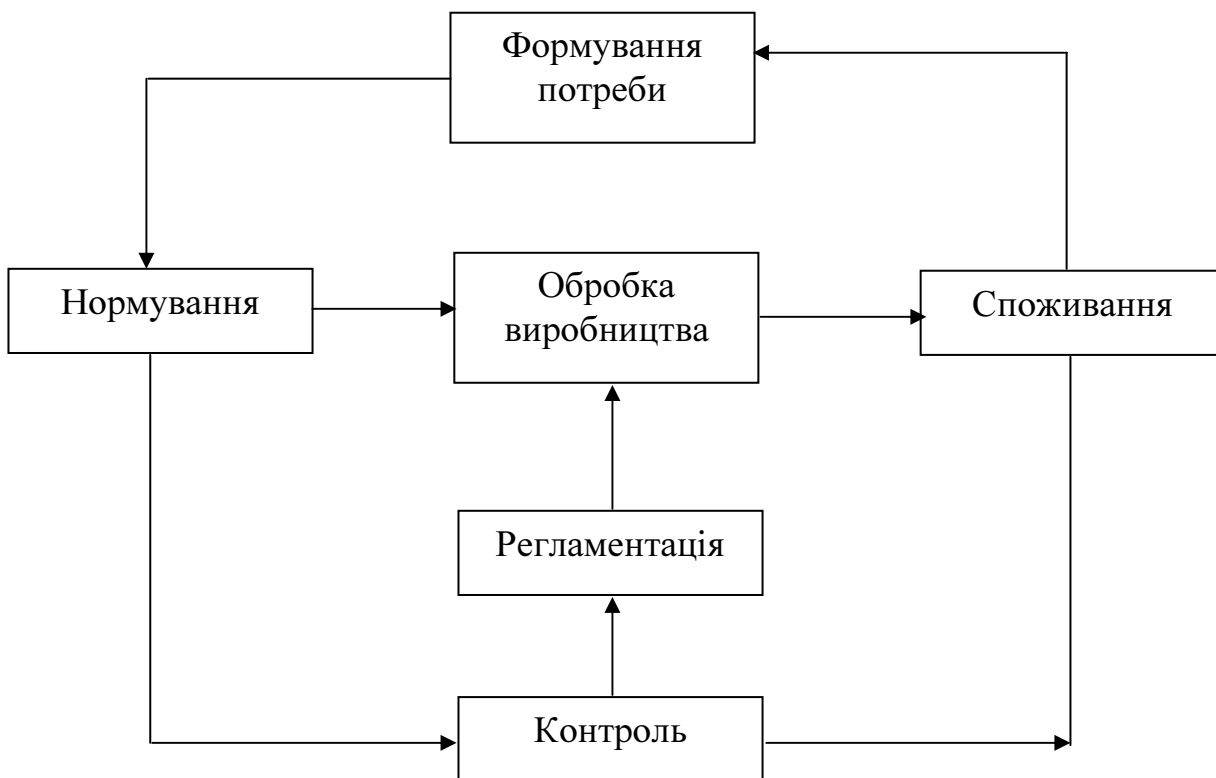


Рисунок 8.1 - Механізм управління якістю продукції

У такий спосіб у механізмі керування якістю діють дві гілки зворотного зв'язку (рис. 8.1).

Перша гілка зворотного зв'язку функціонує на рівні створення й виготовлення виробу. Її завдання - забезпечити й підтримати якість на заданому рівні. Друга гілка покликана відстежити зміну характеру потреби й інформувати про необхідність модернізації продукції, що випускається, або розробки нової.

До середини 70-х років за кордоном основним методом управління якістю був метод Тейлора. Він містив у собі нормування, контроль якості, примушення (регламентацію). Починаючи з 80-х років, ця модель управління зазнає активної критики. Відзначаються три основних недоліки методу Тейлора:

- нормування є справою фахівців верхнього рівня. Безпосередні

учасники виробництва виступають в ролі основних виконавців, зобов'язаних виконувати вимоги, встановлені зверху. Такий підхід недемократичний, він позбавляє ініціативи безпосередніх учасників процесу.

- слабо реалізуються економічні методи управління, оскільки штрафні санкції варто розглядати як адміністративний примус.

- грубо описується якість. Всі вироби, у яких параметри лежать всередині допуску, вважаються однаково "якісними", а ті, у яких поза допуском - браком.

На рисунку 8.2 наведені залежності якості продукція від обраного методу управління якістю.

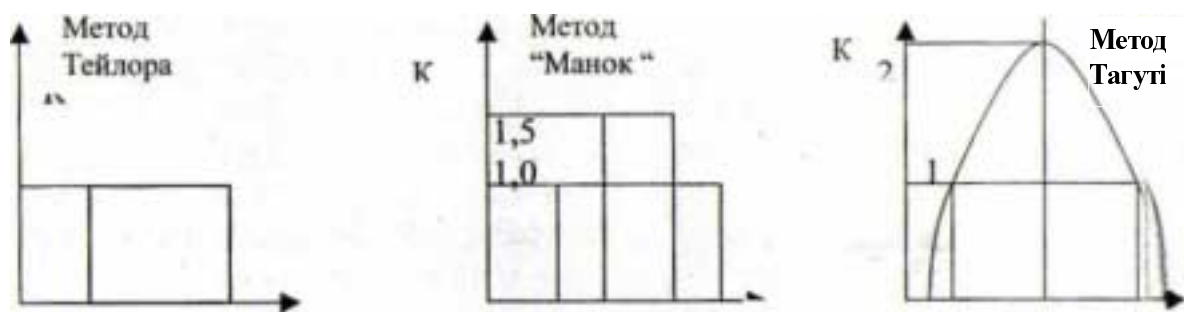


Рисунок 8.2 - Методи управління якістю продукції

Метод Тагуті, що одержав широке поширення в Японії й США, складається в переході від "допускового" управління якістю (по Тейлору) до управління по відхиленню від номіналу. Чим ближче фактичне значення показника якості до номінального, тим вище оцінка якості, тим більше стимулюється праця виконавця (трудового колективу).

В СРСР був розроблений метод активного нормування й оцінки якості (МАНОК), що є перехідним від методу Тейлора до методу Тагуті. Він зберігає в цілому "допусковий" характер, але передбачає стимуляцію активності виконавця в підвищенні норми якості.

Суть методу полягає в тому, що по кожному показнику якості

встановлюються дві норми: базова і активна більш висока, ніж базова. Базова норма встановлюється фахівцями верхнього рівня управління і є обов'язковою для виконання виконавцем. Активна норма встановлюється виконавцем на основі оцінки можливостей підвищення якості продукції в даний момент, тобто виходячи зі своїх професійних можливостей, стану технологічного процесу, якості комплектуючих виробів і т.д.

В методі Тагуті оцінка якості безупинно зростає при наближенні параметрів до номінального значення $X_{ном}$. Нормування в цьому методі полягає у встановленні залежності $K(X)$.

Управління якістю відноситься до найбільш багатопланових проблем, при рішенні яких необхідно враховувати вплив багатьох факторів як техніко-економічного, так і соціального характеру.

Головна мета полягала в тому, що на підставі аналізу всіх етапів створення продукції з точки зору впливу їх на якість створити необхідний рівень якості й підтримувати його протягом усього життєвого циклу виробу.

Відповідно до основних подань системного підходу процес управління якістю складається з наступних операцій:

- розробка програми управління і планування підвищення якості продукції;
- одержання й аналіз інформації про стан об'єкта (процесу), що впливає на якість;
- ухвалення рішення по керуванню якістю і підготовка впливу на об'єкт;
- видача керуючих впливів;
- одержання і аналіз інформації про зміни якості об'єкта, які викликані керуючими впливами.

Ці ідеї і методи з'явилися важливою передумовою появи і розвитку системного підходу до керування якістю.

Сутність цього підходу стосовно до проблеми якості полягала у встановленні, забезпеченні й підтримці оптимального рівня якості продукції при її розробці, виробництві, експлуатації або споживанні, здійснюваних шляхом систематичного контролю якості й цілеспрямованого впливу на умови і фактори.

Поняття "система управління якістю продукції" характеризує, в остаточному підсумку, діючу систему управління виробництвом, більшою мірою орієнтовану на конкретні умови споживання і припускає вивчення взаємозв'язків між технічним рівнем створюваної продукції і результатами її експлуатації або споживання, тобто потенційною (виробничою) і реальною (споживчою) якістю продукції.

Управління якістю продукції не дасть необхідного ефекту, якщо йому не будуть передувати аналіз і прогнозування конкретних потреб. Вивчення вимог споживачів є вихідним етапом процесу управління якістю продукції, найважливішою умовою нормального функціонування всієї системи управління суспільним виробництвом.

В умовах планового господарства управління якістю продукції давало найбільш відчутні результати, якщо воно здійснювалося на основі врахування народногосподарських інтересів. Планомірно організоване керування якістю продукції припускало чітку координацію всіх ланок виробництва, вимагало участі в рішенні проблеми всіх органів управління, припускаючи орієнтацію всіх галузей економіки, кожного міністерства, виробничого об'єднання й підприємства на підвищення ефективності і якості.

8.4. Якість електричної енергії

Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 13109-97 під якістю електричної енергії (ЕЕ) розуміють сукупність властивостей ЕЕ, що спричиняють придатність її для нормативної роботи електроприймачів відповідно до їх призначення при розрахунковій працездатності.

Якість ЕЕ визначається такими показниками:

- при живленні від електричних ланцюгів однофазного струму - відхилення й розмах коливань частоти, відхилення напруги, розмах зміни напруги і коефіцієнт несинусоїдальності напруги;

- при живленні від електричних ланцюгів трифазного струму - відхилення й розмах коливань частоти, відхилення напруги, розмах зміни напруги, коефіцієнт несинусоїдальності напруги, коефіцієнти несиметрії й неврівноваженості напруги;

- при живленні від електричних ланцюгів постійного струму - відхилення напруги, розмах зміни напруги й коефіцієнт пульсації напруги.

Показники якості ЕЕ можна розділити на дві групи: ПЯ, обумовлені роботою джерел живлення, і ПЯ, що характеризують вплив приймачів ЕЕ на системи електропостачання.

До першої групи показників якості відносять відхилення й розмах коливань частоти, відхилення й розмах зміни напруги, до другого - коефіцієнт несинусоїдальності напруги й коефіцієнти несиметрії й неврівноваженості напруги.

Відхилення і розмах коливань частоти

Під відхиленням частоти Δf розуміють різниця між дійсним f і номінальним $f_{ном}$ значенням основної частоти:

$$\Delta f = f - f_{ном}.$$

У нормальному режимі роботи системи електропостачання (СЕП) відхилення частоти від номінального значення повинно бути в

межах $\pm 0,1$ Гц. Допускається тимчасова робота систем електропостачання (СЕР) із відхиленням частоти, усередненим за 10 хв. у межах $\pm 0,2$ Гц. Причиною відхилення частоти є зміна активного навантаження. Наприклад, ріст активного навантаження під час її ранкових і вечірніх максимумів викликає зниження частоти.

Коливання частоти виникають в перехідних режимах. Вони характеризуються розмахом коливань Δf_m , тобто різницею між найбільшим f_{max} і найменшим f_{min} значеннями основної частоти за певний проміжок часу:

$$\Delta f = f_{max} - f_{min}.$$

Під коливанням частоти розуміють її зміну, що відбувається зі швидкістю в одну секунду. Розмах коливань частоти не повинен перевищувати 0,2 Гц.

Причинами коливань частоти є:

- відмова вузлів електростанції, що приводить до спаду частоти через недолік вироблюваної активної потужності;
- короткі замикання, при яких близько розташовані генератори спочатку сильно навантажуються, а потім розвантажуються від активного навантаження, при цьому відбувається наростання частоти.

Зміни відхилення й розмаху коливань частоти навіть у встановлених межах впливають на роботу приймачів ЕЕ і надійність електроустаткування. Так, в асинхронних двигунів значно змінюється продуктивність. У ланцюгах, що містять силові фільтри із захисними реакторами, призначеними для зниження вищих гармонійних складових, при відхиленні частоти можливі резонансні явища.

Відхилення й розмах зміни напруги

Відхилення напруги ΔU - це різниця між дійсним і номінальним $U_{ном}$ значеннями напруги:

$$\Delta U = U - U_{ном}.$$

Відносне значення відхилення напруги

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U_{ном}} 100\%.$$

Відхилення напруги від номінального значення не повинні перевищувати:

- (-5...10)% - на затискачах електродвигунів й апарата для їхнього пуску і управління;

- (-2,5...5)% - на затискачах приладів робочого освітлення у виробничих приміщеннях і суспільних будинках, а також у прожекторних установках зовнішнього освітлення;

- (-5...5)% - на затискачах інших приймачів ЕЕ, у тому числі приймачах ЕЕ в сільському господарстві.

При зміні напруги потужність на валу асинхронного двигуна залишається практично постійною, однак змінюється величина втрат активної потужності. При зменшенні напруги росте струм двигуна, що приводить до більш інтенсивного старіння ізоляції.

При підвищенні напруги збільшується споживана двигуном реактивна потужність. При відхиленні напруги від номінального значення змінюється і частота обертання вала двигуна, що впливає на продуктивність роботи устаткування.

У СЕП можливі і коливання напруги, викликані наступними причинами:

- пуском потужних електродвигунів;

- ушкодженнями мережі, що викликаються короткими замиканнями;

- вищими гармонійними складовими напруги (5-й й 7-й), що проявляються в ході процесу перетворення напруги змінного струму в напругу постійного струму.

Коливання напруги оцінюються розмахом зміни напруги й інтервалом між наступними один за одним змінами напруги. Розмахом зміни напруги ΔU_p називають різниця між наступними один за одним екстремумами, що огинає діючого значення напруги.

$$\Delta U_p = U_{\max} - U_{\min}.$$

Відносне відхилення напруги

$$\delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{ном}}} 100\%.$$

Розмах зміни напруги δU_t у відсотках (рис. 8.3):

$$\delta U_t = \frac{U_t - U_{t+1}}{\sqrt{2}U_{\text{ном}}} 100\%,$$

де U_t, U_{t+1} - значення наступних один за одним екстремумів (або екстремуму і горизонтальної ділянки), що огинає амплітудні значення напруги, В.

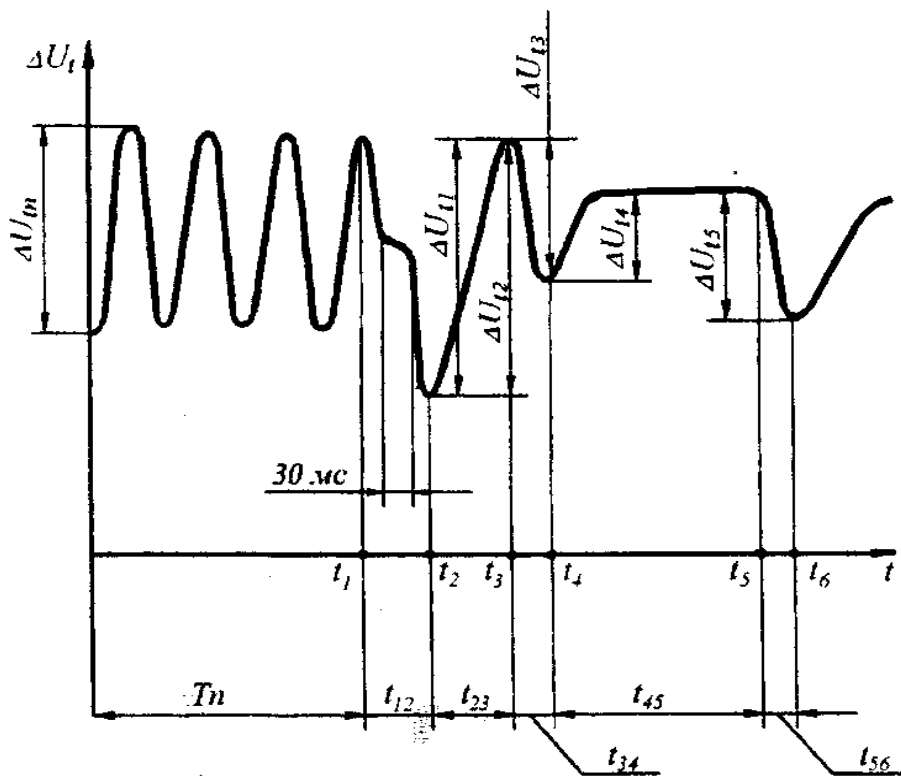


Рисунок 8.3 - Розмахи коливань напруги

ΔU_{tm} - розмах періодичних коливань; $\Delta U_{t1} - \Delta U_{t5}$ розмах неперіодичних коливань

До розмаху зміни напруги відносять одиночні зміни напруги будь-якої форми із частотою повторення більше двох разів на хвилину (1/60 Гц) і розмахи із частотою повторення від двох разів на хвилину до одного на годину, що мають швидкість розмаху напруги більше $\frac{0,1\%}{c}$ для ламп розжарювання й $\frac{0,2\%}{c}$ - для інших електроприймачів.

Тривалість провалу напруги Δt_n в секундах (рис. 8.4) обчислюється по формулі

$$\Delta t_n = t_k - t_n.$$

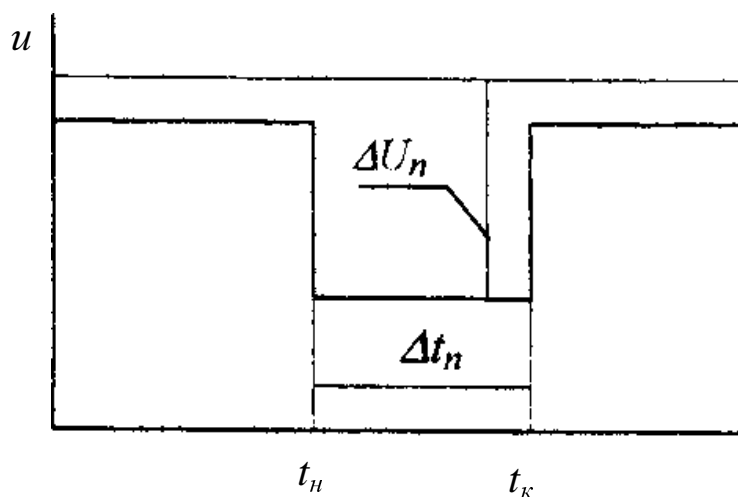


Рисунок 8.4 - Провал напруги

Відповідно до рис. 8.5 імпульсна напруга

$$\delta U_{имп} = \frac{U_{имп}}{\sqrt{2}U_{ном}},$$

де $U_{имп}$ - значення імпульсної напруги.

Періодичні коливання напруги оцінюються додатковим показником якості електричної енергії - коефіцієнтом амплітудної модуляції, що відповідно до рис. 8.6 визначається так:

$$K = \frac{U_{нба} - U_{нма}}{2\sqrt{2}U_{ном}}.$$

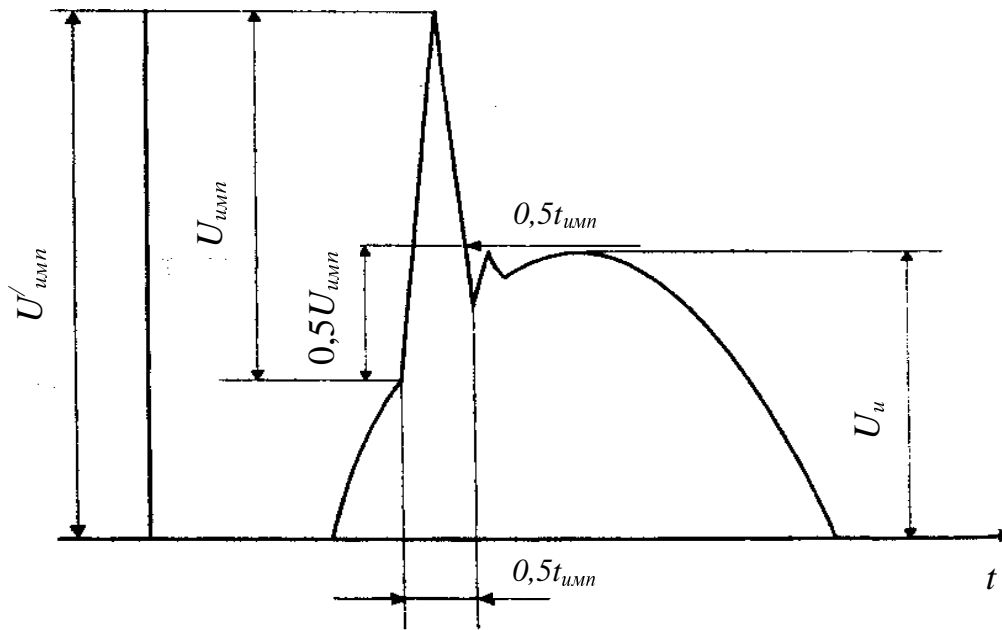


Рисунок 8.5 - Імпульс напруги

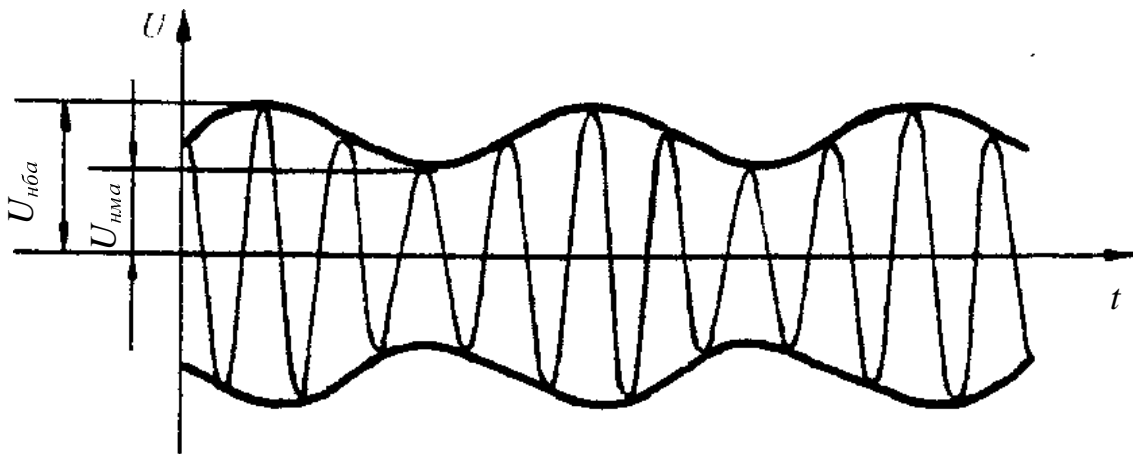


Рисунок 8.6 – Періодична амплітудна модуляція

Несинусоїдальність напруги

Ряд приймачів ЕЕ (статистичні перетворювачі напруги змінного струму в напругу постійного струму, установки для електрозварювання) мають нелінійні вольт-амперні характеристики. При підведенні синусоїдальних напруг до таких приймачів виникають несинусоїдальні струми. Струми вищих гармонік протікають від джерела гармонік у напрямку живильної мережі до генератора електростанції. При цьому на затискачах інших приймачів

З'являються напруги вищих гармонік і мають місце додаткові втрати активної потужності, які можуть бути обчислені по формулі

$$\Delta P_{nc} = 3 \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot R ,$$

де I_i - струм i -ї гармоніки;

R_i - активний опір елемента струму i -ої гармоніки.

Це приводить до перегріву обмоток електричних машин, старінню ізоляції обмоток, перекручення показань електровимірювальних приладів, викликає збої в пристроях релейного захисту й автоматики. Несинусоїдальність напруги оцінюють за допомогою коефіцієнта несинусоїдальності, відношення діючого значення до напруги першої гармоніки

$$K_n = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}}{U_1} ,$$

де U_i - діюче значення напруги i -ої гармоніки.

Коефіцієнт несинусоїдальності не повинен перевищувати величину, рівну 5% на затискачах будь-якого приймача. Для зниження коефіцієнта несинусоїдальності застосовують фільтри вищих гармонік, як правило, 5, 7, 11 й 13-ої гармонік. Фільтр являє собою послідовний коливальний контур, настроєний на частоти 5, 7, 11 й 13-ої гармонік.

Коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги у відсотках розраховують по співвідношенню

$$K_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{ном}} 100\% ,$$

де U_n діюче значення напруги n -ої гармонійної складової напруги.

Доза коливань напруги - інтегральна характеристика коливань напруги, що викликають у людини роздратування, що накопичуються

за встановлений період часу, через миготіння світла. Дозу коливань напруги ψ у відсотках у квадраті обчислюють так.

$$\psi = \frac{1}{\Theta} \int \sum_{i=1}^n g_i^2 \cdot \delta U_t^2 dt,$$

де t - час у хвилинах:

Θ - інтервал часу усереднення, рівний 10 хв:

g_i - коефіцієнт приведення дійсних размахів зміни напруги до еквівалентного (рис. 8.7);

δU_t - діючі значення складових розкладання в ряд Фур'є змін напруги з розмахом δU_t .

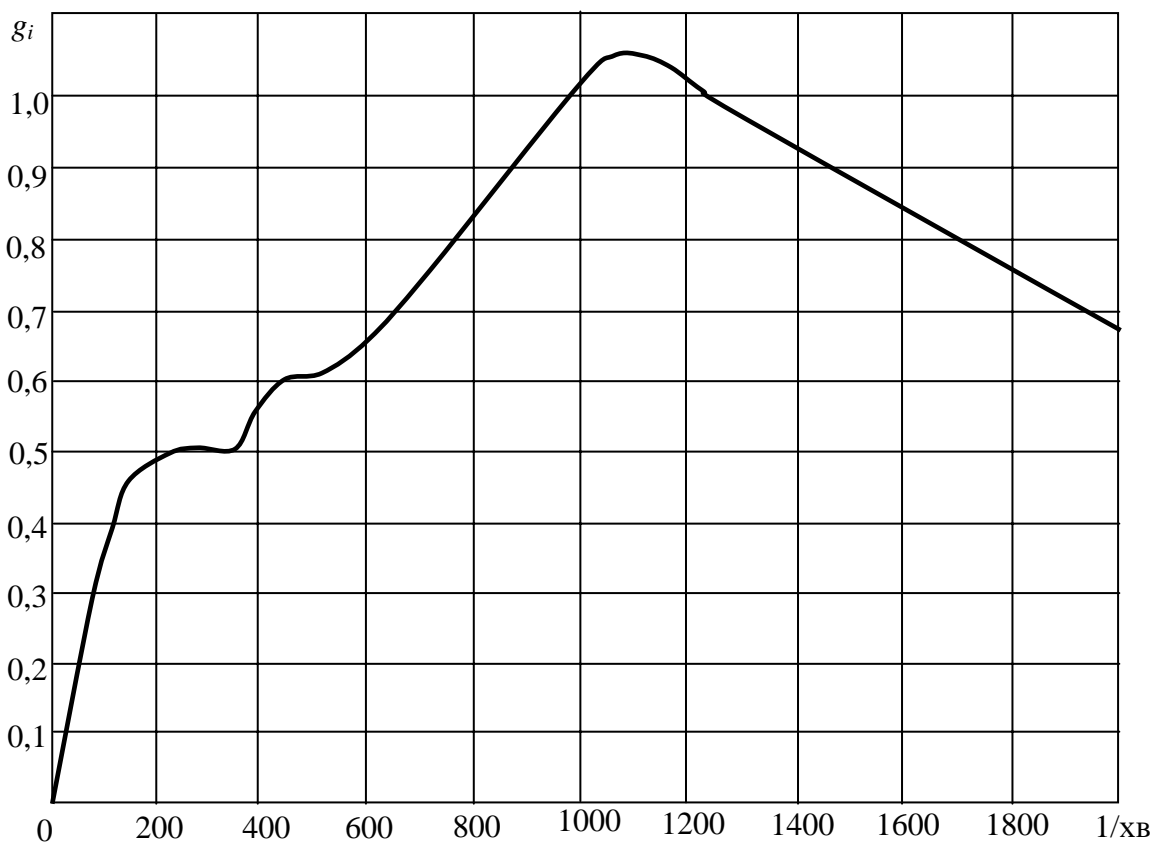


Рисунок 8.7 – Графік залежності коефіцієнта приведення g_i від частоти зміни напруги в 1/хв

9. АВТОМАТИЗАЦІЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ СЛУЖБИ ПІДПРИЄМСТВА

9.1. Основні функції метрологічної служби підприємств

Структура метрологічної служби підприємства й організації розробляється виходячи з особливостей виробництва й обсягу покладеної на неї роботи. Аналіз наявного досвіду свідчить, що організаційна структура метрологічної служби може бути реально представлена трьома варіантами: **1** - припускає формування з основних ланок (лабораторій, бюро, секторів), кожне з яких вирішує окремі специфічні завдання метрологічного забезпечення у всіх областях вимірювань. Побудова метрологічних органів у цьому випадку дає можливість говорити про так названу «комплексну» систему організації; **2** - припускає побудову метрологічної служби з основних ланок, кожне з яких вирішує всі завдання метрологічного забезпечення в межах однієї або декількох галузей вимірювань. Така побудова говорить про «спеціалізовану» систему організації *метрологічної служби*; **3** - ґрунтується на комбінації комплексних і спеціалізованої систем, створюючи «комбіновану» систему організації метрологічної служби.

Кожна із систем має певні достоїнства й недоліки, але їх реальна оцінка можлива тільки на основі вивчення й виконання техніко-економічного розрахунку стосовно до конкретного підприємства або організації.

Основні функції метрологічної служби підприємств і організацій полягають у наступному:

- проведенні аналізу стану вимірювань на всіх стадіях створення й використання продукції;
- визначенні оптимальної номенклатури засобів вимірювань і їхньому впровадженні для забезпечення підвищення

- ефективності виробництва і якості продукції;
- впровадженні міждержавних, державних і галузевих стандартів і інших нормативних документів, що регламентують метрологічні норми й правила;
 - організації й проведенні метрологічного контролю і нагляду;
 - створенні й впровадженні сучасних методів вимірювань і засобів вимірювань;
 - розробці і атестації методик виконання вимірювань;
 - організації і проведенні метрологічної експертизи технічної документації;
 - розробці і впровадженні стандартів підприємства з питань метрологічного забезпечення життєвого циклу продукції;
 - оцінюванні метрологічних характеристик засобів вимірювань і похибки (невизначеності) методик виконання вимірювань;
 - складанні переліків засобів вимірювань, які перебувають в експлуатації й підлягають перевірці, і їхньому узгодженні з територіальним органом;
 - участі в аналізі причин браку продукції і інших збитків у виробництві, пов'язаних з порушенням метрологічних норм і правил;
 - проведення вимірювань з метою усунення розбіжностей між підрозділами, а також високоточних вимірювань із застосуванням унікальних засобів вимірювань відсутніх в інших підрозділах.

Метрологічні служби підприємств і організацій наділені правом залучати до виконання робіт з метрологічного забезпечення інші підрозділи підприємств і організацій; одержувати від керівників підрозділів відомості й матеріали, необхідні для виконання своїх обов'язків; видавати приписи про припинення і усунення порушень метрологічних норм і правил; представляти свою організацію з питань метрологічного забезпечення в інших організаціях з

доручення керівництва; вносити пропозиції про заохочення працівників за впровадження сучасних методів вимірювань і засобів вимірювань, а також про накладення стягнень й залученні до відповідальності осіб, що порушують метрологічні норми й правила; вносити пропозиції про скасування наказів і розпоряджень, що суперечать чинному законодавству з питань метрологічного забезпечення.

9.2. Основні вимоги до систем автоматизації метрологічної служби

Автоматизація управління метрологічним обслуговуванням засобів вимірювання на підприємствах і в організаціях є новим прогресивним способом підвищення ефективності роботи метрологічних служб, важливого складового комплексного керування якістю продукції. Автоматизація керування метрологічним обслуговуванням засобів вимірювань, особливо обліку й планування, є технічно доступним й економічно рентабельним заходом.

Крім завдань власне управління метрологічним обслуговуванням можна розглядати і автоматизувати завдання дослідження процесу метрологічного обслуговування - аналіз статистики відмов засобів вимірювань, моделювання різних характеристик процесу метрологічного обслуговування й т.п.

У ході рішення цих завдань у процесі управління метрологічним обслуговуванням представляється можливим автоматично уточнювати мету функціонування системи, критерії оптимальності і ін. З іншого боку, інформація, що збирається в процесі автоматизованого рішення, становить вихідні дані для нових досліджень і моделювання.

Можливі різні варіанти апаратурної реалізації й рішення метрологічних завдань на підприємствах шляхом їхньої

автоматизації, різноманітний склад завдань і глибина їх обробки. Тому далі викладений матеріал варто розглядати як один з варіантів методології проектування й практичної реалізації автоматизованої системи керування метрологічним обслуговуванням засобів вимірювань.

Рішення прикладних завдань може вироблятися за допомогою ЕОМ шляхом створення автоматизованої системи керування метрологічним обслуговуванням засобів вимірювань (АСУ МО), що дозволяє найбільш економічним шляхом вирішувати практичні завдання метрологічного обслуговування, включаючи складні оптимізаційні завдання.

При створенні такої системи керуються метою управління, з якою пов'язаний критерій ефективності (критерій якості) функціонування системи управління (цільова функція). Вибір цільової функції відбиває змістовну постановку завдання. Після цього розробляється модель завдання, тобто дається її формалізований опис. Далі йде розробка алгоритму рішення і, нарешті, розробка програми (або інструкцій, при ручному способі виконання робіт).

Міра необхідності створення системи перебуває у прямій залежності від кількості засобів вимірювань в обслугованому парку підприємства.

Для досить докладного опису парку засобів вимірювань обсяг тільки первинної інформації, оброблюваної при їхньому метрологічному обслуговуванні, (з розрахунку 20-30 реквізитів на один засіб вимірювання) дуже великий. Такі обсяги інформації обробляти вручну в прийнятний термін і з необхідною точністю практично неможливо, тому тільки застосування ЕОМ з їхньою високою продуктивністю і точністю обчислень дозволить вирішити поставлені завдання.

При розробці системи автоматизованого управління

метрологічним обслуговуванням для підприємства, що має функціонуючу АСУ виробництва необхідно, щоб розроблювальна АСУ МО задовольняла вимозі сумісності в інформаційному, програмному, технічному і лінгвістичному аспектах.

Таким чином, до АСУ МО підприємства доцільно пред'явити наступні загальні вимоги:

- автоматизації підлягають першочергові завдання (завдання обліку засобів вимірювань і планування їхнього обслуговування, інформаційно-довідкові і ін.) і перспективні завдання (оптимізаційні, оцінки характеристик метрологічного обслуговування засобів вимірювань, оцінки правильності їхнього вибору і ефективного використання і т.д.);

- створення системи автоматизованого рішення завдань метрологічного обслуговування засобів вимірювань варто робити за критерієм максимуму ефективності рішення цих завдань при наявності обмежень на обчислювальні ресурси (обсяги оперативної й зовнішньої пам'яті, швидкодія, точність, надійність й ін.). В окремих випадках критерієм створення такої системи може бути мінімум на метрологічне обслуговування і мінімум втрат основного виробництва, максимум швидкодії або надійності роботи системи;

- АСУ метрологічним обслуговуванням засобів вимірювань повинна бути економічно рентабельною. При цьому критерієм рентабельності створеної на підприємстві системи є мінімально припустима кількість засобів вимірювань підприємства, що підлягають обслуговуванню;

- створювана система повинна мати достатню реактивність, тобто дозволяти оперативно вирішувати перераховані завдання;

- для рішення завдань на ЕОМ необхідно наявність формалізованих моделей автоматизованих процесів по кожному завданню, включаючи загальну модель функціонування системи й

ряд приватних моделей, наприклад: модель експлуатації, тимчасову модель, досконалу модель, модель надійності, модель оцінювання правильності вибору й ефективності використання засобів вимірювань, модель визначення оптимальної величини міжповірного інтервалу (МПІ);

- основні характеристики метрологічного обслуговування повинні визначатися характером виробництва, структурою парку, що обслуговується засобами вимірювань, точністю технологічних операцій і т.д.;

- забезпечення автоматизації метрологічного обслуговування доцільно будувати на основі або в складі АСУ підприємства;

- у складі метрологічної служби підприємства доцільно мати підрозділ, на який покладається рішення завдань автоматизації і інтерпретація їхніх результатів, удосконалювання системи.

Загальні вимоги до автоматизованого керування метрологічним обслуговуванням засобів вимірювань, сформульовані вище, і моделі обслуговування, а також метод системного аналізу, дозволяють визначити принципи побудови автоматизованої системи управління і методи рішення завдань метрологічного обслуговування засобів вимірювань підприємства.

Крім того, побудова АСУ МО враховує той факт, що пропонована система є не тільки засобом автоматизованого управління, але і засобом дослідження керованого об'єкта з метою подальшої оптимізації і розвитку системи керування.

9.3. Розробка автоматизованої системи метрологічного обслуговування підприємств й організацій

Автоматизоване рішення завдань метрологічного обслуговування за допомогою ЕОМ крім традиційних методів автоматизації передбачає активне використання моделей існуючої

системи метрологічного обслуговування (СМО) і результатів моделювання. АСУ МО заснована на моделюванні й рішенні її завдань за допомогою ЕОМ (рис. 9.1) і відноситься до класу адаптованих інформаційно-довідкових систем [23].

База даних (БД) є сховищем інформації про стан парку засобів вимірювань і повинна бути піддана впливам з боку предметної області (тобто існуючої СМО), вираженим у вигляді даних про зміни стану парку; з боку моделей функціонування СМО у вигляді відомостей про зміну складу збережених даних і відносин між ними. Програмне забезпечення системи робить розрахунки вихідних показників, що характеризують діяльність СМО. Состав і показність таких показників, а також критерії оцінки оптимальності надходять із боку моделей функціонування системи.

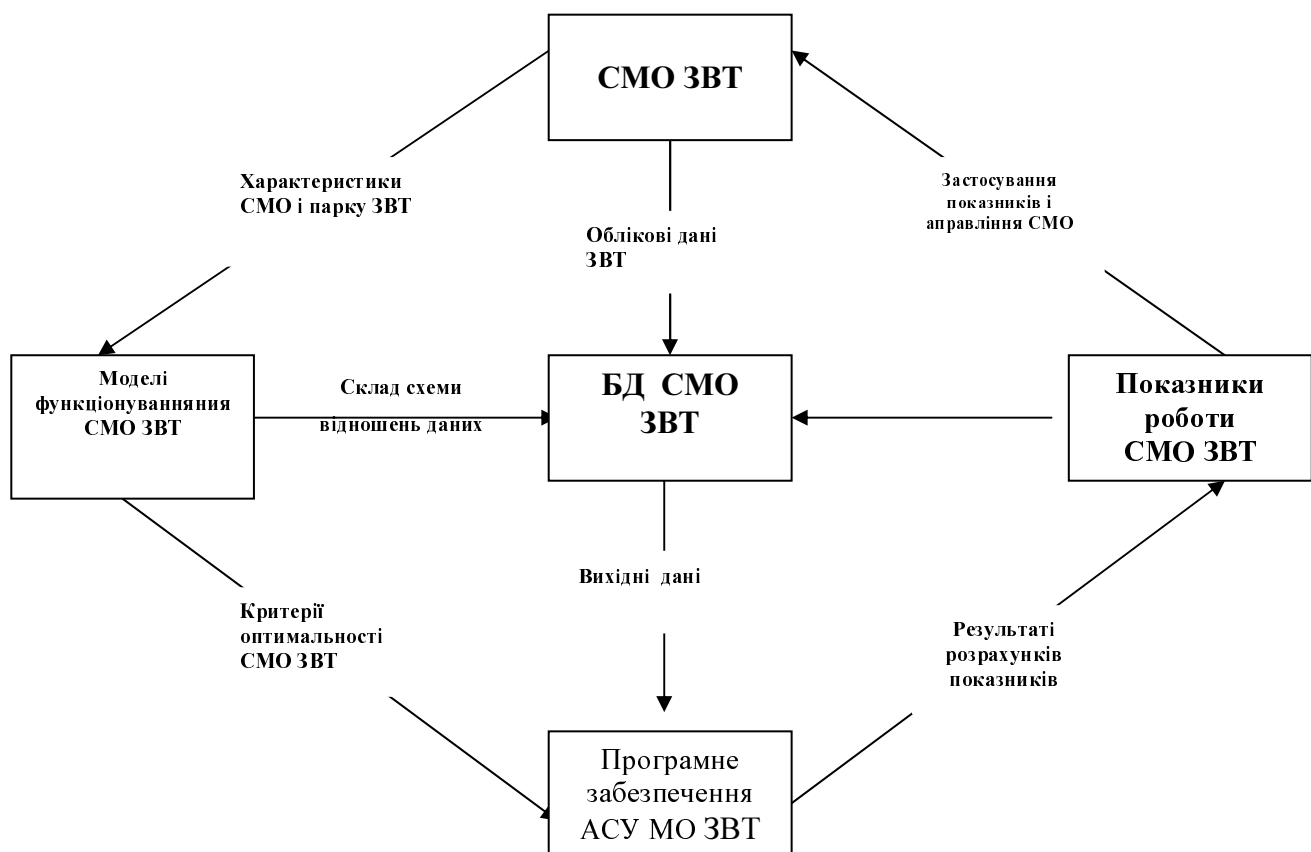


Рисунок 9.1 - Система автоматизованого управління СМО (схема функціонування)

При створенні АСУ МО керуються загальними засадами, такими, наприклад, як системність (комплексність), функціональність, типовість, технологічність, етапність.

Виходячи із цих принципів, АСУ МО можна віднести до класу гібридних інформаційних систем, тому що її класи завдань мають властивості різних типів систем. У цьому плані АСУ МО можна розглядати як адаптацію багатоцільової інформаційно-довідкової системи.

АСУ МО, будучи інформаційно-довідковою системою, припускає наявність у ній наступних складових (контурів): фактографічного, що забезпечує зберігання й обробку даних в аналітичному вигляді (розрахунок вихідних показників на підставі вхідних); документального, що представляє вихідні дані у формі, необхідної користувачеві, що забезпечує, виробляє введення і первинну обробку вхідних даних.

Функціонування системи розглядається тут як взаємодія її складових. Фактографічний контур припускає зберігання й супровід інформації у вигляді БД за допомогою спеціальних програм їхнього ведення й системи управління базами даних (СУБД). Обробка аналітичних даних проводиться прикладними програмами розрахунку вихідних показників. У документальному контурі вихідні показники за допомогою відповідних програм перетворюються в образи вихідних документів.

У процесі дослідження функціональної структури, схеми рішення завдань системи, організаційної структури підприємства, будується інформаційна модель АСУ МО. Ціль розробки такої моделі полягає в тім, щоб визначити інформаційні потоки, виявити зв'язки між завданнями, класифікувати джерела і споживачів інформації. Далі на підставі інформаційної моделі системи й виходячи зі структури і функцій підсистем інформаційно-довідкової системи

будується інформаційне й програмне забезпечення.

АСУ МО, будучи інформаційно-довідковою системою, припускає у своєму складі набір засобів спілкування системи з різними категоріями її користувачів. Для інформаційних систем загального призначення такі засоби спілкування представляє мову користувача. Фактори, що впливають на вибір таких мовних засобів, залежать від характеру категорії користувачів і запитів їх до інформаційної складової системи.

Таким чином, правильно організоване й економічне метрологічне обслуговування засобів вимірювань підприємства доцільно будувати як автоматизовану систему перетворення й обробки інформації про технічний стан парку засобів вимірювань.

Розглянемо приклад створення автоматизованої системи метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки, реалізованої у вигляді автоматизованого робочого місця метролога «АРММ». АРММ призначене для автоматизації рішення наступних завдань метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки підприємства:

- облік засобів вимірювань підприємства;
- планування перевірочних робіт;
- аналіз стану й раціонального використання наявного парку засобів вимірювань;
- організація й управління діяльності метрологічних служб;
- складання довідок, що містять певні технічні характеристики певних груп засобів вимірювань (маси, об'єму, вартості, кількості) по різних рівнях підсумків (по місяцях, цеху, інвентарній групі);
- складання попереджень цеху про неперед'явлення приладів на перевірку.

Структура АРММ представлена на рисунку 9.2.

Вихідними даними для АРММ є: облікові дані про засоби

вимірювань і їхньому стані (блок 1); повідомлення про зміни стану парку засобів вимірювань (блок 2); рапорту про перевірки (блок 3); типові технічні характеристики засобів вимірювань (блок 4).

Результатами рішення метрологічних завдань є: плани перевірочних робіт (блок 5); довідки про характеристики парку засобів вимірювань, що містять технічні характеристики різних груп засобів вимірювань (маси, об'єму, площі, вартості, кількості) по декількох рівнях підсумків (по місяцях, цеху, інвентарній групі, «усього») (блок 6); попередження про неперед'явлення засобів вимірювань на перевірку (блок 7); заявки на придбання засобів вимірювань (блок 8).

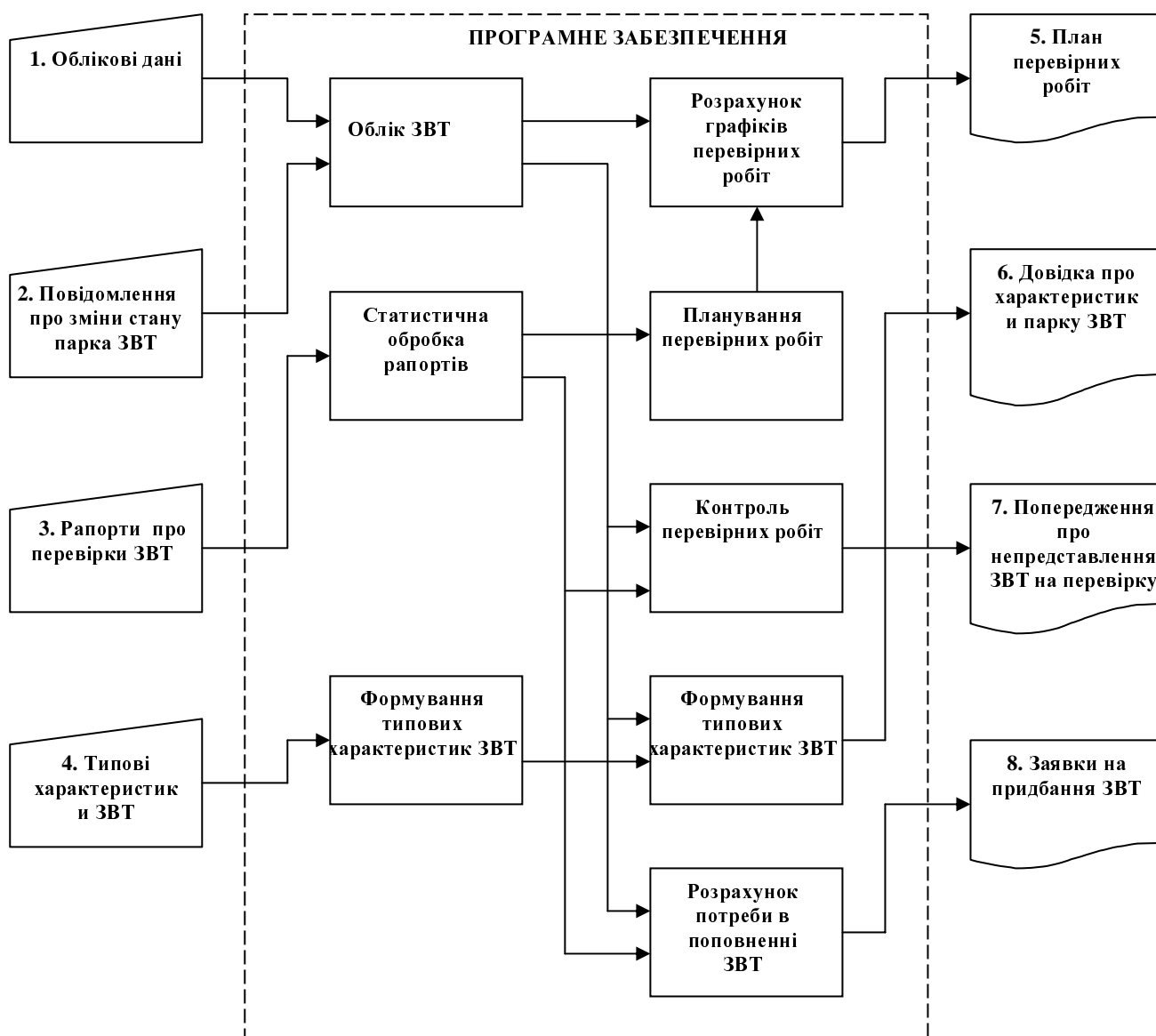


Рисунок 9.2 - Структура «АРММ»

Автоматизоване робоче місце метролога - це комп'ютерна інформаційна система, що призначена для зберігання й нагромадження даних, пошуку й відбору, їхньої обробки з метою внесення необхідних змін у вихідні дані.

Програмне середовище розроблене в середовищі візуального програмування Borland Delphi 7.0 і розраховані на використання в операційному середовищі Windows, маючи звичний більшості користувачів стандартний інтерфейс програм.

Робота із системою будується в діалоговому режимі за допомогою меню, підказок і т.п. Система представлена у відкритому вигляді - система меню, підказок таблиць і текстів може коректуватися користувачем як завгодно.

При завантаженні АРММ завантажується головне вікно програми (рис. 9.3).

Головне вікно складається з наступних елементів:

- рядка головного меню;
- робочого вікна.

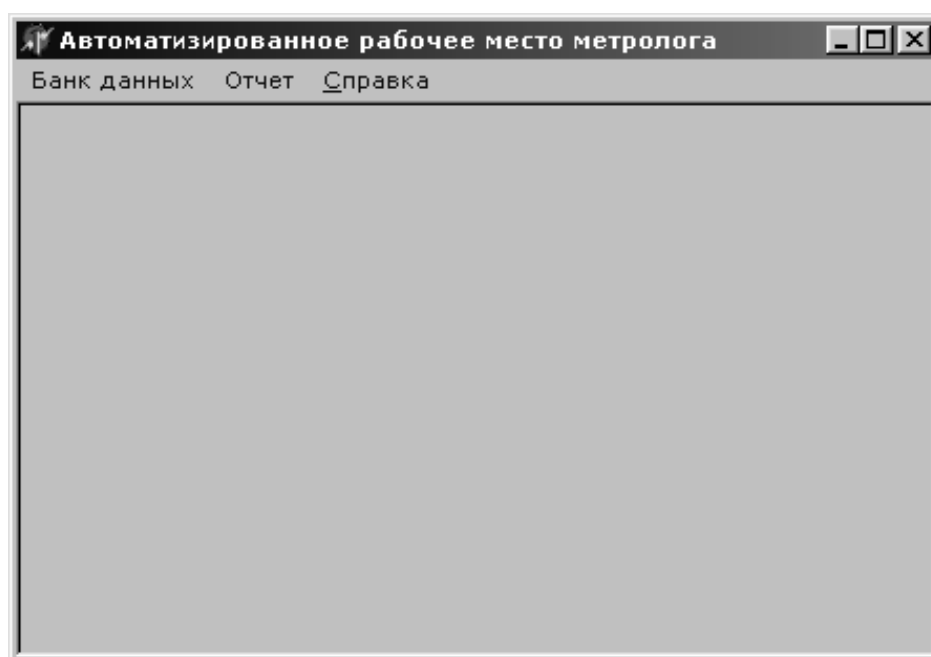


Рисунок 9.3 - Головне вікно АРММ

Головне меню.

Головне меню дозволяє одержати доступ до всіх функцій, надаваним АРММ, таким як введення даних, створення звітів, перегляд бази даних і т.д.

Команди мають клавіатурні комбінації, наведені праворуч від імені команди.

Головне меню містить у собі:

- підменю *Банк даних*;
- підменю *Звіт*;
- підменю *Довідка*.

Пункт меню *Банк даних* містить наступні елементи (субменю):

- *Засоби вимірювальної техніки*;
- *Типи приладів*;
- *Введення даних*;
- *Вихід*.

Пункт *Звіт* містить команди, що дозволяють створювати звітні документи з результатами рішення завдань метрологічного обслуговування.

Пункт *Довідка* дозволяє одержати доступ до керування користувача. У керуванні користування при роботі із системою наведений опис системи і її призначення: склад програмних і технічних засобів і їхнє призначення; дане опис взаємодії окремих підсистем і блоків; зазначений порядок виконання роботи програми.

Команда *Засобу вимірювальної техніки* відкриває доступ до БД і виводить діалогове вікно *Засобу вимірювальної техніки* (рис. 9.4).

Діалогове вікно *Засобу вимірювальної техніки* складається з наступних елементів:

- панель інструментів;
- робоче вікно 1, що містить таблицю «*Засобу вимірювальної техніки*»;

- робоче вікно 2, що містить таблицю «Стан»;
- статусний рядок.

ИНИГ	ИНВ№	Тип прибора	КУЭ	Цех	НГ	ВГ	ЕИ	ГВ	Э№
3	164	Ц-19	4	1	-5	5		1998	54787
17	5	ОС-64	5	2	-100	100		2001	1024
26	140	ОС-64	1	1	-100	100		2001	630
28	101	ОС-64	1	2	-100	100		2001	951
3	18	Ц-19	5	1	-3	3		1998	18365

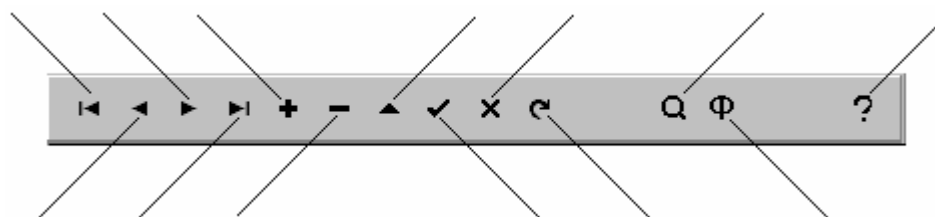
ИНВГ	ИНВ№	Дата поверки	РП	ОП	Дата очередной поверки
3	164	01.10.00	о		01.10.01
3	164	01.10.01			01.10.02

Рисунок 9.4 - Діалогове вікно Засобу вимірювальної техніки

Панель інструментів (рис. 9.5) складається з ряду кнопок виконують наступні функції:

- навігація по наборі даних;
- зміна набору даних;
- робота з даними;
- виклик довідки.

Перший Наступний Додати Редагувати Скасувати Пошук Довідка

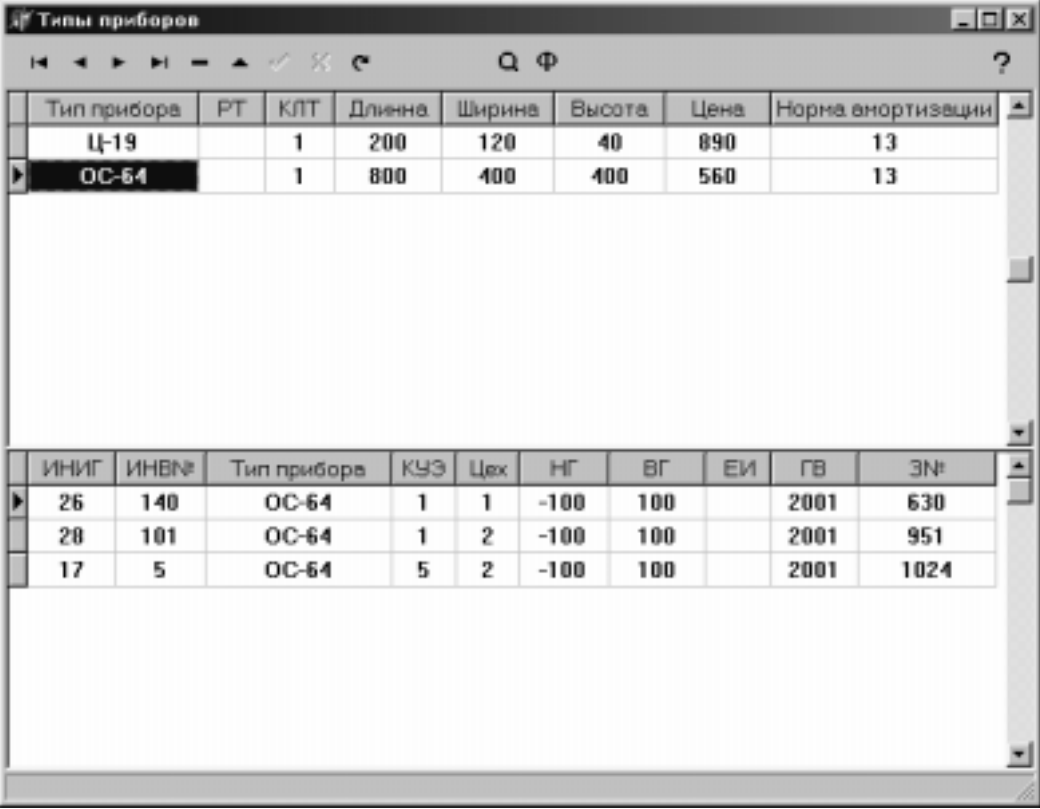


Попередній Останній Видалити Зберегти Обновити Фільтр

Рисунок 9.5 - Панель інструментів

Пошук засобів вимірювань у БД здійснюється по інвентарному або заводському номеру. Фільтрація даних здійснюється по наступних полях: «тип приладу», «цех» і «інвентарна група».

Команда *Типи приладів* робить підключення до БД і виводить на монітор діалогове вікно *Типи приладів* (рис. 9.6).



The screenshot shows a window titled "Типи приладів" (Types of Instruments). It contains two tables. The top table lists instrument types with columns: Тип прибора, РТ, КЛТ, Довжина, Ширина, Висота, Цена, and Норми амортизації. The bottom table lists individual instruments with columns: ИНИГ, ИВН№, Тип прибора, КУЭ, Цех, НГ, ВГ, ЕИ, ГВ, and ЗН#.

Тип прибора	РТ	КЛТ	Довжина	Ширина	Висота	Цена	Норми амортизації
Ц-19		1	200	120	40	890	13
ОС-64		1	800	400	400	560	13

ИНИГ	ИВН№	Тип прибора	КУЭ	Цех	НГ	ВГ	ЕИ	ГВ	ЗН#
26	140	ОС-64	1	1	-100	100		2001	630
28	101	ОС-64	1	2	-100	100		2001	951
17	5	ОС-64	5	2	-100	100		2001	1024

Рисунок 9.6 - Діалогове вікно *Типи приладів*

Пункт меню *Введення даних* містить команди введення даних:

Індивідуальні характеристики засобів вимірювань;

Типові технічні характеристики;

Звіти про результати перевірки.

Діалогове вікно введення індивідуальних характеристик засобів вимірювань представлено на рисунку 9.7.

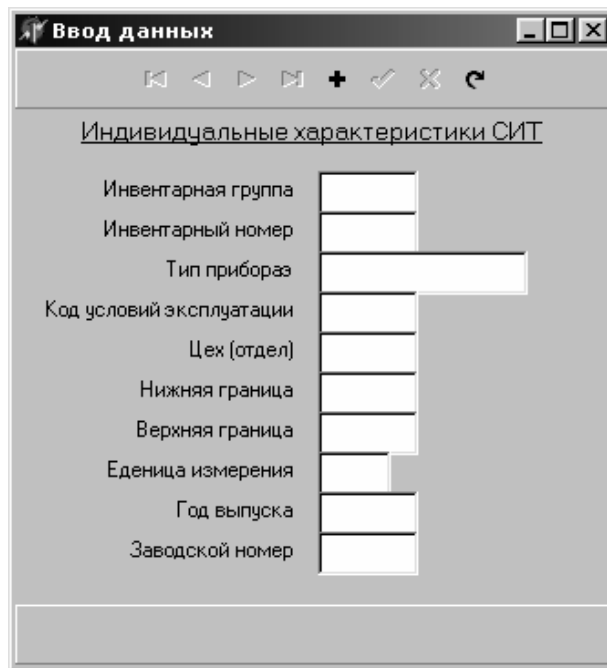


Рисунок 9.7 - Діалогове вікно введення даних

При введенні нової інформації система запитує індивідуальний номер засобу вимірювання, і якщо такого в БД немає, зберігає введені дані. Потім система визначає наявність даного типу в БД і якщо такий тип не визначений, пропонує ввести необхідні дані.

Меню *Звіт* для розрахунку і друку плану перевірочних робіт, переліку засобів вимірювань, складання довідок, що містять певні технічні характеристики певних груп засобів вимірювань, складанні попереджень цеху про непред'явлення приладів на перевірку і ін.

При плануванні перевірочних робіт система запитує строки планування й підрозділ підприємства (рис. 9.8).

План перевірних робіт виводиться на друк в зручному і наочному виді, при цьому передбачений режим попереднього перегляду й налаштування параметрів друку (рис. 9.9).

Завершення роботи із програмою здійснюється командою *Вихід* меню *Банк даних*.

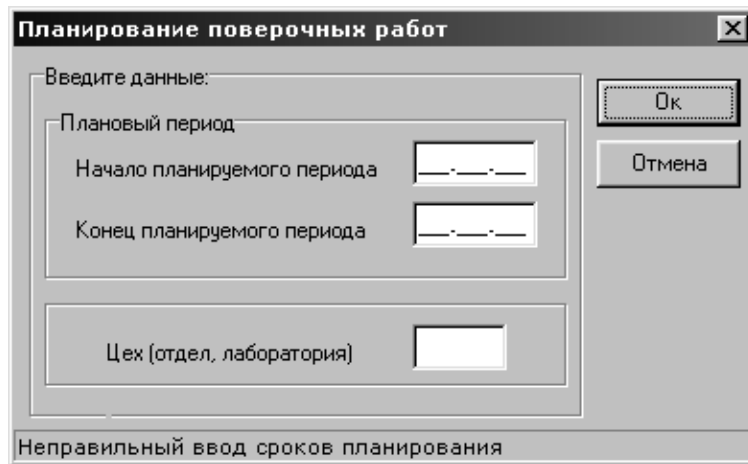


Рисунок 9.8 - Диалог введення строків планування перевірочних робіт

Цех	Тип прибора	Инвентарный номер	Год выпуска	Значение показателя	Дата поверки	Дата следующего поверки
10	Ц-19	18	1998	48758	01.02.01	01.02.02
10	Ц-19	164	1997	54787	01.10.01	01.10.02

Рисунок 9.9 - Экран попереднього перегляду перед виводом на друк

Діяльність адміністратора БД у частині супроводу БД характеризується наступними функціями:

- надання технічної допомоги користувачеві при складанні опису БД;

- завантаження БД;
- підтримка БД в актуальному стані;
- забезпечення збереження БД.

Процес експлуатації бази даних системи «АРММ» припускає звертання до неї в інтерактивному режимі. Процес експлуатації БД припускає виконання наступних функціональних й інформаційно-довідкових завдань:

- планування перевірочних робіт;
- введення звітів про результати перевірок;
- коректування індивідуальних характеристик;
- коректування типових характеристик;
- введення нових даних і ін.

Планування перевірочних робіт зводиться до формування і видачі плану періодичних перевірок. План видається з обліком початкового й кінцевого строків планування, а також для певних підрозділів організації (підприємства). Якщо підрозділ, для якого необхідно сформувавши графік, не зазначено - формується план перевірочних робіт для всього підприємства.

Для режиму введення звітів про результати перевірок система пропонує ввести індивідуальний номер засобу вимірювання і результати перевірки. Після введення інформації система запам'ятовує її для формування статистичних даних.

Коректування типових (індивідуальних) характеристик проводиться в процесі експлуатації бази даних. При цьому тип засобів вимірювання і його інвентарний номер зміні не підлягають.

Програмне забезпечення системи містить у собі: базу даних InterBase-сервера для зберігання даних про засоби вимірювань; завантажувальний модуль для запуску системи; файл із описом керівництва користувачеві; програмні модулі (головний модуль

програми, підключення до БД, введення даних у БД, створення звітів, реалізація фільтрації і пошуку даних).

Результати функціонування даної системи, як і будь-який інший АСУ, проявляються в джерелах її ефективності при впровадженні. У загальному випадку методи визначення економічної ефективності АСУ різних призначень значно відрізняються між собою головним чином составом елементів непорядкованості (втрат) і ступенем впливу використаної інформації на стан керованої системи.

Основним критерієм економічної ефективності розробки й впровадження АСУ є зростання прибутку промислового підприємства на основі росту продуктивності суспільної праці, тобто в основному за рахунок зниження витрат на виробництво продукції. Як кількісне вираження економічної ефективності створення АСУ приймається річна економія від впровадження АСУ і строк окупності додаткових капітальних вкладень.

Джерелами економічної ефективності в сфері виробництва при впровадженні АСУ є:

- збільшення випуску продукції;
- ріст продуктивності праці завдяки кращій організації виробництва;
- скорочення простоїв і понаднормових робіт;
- підвищення коефіцієнта завантаження устаткування;
- зниження браку завдяки підвищенню ритмічності виробництва;
- зменшення нормованих оборотних коштів;
- скорочення витрат товароматеріальних цінностей;
- зниження непродуктивних витрат, пов'язаних зі зменшенням штрафів, пені, неустойок,
- скорочення умовно постійних витрат.

Фактори економії і власне економія по кожному фактору

можуть бути визначені й прямим рахунком. Це можна зробити для АСУ, що дають більшу економію, де здійснюються розрахунки по оптимізації плану виробництва або впровадження АСУ супроводжується значним скороченням втрат у виробництві. Економія й прибуток, одержувані в результаті оптимізації плану виробництва, прямо пропорційні витратам і умовно постійним витратам і цілком включаються в загальну економію.

Економічна ефективність АСУ визначається річним приростом прибутку у зв'язку з функціонуванням АСУ, річним економічним ефектом й ефективністю витрат на її створення (рис. 9.10).

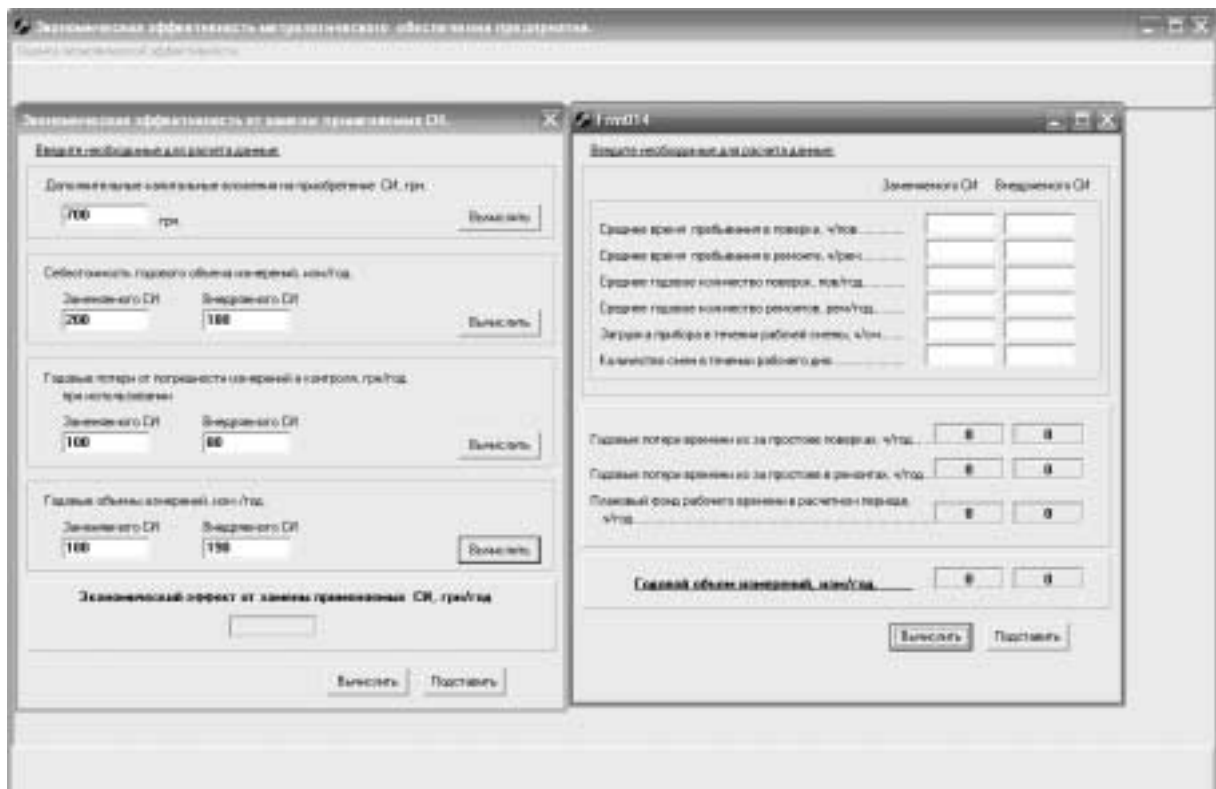


Рисунок 9.10 - Діалогове вікно введення даних для розрахунку економічної ефективності метрологічного забезпечення підприємства

Якщо говорити про непрямі складові ефективності впровадження системи, то потрібно відзначити наступне. Перше позитивне зрушення після впровадження системи спостерігається в частині систематизації вимірювальної техніки, наведення порядку в

обліку засобів вимірювань. Оскільки для системи потрібна інформація про наявність різних засобів вимірювань, їхньому стані, технічних характеристик, то її впровадженню передуює етап паспортизації вимірювальної техніки. Це приводить до наведення порядку у вимірювальному господарстві.

Наступне, що приносить впровадження системи автоматизації МО засобів вимірювань - це наведення порядку в організації перевірочних робіт. ЕОМ же видає графік перевірки приладів по місяцях і підрозділах. Перший графік передається в метрологічну службу для планування перевірочних робіт, другий - підрозділам для планування пред'явлення наявних у них засобів вимірювань на перевірку. Графік складається з урахуванням рівномірного завантаження метрологічної служби. Це сприяє виробництву перевірочних робіт у найбільш короткі терміни.

З іншого боку, регулярні перевірки засобів вимірювань сприяють підтримці їх високих технічних характеристик, що позитивно позначається на якості продукції. У випадку відхилень у перевірочних роботах (прилад не пред'явлений вчасно на перевірку або підлягає списанню за результатами перевірки) система видає відповідну інформацію у вигляді заявок придбання приладів замість списаних або попереджень підрозділам про зрив строків пред'явлення засобів вимірювань на перевірку. Це сприяє своєчасному відновленню парку засобів вимірювань, підтриманні його в задовільному технічному стані, виконавській дисципліні підрозділів, що експлуатують засоби вимірювань і т.д.

Далі в процесі функціонування системи накопичується статистика відмов засобів вимірювань, на її підставі виробляється перерахунок МПП з урахуванням різних критеріїв (якості продукції, що випускається, економічних показників і т.п.). Подальше планування процесу перевірочних робіт проводиться на підставі

нового МПІ, що приводить до зниження втрат на перевірочні роботи, поліпшенню комплексних показників роботи метрологічної служби підприємства.

Система дозволяє розраховувати виробничі площі під метрологічні служби, визначати трудомісткість виконання робіт з метрологічного обслуговування. Причому визначаються верхня й нижня границі трудомісткості виконання таких робіт, тобто можна оцінити, до якої величини можна скоротити трудомісткість виконання перевірочних робіт за рахунок раціональної організації й сполучення робіт, освоєння суміжних професій і т.п.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артемьев Б.Г., Голубев С.М. Справочное пособие для работников метрологических служб. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 352 с.
2. Брянский Л.Н., Дойников А.С. Краткий справочник метролога. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 79 с.
3. Бурдин Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 256 с.
4. Бурдин Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. Уч. пособие. - М.: Издательство стандартов, 1972. - 312 с.
5. ДСТУ 2681-94 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення. Держстандарт України. Київ, 1994. - 68 с.
6. ДСТУ 2708:2006. Метрологія. Повірка засобів вимірюваної техніки. Організація та порядок проведення. Держстандарт. Київ, 2006. – 19с.
7. ДСТУ 3651.0-97. Метрологія. Одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та призначення. Держстандарт. Київ, 1999. – 29с.
8. ДСТУ 3651.2-97. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа. Основні положення, призначення, назви та значення. Держстандарт. Київ, 1999. – 35с.
9. ДСТУ ISO 10012 - 2005 (ISO 10012 – 2003) Системи управління якістю. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального

- оснащення. - Держспоживстандарт України, 2006. – 27 с.
10. ДСТУ ISO 9000:2007. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. – Чинний від 2008 – 01.01. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 35 с. (Системи управління якістю).
 11. ДСТУ ISO 9001:2009. Системи управління якістю. Вимоги. – Чинний від 2009 – 01.09. - К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 34 с.
 12. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». – Вид. інформаційне. - - К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 20 с.
 13. Закон України «Про стандартизацію». № 2408-III від 17.05.2001.
 14. Зотов А.Г. и др. Формирование информационной базы данных по метрологическому обеспечению в Минприборе // Измерительная техника, 1985. - № 5. - С. 65.
 15. Игнаткин В.У. и др. Автоматизация метрологического обслуживания средств измерений промышленного предприятия. – М.: Изд-во стандартов, 1988. –208 с.
 16. Игнаткин В.У. и др. Методические вопросы разработки и внедрения АСУ – Метролог / Сборник научных трудов ВНИИМС. – М., 1986.
 17. Илющенко В.И., Туяхов А.И., Сафьянц С.М. Измерения в энергетике. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 352 с.
 18. Камка Д., Кремер К. Физические основы единиц измерения. – М.: Мир, 1980. – 203 с.

19. Камке Д., Кремер К. Физические основы единиц измерения. – М.: Мир, 1980. – 203 с.
20. Кандзюба С.П., Громов В.Н. Delphi 6. Базы данных и приложения. Лекции и упражнения. – К.: Издательство «ДиаСофт», 2001. – 576 с.
21. Козловский Н.С., Виноградов А.Н. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1982. - 284 с.
22. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1998. – 479 с.
23. Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям и приборам. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 324 с.
24. Лифиц И.М. Основы стандартизации, метрологии, сертификации. – М.: Юрайт, 2001. – 268 с.
25. Маликов С.Ф., Тюрин Н.И. Введение в метрологию. М.: Издательство стандартов, 1966. - 248 с.
26. Маркин Н.С., Ершов В.С. Метрология. Введение в специальность. М.: Издательство стандартов, 1991. - 208 с.
27. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники. Богданов Г.П., Кузнецов В.А., Лотонов М.А. и др. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
28. Милославский А.Г., Троцан А.Н. Прикладная метрология: Учебное пособие. – Донецк: ДонГУ, 1999. – 87 с.
29. Національна стандартизація ДСТУ 1.0:2003, ДСТУ 1.1:2001, ДСТУ 1.2:2003, ДСТУ 1.5:2003, ДСТУ 1.7:2001, ДСТУ 1.13:2001,

- ДСТУ ISO/IEC Guide 59:2000 / Київ. Держстандарт України, 2003. – 199 с.
30. О реализации документального контура многоцелевой информационно-справочной системы / В.И. Мордань, Ф.Д. Кожурин, Н.Н. Грунский, В.И. Карпенко // Управляющие системы и машины. – 1984. - №1. – С. 93-98.
31. Основные термины в области метрологии. Словарь справочник. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н., Тищенко О.Ф., Скороходов А.И. Под ред. Ю.В. Тарбива.- М.: Издательство стандартов, 1989. - 113 с.
32. Основы идентификации и сертификации продукции // Смирнов А.Н., Дементьев В.В., Панфилова Т.С., Олейников А.А. – Донецк: ДонНТУ, 1999. – 150 с.
33. Основы комплексной стандартизации. Ткаченко П.П., Комаров Д.М., Мартынов Г.К., Фомин В.Н. - М: Издательство стандартов, 1976. - 262 с.
34. Основы метрологии и электрические измерения. Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.
35. Основы метрологии и электрические измерения. Учебник для вузов. Б.Я. Авдеев, Е.Н. Антолюк, Е.М. Душин и др. Под редакцией Е.М. Душина. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 480 с.
36. Основы стандартизации. Ткаченко В.В., Гличев А.В., Огрызков В.М., Кинаренко В.И., Кузьмин В.В. Под ред. Ткаченко В.В. - М.: Издательство стандартов, 1986. - 328 с.
37. Основы стандартизации и контроль качества. Тищенко П.Р.,

- Кузьмин В.П., Потемкин Г.А., Цветаев К.Н., Гличев А.В. Под редакцией Тищенко П.Р. - М.: Издательство стандартов, 1973. - 432 с.
38. Покровский Р.П. Основы эксплуатации средств измерений. - М.: Радио и связь, 1984. – 184 с.
39. Селиванов М.М., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений. Метрологическая справочная книга. – Л.: Лениздат, 1987. – 297 с.
40. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология. – М.: Лотос, 2001. – 407 с.
41. Туяхов А.И. Метрология и стандартизация / Учебно-методическое пособие. – Донецк: Норд-Компьютер, 2006. – 185 с.
42. Туяхов А.И. Практическая метрология и измерения: Учебное пособие. – Севастополь: «Вебер», 2003. – 306 с.
43. Тюрин Н.И. Введение в метрологию, - М.: Издательство стандартов, 1973. - 279 с.
44. Тюрин Н.И. Введение в метрологию. - М.: Издательство стандартов, 1985. – 304 с.
45. Шабалин С.А. Прикладная метрология. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 256 с.
46. Широков К.П., Богулевский М.Г. Международная система единиц. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 157 с.
47. Широков К.П., Богуславский М.Г. Международная система единиц. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 157 с.
48. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление

качеством. Уч. для вузов. - М.: Издательство стандартов, 1990. – 342 с.

49. Шишкин И.Ф., Яншин В.Н. Прикладная метрология Учебник для Вузов. - М.: РИЦ "Татьянин день", 1993. – 150 с.

ДОДАТОК А
Основні одиниці Міжнародної системи (SI)

Величина		Одиниця		
Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			українське	міжнародне
Похідні одиниці простору та часу				
Площа	L^2	квадратний метр	м ²	m ²
Об'єм	L^3	кубічний метр	м ³	m ³
Швидкість	LT^{-1}	метр в секунду	м/с	m/c
Прискорення	LT^{-2}	метр на секунду в квадраті	м/с ²	m/c ²
Частота періодичного процесу	T^{-1}	герц	Гц	Hz
Частота дискретних подій (частота імпульсів, обертань і т.п.)	T^{-1}	секунда в мінус першому ступені	с ⁻¹	s ⁻¹
Кутова швидкість	T^{-2}	радіан в секунду	рад/с	rad/s
Кутове прискорення	T^{-2}	радіан на секунду в квадраті	рад/с ²	rad/s ²
Хвильове число	L^{-1}	метр в мінус першому ступені	м ⁻¹	m ⁻¹
Коефіцієнт затухання	T^{-1}	секунда в мінус першому ступені	с ⁻¹	s ⁻¹
Коефіцієнт послаблення	L^{-1}	метр в мінус першому ступені	м ⁻¹	m ⁻¹
Похідні одиниці механічних величин				
Щільність	$L^{-3}M$	кілограм на кубічний метр	м ³ /кг	m ³ /kg
Питомий об'єм	L^3M^{-1}	кубічний метр на кілограм	м ³ /кг	m ³ /kg
Момент інерції (динамічний момент інерції)	L^2M	кілограм-метр в квадраті	кг·м ²	kg·m ²
Момент інерції (другий момент) площі плаский фігури (осьовий, полярний, центробіжний)	L^4	метр у четвертому ступені	м ⁴	m ⁴

Продовження додатку А

Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			українське	міжнародне
Момент опору плаский фігури	L^3	метр у третьому ступені	m^3	m^3
Кількість руху (імпульс)	LMT^{-1}	кілограм-метр в секунду	кг·м/с	kg·m/s
Момент кількості руху (момент імпульсу)	L^2MT^{-1}	кілограм-метр в квадраті в секунду	кг·м ² /с	kg·m ² /s
Сила	LMT^{-2}	ньютон	Н	N
Вага	LMT^{-2}	ньютон	Н	N
Питома вага	$L^{-2}MT^{-2}$	ньютон на кубічний метр	Н/м ³	N/m ³
Момент сили, момент пари сил	L^2MT^{-2}	ньютон-метр	Н·м	N·m
Імпульс сили	LMT^{-1}	ньютон-секунда	Н·с	N·s
Тиск	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па	Pa
Напруження (механічне)	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па	Pa
Поверхневий натяг	MT^{-2}	ньютон на метр	Н/м	N/m
Робота; енергія	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	J
Потужність	L^2MT^{-3}	ват	Вт	W
Динамічна в'язкість	$L^{-1}MT^{-1}$	паскаль-секунда	Па·с	Pa·s
Кінематична в'язкість	L^2T^{-1}	квадратний метр на секунду	м ² /с	m ² /s
Масова витрата	MT^{-1}	кілограм в секунду	кг/с	kg/s
Об'ємна витрата	L^3T^{-1}	кубічний метр на секунду	м ³ /с	m ³ /s
Похідні одиниці електричних та магнітних величин				
Щільність електричного струму (поверхнева)	$L^{-2}I$	ампер на квадратний метр	А/м ²	A/m ²
Лінійна щільність електричного струму	$L^{-1}I$	ампер на метр	А/м	A/m

Продовження додатку А

Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			українське	міжнародне
Кількість електрики, електричний заряд	TI	кулон	Кл	С
Об'ємна щільність електричного заряду	$L^{-3}TI$	кулон на кубічний метр	Кл/м ³	С/м ³
Поверхнева щільність електричного заряду	$L^{-2}TI$	кулон на квадратний метр	Кл/м ²	С/м ²
Поляризованість	$L^{-2}TI$	кулон на квадратний метр	Кл/м ²	С/м ²
Електричний момент диполю	LTI	кулон-метр	Кл·м	С·м
Потік електричного зміщення	TI	кулон	Кл	С
Електричне зміщення	$L^{-2}TI$	кулон на квадратний метр	Кл/м ²	С/м ²
Електрична напруга; електричний потенціал; різниця електричних потенціалів; електро-рушійна сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	В	V
Напруженість електричного поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	вольт на метр	В/м	V /m
Електрична ємність	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	Ф	F
Абсолютна діелектрична проникність; електрична постійна	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	фарад на метр	Ф/м	F/m
Електричний опір	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ом	Ω
Питомий електричний опір	$L^3MT^{-3}I^{-2}$	ом-метр	Ом·м	$\Omega \cdot m$
Електрична провідність	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	См	S
Питома електрична провідність	$L^{-3}M^{-1}T^3I^2$	сименс на метр	См/м	S/m
Магнітний потік	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Вб	Wb
Магнітна індукція	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	Т	T

Продовження додатку А

Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			українське	міжнародне
Магніторушійна сила; різниця магнітних потенціалів	I	ампер	А	А
Напруженість магнітного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	А/м	А/м
Індуктивність; взаємна індуктивність	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генрі	Г	Н
Абсолютна магнітна проникність; магнітна постійна	$LMT^{-2}I^{-2}$	генрі на метр	Г/м	Н/м
Магнітний момент електричного струму; магнітний момент диполю	L^2I	ампер-квадратний метр	А·м ²	А·м ²
Намагніченість (інтенсивність намагнічування)	$L^{-1}I$	ампер на метр	А/м	А/м
Магнітний опір	$L^{-2}M^{-1}T^2I^2$	ампер на вебер	А/Вб	А/Wb
Магнітна провідність	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	вебер на ампер	Вб/А	Wb/А
Електромагнітна енергія	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	J
Активна потужність	L^2MT^{-3}	ват	Вт	W
Реактивна потужність	L^2MT^{-3}	вар	вар	var
Повна потужність	L^2MT^{-3}	вольт-ампер	В·А	V·A
Кількість теплоти; термодинамічний потенціал (внутрішня енергія, ентальпія, вільна енергія, вільна ентальпія); теплота фазового перетворення; теплота хімічної реакції	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	J

Продовження додатку А

Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			українське	міжнародне
Похідні одиниці теплових величин				
Питома кількість теплоти; питомий термодинамічний потенціал; питома теплота фазового перетворення; питома теплота хімічної реакції	L^2MT^{-2}	джоуль на кілограм	Дж/кг	J/kg
Теплоємність системи	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на кельвін	Дж/К	J/K
Ентропія системи	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на кельвін	Дж/К	J/K
Питома теплоємність	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на кілограм-кельвін	Дж/(кг·К)	J/(kg·K)
Питома ентальпія	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на кілограм-кельвін	Дж/(кг·К)	J/(kg·K)
Питома газова постійна	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на кілограм-кельвін	Дж/(кг·К)	J/(kg·K)
Тепловий потік	L^2MT^{-3}	ват	Вт	W
Поверхнева щільність теплового потоку	MT^{-3}	ват на квадратний метр	Вт/м ²	W/m ²
Коефіцієнт теплообміну (тепловіддачі); коефіцієнт теплопередачі	$MT^{-3}\Theta^{-1}$	ват на квадратний метр-кельвін	Вт/(м ² ·К)	W/(m ² ·K)
Температурний градієнт	Θ^{-1}	кельвін на метр	К/м	K/m
Теплопровідність	$LMT^{-3}\Theta^{-1}$	ват на метр-кельвін	Вт/(м·К)	W/(m·K)
Температуро-провідність	L^2T^{-3}	квадратний метр на секунду	м ² /с	m ² /s
Температурний коефіцієнт	Θ^{-1}	кельвін в мінус першому ступені	К ⁻¹	K ⁻¹
Похідні одиниці світлових величин і енергетичних величин, що характеризують оптичне випромінювання				
Світловий потік	J	люмен	лм	lm
Світлова енергія	TJ	люмен-секунда	лм·с	lm·s

Продовження додатку А

Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			українське	міжнародне
Освітленість	$L^{-2}J$	люкс	лк	lx
Світність	$L^{-2}J$	люмен на квадратний метр	лм/м ²	lm/m ²
Яскравість	$L^{-2}J$	кандела на квадратний метр	кд/м ²	cd/m ²
Світлова експозиція (кількість освітлення)	$L^{-2}TJ$	люкс-секунда	лк·с	lx·s
Енергія випромінювання	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	J
Потік випромінювання (променистий потік)	L^2MT^{-3}	ват	Вт	W
Енергетична освітленість (поромінення); енергетична освітленість (випромінюваність)	MT^{-3}	ват на квадратний метр	Вт/м ²	W/m ²
Енергетична експозиція (промениста експозиція, енергетична кількість освітлення)	MT^{-2}	джоуль на квадратний метр	Дж/м ²	J/m ²
Енергетична сила світла (сила випромінювання)	L^2MT^{-3}	ват на стерadian	Вт/ср	W/sr
Енергетична яскравість	MT^{-3}	ват на стерadian-квадратний метр	Вт/(ср·м ²)	W/(sr·m ²)
Похідні одиниці акустичних величин				
Звуковий тиск	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па	Pa
Об'ємна швидкість	L^3T^{-1}	кубічний метр в секунду	м ³ /с	m ³ /s
Акустичний опір	$L^{-4}MT^{-1}$	паскаль-секунда на кубічний метр	Па·с/м ³	Pa·s/m ³
Питомий акустичний опір	$L^{-2}MT^{-1}$	паскаль-секунда на метр	Па·с/м	Pa·s/m

Продовження додатку А

Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			українське	міжнародне
Механічний опір	MT^{-1}	ньютон-секунда на метр	Н·с/м	N·s/m
Звукова енергія	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	J
Потік звукової енергії	L^2MT^{-3}	ват	Вт	W
Звукова потужність	L^2MT^{-3}	ват	Вт	W
Інтенсивність звуку	MT^{-3}	ват на квадратний метр	Вт/м ²	W/m ²
Щільність звукової енергії	$L^{-1}MT^{-2}$	джоуль на кубічний метр	Дж/м ³	J/m ³
Похідні одиниці величин в області іонізуючого випромінювання				
Енергія іонізуючого випромінювання	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	J
Потік енергії іонізуючого випромінювання	L^2MT^{-3}	ват	Вт	W
Доза випромінювання що поглинається)	L^2T^{-2}	джоуль на кілограм	Дж/кг	J/kg
Еквівалентна доза випромінювання	L^2T^{-2}	джоуль на кілограм	Дж/кг	J/kg
Керма	L^2T^{-2}	джоуль на кілограм	Дж/кг	J/kg
Потужність дози випромінювання що поглинається)	L^2T^{-3}	ват на кілограм	Вт/кг	W/kg
Потужність еквівалентної дози випромінювання	L^2T^{-3}	ват на кілограм	Вт/кг	W/kg
Потужність керми	L^2T^{-3}	ват на кілограм	Вт/кг	W/kg
Експозиційна доза фотонного випромінювання (експозиційна доза рентгенівського та гама випромінювання)	M^1TI	кулон на кілограм	Кл/кг	C/kg

Продовження додатку А

Найменування	Розмірність	Найменування	Позначення	
			українське	міжнародне
Потужність експозиційної дози фотонного випромінювання	$M^{-1}I$	ампер на кілограм	А/кг	A/kg
Інтенсивність випромінювання	MT^{-3}	ват на квадратний метр	Вт/м ²	W/m ²
Активність нукліда в радіоактивному джерелі (активність ізотопу)	T^{-1}	секунда в мінус першому ступені	с ⁻¹	s ⁻¹
Потік іонізуючих часток	T^{-1}	секунда в мінус першому ступені	с ⁻¹	s ⁻¹
Щільність потоку іонізуючих часток або фотонів	$L^{-2}T^{-1}$	секунда в мінус першому ступені-метр в мінус другому ступені	с ⁻¹ ·м ⁻²	s ⁻¹ ·m ⁻²

ДОДАТОК Б

Одиниці, що допускаються до застосування нарівні з одиницями SI

Величина Найменування	Одиниця			Значення в одиницях SI або визначення	Примітка
	Найменування	Познака			
		українське	міжнародне		
Маса	тона	т	t	10^3 кг	1т = 1Мг
Час	хвилина	хв.	min	60 с	
	година	год.	d	3600 с	
	доба	доб.		86400 с	
Плоский кут	градус	°	°	$\frac{\pi}{180} \text{ рад} = 1,745329 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$	
	хвилина	'	'	$\frac{\pi}{10800} \text{ рад} = 2,908882 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$	
	секунда	"	"	$\frac{\pi}{648000} \text{ рад} = 4,848137 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$	
Площа	гектар	га	ha	10^4 м^2	
Об'єм, місткість	літр	л	l	10^{-3} м^3	
Частота обертання	оберт в секунду	об/с	-	1 с^{-1}	Оборот в значенні циклу обертання
	оберт в хвилину	об/хв	-	$\frac{1}{60} \text{ с}^{-1} = 0,01666667 \text{ с}^{-1}$	
Активність нукліда в радіоактивному джерелі (активність ізоотопу)	розпад в секунду	розп./с	-	1 с^{-1}	

Продовження додатку Б

Величина	Одиниця			Примітка	
	Найменування	Познака			Значення в одиницях Si або визначення
		українське	міжнародне		
Відносна величина безрозмірне відношення фізичної величини до одноіменної фізичної величини, яка приймається за вихідну: к.к.д., відносне подовження, відносна щільність, відносна діелектрична і магнітна проникність, магнітна сприйнятливість і т.д.)	відсоток	%	%	10^{-2}	
	проміле	‰	‰	10^{-3}	
	міліонна доля	млн. ⁻¹	ppm	10^{-6}	
Температура Цельсія, різниця температур	градус Цельсія	°C	°C	Температура Цельсія, символ <i>t</i> , визначається виразом $t = T - T_0$, де <i>T</i> – температура Кельвіна, $T_0 = 273,15$ К. По розміру градус Цельсія дорівнює Кельвіну	
Потік іонізуючих часток	частка в секунду	част./с	-	1 с^{-1}	
Щільність потоку іонізуючих часток	частка в секунду на квадратний метр	част./((с·м ²))	-	$1 \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$	

Продовження додатку Б

Величина	Одиниця			Примітка
	Найменування	Познака		
		українське	міжнародне	
Логарифмічна величина (логарифм безмірного відношення фізичної величини до одномірної фізичної величини, яка приймається за вихідну: рівень звукового тиску, посилення, послаблення і т.п.)	бел децибел	Б дБ	В dB	$1A = \lg \frac{P_2}{P_1}$, при $P_2 = 10P_1$, $1A = 21g \frac{F_2}{F_1}$, при $F_2 = \sqrt{10}F_1$, 0,1Б P_1, P_2 - однойменні енергетичні величини (потужності, енергії, щільності енергії і т.п.); F_1, F_2 - однойменні силові величини (напруження, сили струму, тиску, напруженості і т.п.); lg - знак десятичного логарифму
Частотний інтервал	октава декада	- -	- -	$1 \text{ октава} = \log_2 \frac{f_2}{f_1}$, при $\frac{f_2}{f_1} = 2$ $1 \text{ декада} = \lg \frac{f_2}{f_1}$, при $\frac{f_2}{f_1} = 10$ f_1, f_2 - частоти; \log_2 - знак логарифму при підставі 2
Кількість інформації	біт	біт	bit	1 біт – кількість інформації, яке отримується при здійсненні одного з двох рівновірогідних подій

ДОДАТОК В

Переклад одиниць, застосованих в Англії і США, в одиниці SI (за рекомендаціями ІСО R31)

Величина	Найменування одиниці	Познака	Переклад в одиниці SI або їх кратні чи частинні
Довжина	ярд	yd	0,9144 м (точно)
	фут	ft	0,3048 м (точно)
	дюйм	in	0,0254 м (точно)
	миля	mile	1609,344 м (точно)
	морська миля	-	1852 м (точно)
Об'єм	галон (англійський)	gal (UK)	4,54609 дм ³
	пінта (англійська)	pt (UK)	0,568261 дм ³
	рідинна унція (англійська)	fl.oz (UK)	28,4130 см ³
	бушель (англійський)	-	36,3687 дм ³
	галон (США)	gal (US)	3,78543 дм ³
	рідинна пінта (США)	lig.pt. (US)	0,473179 дм ³
	рідинна унція (США)	fl/oz (US)	29,5737 см ³
	нафтовий барель (США)	-	158,988 дм ³
	бушель (США)	bu (US)	35,2393 дм ³
суха пінта (США)	dry pt. (US)	0,550614 дм ³	
сухий барель (США)	bbbl (US)	115,628 дм ³	
Швидкість	фут в секунду	ft/s	0,3048 м/с (точно)
	миля в годину	mile/h	0,44704 м/с (точно)
Маса	фунт (торговий)	lb	0,45359237 кг
	гран	gr	64,79891 мг
	унція (торгова)	oz	28,3495 г
	центнер	cwt	50,8023 кг
	тонна	-	1016,05 кг
	унція аптекарська	oz. ap (US)	31,1035 г
Сила	паундаль	pdl	0,138255 Н
Вага	фунт-сила	lbf	4,44822 Н
Тиск	паундаль на квадратний фут	pdl/ft ²	1,48816 Па
	фунт-сила на квадратний фут	lbf/ft ²	47,8803 Па
	фунт-сила на квадратний дюйм	lbf/in ²	6894,76 Па
	фут водяного стовпа	ft H ₂ O	2989,07 Па

Продовження додатку В

Величина	Найменування одиниці	Познака	Переклад в одиниці SI або їх кратні чи частинні
	дюйм водяного стовпа дюйм ртутного стовпа	in H ₂ O in Hg	249,089 Па 3386,39 Па
Робота	фут-паундаль	ft·pdl	0,0421401 Дж
Енергія	Фут-фунт-сила Британська тепла одиниця	ft·lbf Btu	1,35582 Дж 1055,06 Дж
Потужність	фут-паундаль на секунду фут-фунт-сила на секунду лоша дина сила (англійська) британська тепла одиниця в годину	ft·pdl/s ft·lbf/s HP Btu/h	0,0421401 Вт 1,35582 Вт 745,700 Вт 0,293071 Вт
Термодинамічна температура	градус Ренкіна	⁰ R	5/9 К
Температура	градус Фаренгейта	⁰ F	$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t_p - 32) =$ $= \frac{5}{9}T_R - 273,15 =$ $= T_K - 273,15$

ДОДАТОК Д
Статистичні таблиці

Таблиця 1 – Значення критерію Романовського $\beta = f(n)$

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

Таблиця 2 – Значення критерію Діксона (K_D)

n	Z_q при q дорівнює			
	0,10	0,05	0,02	0,01
4	0,68	0,76	0,85	0,89
6	0,48	0,56	0,64	0,70
8	0,40	0,47	0,54	0,59
10	0,35	0,41	0,48	0,53
14	0,29	0,35	0,41	0,45
16	0,28	0,33	0,39	0,43
18	0,26	0,31	0,37	0,41
20	0,26	0,30	0,36	0,39
30	0,22	0,26	0,31	0,34

Таблиця 3 – Значення критерію Аббе v_a

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

Таблиця 4 - Значення критерію Фішера для різних рівнів значимості

k_2	F_q при k_1 рівному									
	1	2	3	4	5	6	8	12	16	∞
$q=0,05$										
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,43	19,50
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,84	5,63
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,92	3,67
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,20	2,93
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,82	2,54
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,60	2,30
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,44	2,13
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,33	2,01
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,25	1,92
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,18	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,99	1,62
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,64	1,00
$q=0,01$										
2	98,49	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,42	99,44	99,50
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,80	14,37	14,15	13,46
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,10	7,72	7,52	6,88
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,03	5,67	5,48	4,86
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,06	4,71	4,52	3,91
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,50	4,16	3,98	3,36
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,14	3,80	3,62	3,00
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,55	3,37	2,75
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,71	3,37	3,20	2,57
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,56	3,23	3,05	2,42
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,17	2,84	2,66	2,01
∞	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,51	2,18	1,99	1,00

Примітка: k_1 - число ступенів свободи більшої дисперсії;

k_2 - число ступенів свободи меншої дисперсії

Таблиця 5 - Значення розподілення Стьюдента

п	Надійна ймовірність P				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
2	6,31	12,71	31,82	63,68	636,62
3	2,92	4,30	6,97	9,93	31,60
4	2,35	3,18	4,54	5,84	12,92
5	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	2,02	2,57	3,37	4,06	6,87
7	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
8	1,90	2,37	3,00	3,50	5,41
9	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
11	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
12	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
13	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
14	1,77	2,16	2,66	3,01	4,22
15	1,76	2,15	2,62	2,98	4,14
16	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
17	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
18	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
19	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
20	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
00	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

Таблиця 6 - Значення функції Лапласа

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,016	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,035
0,1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0,2	0793	0832	0871	0910	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0,3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0,4	1554	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0,5	1915	1960	1985	2019	2054	2088	2123	2157	2190	2224
0,6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	1486	2517	2549
0,7	2580	2611	2642	2673	2703	2734	2764	1794	2823	2852
0,8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0,9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1,0	3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1,1	3643	3665	3686	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1,2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1,3	4032	4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1,4	4192	4207	4222	4236	4251	4205	4279	4292	4306	4319
1,5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4429	4441
1,6	4452	4463	4474	4484	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1,7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1,8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706
1,9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4756	4761	4767
2,0	4772	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4813	4817
2,1	4821	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2,2	4861	4864	4868	4871	4874	4878	4881	4884	4887	4890
2,3	4898	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916
2,4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4931	4932	4934	4936
2,5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952
2,6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964
2,7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2,8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4979	4980	4981
2,9	4981	4982	4982	4983	4984	4984	4985	4985	4986	4886
3,0	4986									
3,5	4998									
4,0	4999									

ДОДАТОК Е

Приклади рішення задач

1. Температуру в термостаті вимірюють за допомогою технічного термометра класу точності 1 зі шкалою 0 – 100⁰С. Термометр показав температуру 52⁰С. Визначити, чи відповідає термометр своєму класу точності, якщо дійсне значення температури, обмірюване зразковим термометром, склало 50⁰С.

Рішення. 1) Абсолютна похибка термометра класу точності 1 повинна становити:

$$\Delta t = 100^0 \text{ C} \cdot 0,01 = 1^0 \text{ C}.$$

2) Обмірювана температура перебуває в межах

$$t_{\text{взм}} = 52 \pm 1^0 \text{ C}.$$

3) Термометр не відповідає класу точності 1.

2. Капілярна трубка технічного термометра довжиною $l = 50$ мм, і діаметром $d = 1$ мм виконана з допуском на діаметр $\Delta d = \pm 0,01$ мм. Визначити викликану цим похибку вимірювання температури, якщо ціна розподілу «С» шкали термометра становить 1⁰С/мм.

Рішення. 1) Довжина капілярної трубки термометра визначається по формулі

$$l = \frac{4V}{\pi d^2} \quad (1)$$

2) Для знаходження збільшення довжини трубки визначимо похідну вираження (1)

$$\Delta l = -\frac{8V}{\pi d^3} \text{ або } \Delta l = -\frac{2l}{d} \Delta d = \frac{2 \cdot 50}{1} 0,01 = \pm 2 \text{ мм}.$$

3) Похибка виміру складе:

$$\Delta T = C \cdot \Delta l = \pm 2^0 \text{ C}.$$

3. Лабораторний ртутний термометр (термометр повного занурення) занурений у рідину, температура якої вимірюється, до оцінки $+200^{\circ}\text{C}$ и показує $+300^{\circ}\text{C}$. Температура навколишнього середовища (температура виступаючої з рідини частини термометра) дорівнює $t_{\text{cm.в.}} = +40^{\circ}\text{C}$. Визначити виправлення до показання термометра.

Рішення. Виправлення на виступаючий стовпчик термометра визначаються по формулі

$$\Delta t = n\beta(t - t_{\text{cm.в.}}),$$

де n – висота виступаючого стовпчика, виражена в розподілах шкали термометра, у даному прикладі $n=300-200=100^{\circ}\text{C}$;

$\beta=0,00016$ 1/град – середній коефіцієнт об'ємного теплового розширення ртуті;

$t=300^{\circ}\text{C}$ – температура, що показується термометром;

$t_{\text{cm.в.}} = 40^{\circ}\text{C}$ – середня температура виступаючого стовпчика.

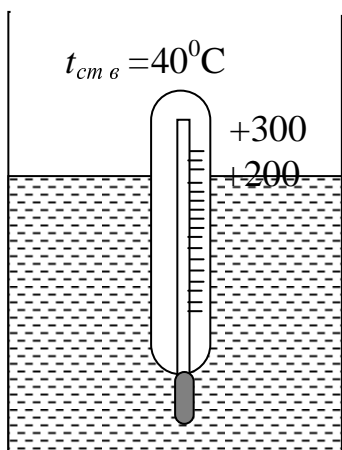


Рис. 1.

$$\Delta t = (300 - 200)0,00016(300 - 40) = 4^{\circ}\text{C}.$$

Виправлене показання температури дорівнює:

$$t_{\text{испр.}} = 300 + 4 = 304^{\circ}\text{C}.$$

4. Технічний спиртової термометр (термометр при постійній, фіксованій глибині занурення), занурений у воду до градуйованої оцінки, показав $+50^{\circ}\text{C}$. Температура навколишнього середовища (температура виступаючої частини) відрізнялася від градуйованої ($t_{\text{сп.}} = 20^{\circ}\text{C}$) і склала $+40^{\circ}\text{C}$. Визначити виправлення, якщо коефіцієнт розширення спирту становить $\beta = 0,001031$ 1/град.

Рішення. Виправлення для термометрів такої модифікації визначається по формулі:

$$\Delta t = m\beta(t'_e - t_e),$$

де m – число градусів, відлічуване по термометру при нормальній глибині його занурення, $m = +50^{\circ}\text{C}$ (за умовою);

$t_e = +20^{\circ}\text{C}$ – градуувальна температура виступаючої частини термометра;

$t'_e = +40^{\circ}\text{C}$ – температура навколишнього середовища (температура виступаючої частини термометра);

$$\Delta t = 50 \cdot 0,00103(40 - 20) = 1,03^{\circ}\text{C}.$$

Виправлене показання термометра дорівнює:

$$t_{ucn} = 50 + 1,03 = 51,03^{\circ}\text{C}.$$

5. Скільки термопар типу ТХА необхідно включити послідовно, щоб при температурі 100°C струм у ланцюзі мілівольтметра, що має внутрішній опір $R_{вн} = 200$ Ом був не менш $0,1$ мА. Електричний опір кожної термопар $R_{тер.п.} = 50$ Ом, а опір з'єднаних проводів $R_{пр} = 10$ Ом.

Рішення. Використовуючи закон Ома для послідовного з'єднання електричного ланцюга, можна записати для даної умови рівняння:

$$I = \frac{nE}{R_{МВ} + R_{пр} + nR_T},$$

де n – число послідовно включених термопар;

E – термо-ЕРС однієї термопар *при заданій температурі.*

Із цього рівняння визначимо число термопар:

$$n = \frac{I(R_{MB} + R_{np})}{E - IR_T}$$

По градуювальній таблиці визначимо термо-ЕРС термопари із градуюванням ТХА при температурі 100°C . $E = 4,1$ мВ.

Підставивши інші відомі величини, одержимо:

$$n = \frac{0,1(200 + 10)}{4,1 - 0,1 \cdot 5,0} \approx 6 \text{ штук.}$$

6. При вимірюванні температури за допомогою термопари типу ТХА термо-ЕРС дорівнює 6,13 мВ при температурі вільних кінців $t_0 = 30^{\circ}\text{C}$. Визначити істинне і обмірюване значення температури.

Рішення. Обмірюване значення температури визначається по термо-ЕРС, зафіксоване мілівольтметром, тобто 6,13 мВ. По градуювальній таблиці для термопари ТХА і цього значення термо-ЕРС виміру температури становить 150°C .

Для визначення істинного значення температури необхідно до обмірюваного термо-ЕРС додати термо-ЕРС термопари даного градуювання при температурі 30°C , тобто

$$E_{uc} = E_{изм} + E^{t=30} = 6,13 + 1,20 = 7,33 \text{ мВ.}$$

$$t_{uc} = 180^{\circ}\text{C}.$$

7. Знайти значення температурної чутливості термопари типу ТХК у діапазонах температур: від 0 до 100°C ; від 100 до 200°C ; від 200 до 300°C ; від 300 до 400°C . Побудувати графік залежності чутливості від температури.

Рішення. Температурна чутливість термопари визначається по відношенню зміни термо-ЕРС термопари в даному

інтервалі температур до значення цього температурного інтервалу, тобто

$$r = \frac{E_{t_2} - E_{t_1}}{t_2 - t_1}.$$

По градуовальній таблиці для термопар типу ТХК визначимо термо-ЕДС для зазначених температур:

$$E_{100} = 6,88 \text{ мВ}; E_{200} = 14,59 \text{ мВ};$$

$$E_{300} = 22,8 \text{ мВ}; E_{400} = 31,49 \text{ мВ}.$$

Чутливість для зазначених інтервалів температур складе:

$$r_{0-100} = 6,88 \cdot 10^{-2} \text{ мВ/град}; r_{100-200} = 7,71 \cdot 10^{-2} \text{ мВ/град};$$

$$r_{200-300} = 8,21 \cdot 10^{-2} \text{ мВ/град}; r_{300-400} = 8,69 \cdot 10^{-2} \text{ мВ/град}.$$

Як видно, чутливість зі збільшенням температури зростає, однак темп зростання знижується.

8. Обмірюване значення термо-ЕРС при температурі $t = 160^{\circ}\text{C}$ становить 1,1 мВ. Визначити тип використаної термопары й похибку знаходження термо-ЕРС при температурі вільних кінців 0°C .

Рішення. По градуировочній таблиці, використовуючи значення обмірюваної температури і термо-ЕРС можна визначити тип використаної термопары. У даному прикладі використовувалася термопара градування ТПП. При температурі спаю термопары 160°C і температурі вільних кінців 0°C термопара розвиває термо-ЕРС, рівне 1,106 мВ. Похибка вимірів складе

$$\Delta t\% = \frac{1,106 - 1,100}{1,106} 100\% = 5,4\% .$$

9. Чи буде змінюватися термо-ЕРС термопары, якщо температура вимірюваного середовища міняється, але різниця

температур спаю термопари і холодних кінців залишається незмінної?

Відповідь. Показання термо-ЕРС не міняються, якщо залежність термо-ЕРС при зміні температури лінійна.

10. При вимірі температури мідної пластини спай термопари приварений до неї за допомогою припою. Чи зміниться термо-ЕРС, якщо кожен електрод буде приварений до пластини на деякій відстані один від іншого?

Відповідь. Не зміниться, якщо температура в точках розташування двох електродів буде однаковою.

11. Температура холодних спаїв термопари типу ТПП дорівнює 50°C , а температура в точках приєднання (температура середовища) вимірювального приладу (мілівольметра) дорівнює 20°C (рис. 2). Визначити похибку через вплив температури холодних спаїв при використанні:

а) мідних сполучних проводів;

б) термоелектродних (компенсаційних) з'єднувальних проводів.

Температура вимірюваного середовища міняється від 0 до 100°C .

Рішення. На практиці виміри проводять у навколишнім

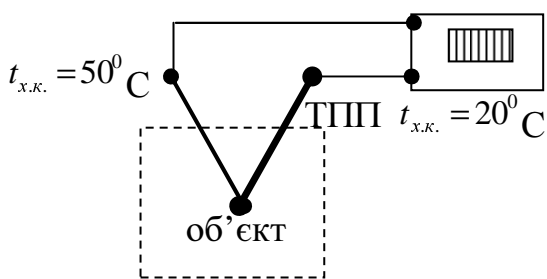


Рис.2. – Схема

середовищі, температура якого відрізняється від 0°C , тому необхідно вводити виправлення на температуру холодних спаїв. У цьому випадку істинна температура визначається по формулі:

$$t_{ист} = t_{изм} + \kappa(t_{х.к.} - t_0),$$

де $t_{изм}$ - обмірюване значення температури;

$t_{x.k.}$ - температура холодних (вільних) кінців термопари;

t_0 - температура холодних (вільних) кінців при градуванні, звичайно $t_0=0^{\circ}\text{C}$;

k – поправочний коефіцієнт, значення якого для різних діапазонів температур і різних термопар приводяться в [16].

При використанні мідних проводів показання мілівольтметра буде зменшена на величину термо-ЕРС термопари ТПП при $t_{x.k.}=50^{\circ}\text{C}$. По градувальній таблиці $E_t = 0,320$ мВ.

При використанні термоелектродних проводів показання мілівольтметра буде зменшена на величину термо-ЕРС термопари ТПП при $t = 20^{\circ}\text{C}$, тобто $E_t = 0,128$ мВ.

Таким чином, похибка при використанні термоелектродних проводів зменшена в 2,5 рази.

12. Знайти значення опору платиного терморезистора при температурах вимірюваного середовища $t = 50, 100, 150^{\circ}\text{C}$, якщо при $t = 0^{\circ}\text{C}$, $R_0 = 100$ Ом.

Рішення. Платинові терморезистори мають наступну залежність опору від температури в діапазоні від 0°C до 650°C :

$$R_t = R_0(1 + \alpha_1 t - \alpha_2 t^2),$$

де $\alpha_1 = 3,97 \cdot 10^{-3}$ 1/град; $\alpha_2 = 5,85 \cdot 10^{-7}$ 1/град – температурні коефіцієнти опору.

Підставивши в рівняння перераховані температури, одержимо:

$$R_{50} = 119,7 \text{ Ом}; R_{100} = 139,1 \text{ Ом}; R_{150} = 158,2 \text{ Ом}.$$

13. Знайти значення температурної чутливості платиного терморезистора градування 20 у діапазоні від - 50 до +200⁰С у точках шкали через кожні 50 ⁰С. побудувати графік залежності чутливості від температури.

Рішення. Розрахунок проводиться по формулі

$$S_t = \frac{\Delta R}{\Delta t} \left[\frac{\text{Ом}}{\text{град}} \right],$$

де ΔR - зміна опору терморезистора в інтервалі температур Δt . Значення ΔR визначається по градувальній характеристиці для платиного терморезистора.

$$S_{-50+0} = \frac{46,0 - 36,80}{50} = 0,184; S_{0+50} = \frac{55,06 - 46,0}{50} = 0,181;$$

$$S_{50+100} = \frac{63,99 - 55,06}{50} = 0,179;$$

$$S_{100+150} = \frac{81,43 - 72,76}{50} = 0,173.$$

Вивід: Зі збільшенням температури чутливість знижується.

14. Обмірюване значення опору терморезистора при температурі $t = 120^0\text{С}$ склало 63 Ом. Визначити його градування і похибка знаходження температури.

Рішення. По градувальним таблицям для різних термометрів опору (терморезисторів) можна визначити, що більш близько до такої характеристики наближається платиновий терморезистор із градуванням 21.

При температурі 120⁰С опір такого терморезистору повинне становити 67,52 Ом. Звідси похибка виміру температури складе:

$$\Delta t\% = \frac{67,52 - 63,0}{67,52} 100\% = 6,7\% .$$

15. Знайти температурну чутливість терморезисторів градування 22 й 24 при температурах 0, 50 й 100⁰С. Які терморезистори характеризуються більше лінійною характеристикою?

Рішення. Використовуючи формулу термічної чутливості, наведеної в завданні №13 і градувальні характеристики терморезисторів із градуванням 22 й 24 , визначається чутливість терморезисторів у заданих інтервалах температур. Результати розрахунків порівнюються і робиться вивід про більшу або меншу лінійність характеристик даних терморезисторів.

16. До якої позначки необхідно занурювати рідинний термометр у вимірюване середовище з температурою 70⁰С при температурі навколишнього середовища 20⁰С, щоб похибка виміру не перевищувала ±10⁰С? Коефіцієнт об'ємного розширення рідини $\alpha = 0,2 \cdot 10^{-2}$ 1/град.

Рішення. Поправка на виступаючий стовпчик ΔT підраховується по формулі:

$$\Delta t = \alpha(t - t_{e.c.})n^0 ,$$

де $\Delta e = \pm 1^0$ С (за умовою);

$t = 70^0$ С – температура вимірюваного середовища;

$t_{e.c.} = 20^0$ С – температура навколишнього середовища;

n – число градусів у виступаючому стовпчику.

По цій формулі визначимо n^0 :

$$n^0 = \frac{\Delta t}{\alpha(t - t_{с.с.})} = \frac{\pm 1}{0,2 \cdot 10^{-2}(70 - 20)} = \pm 10^0 \text{C}.$$

Таким чином, термометр можна занурювати від оцінки 60^0C до 80^0C .

17. Визначити абсолютну і відносну похибки манометричного термометра, викликані зміною атмосферного тиску від 760 до 730 мм.рт.ст. Шкала приладу відградуєрована від 0 до 100^0C , що відповідає тискам у термосистемі від 500 до 700кПа. Показання приладу 50^0C .

Рішення. Шкала по ΔP відповідає діапазону тиску середовища в манометричному термометрі дорівнює:

$$\Delta P = 700 - 500 = 200 \text{ кПа}.$$

Цей перепад відповідає ціні поділки приладу:

$$C = \frac{100^0\text{C}}{200\text{кПа}} = 0,5 \frac{\text{град}}{\text{кПа}}.$$

Атмосферний тиск міняється в межах:

$$\Delta P = 760 - 730 = 30 \text{ мм.рт.ст або } 4 \text{ кПа}.$$

Така зміна атмосферного тиску приведе до похибки:

- абсолютної $\Delta t_{noz} = r \cdot \Delta P_{am} = 0,5 \cdot 4 = 2^0 \text{C}$;
- відносної $\Delta t\% = \frac{\Delta e_{noz}}{50} 100\% = 4\%$.

18. Визначити показання манометричного ртутного термометра, якщо при градуюванні термобалон і показуючий прилад перебували на одному рівні, а в реальних умовах показуючий прилад, розташований на 7, 37 м вище, ніж термобалон. Шкала термометра $0 \div 500^0\text{C}$. При зміні температури від 0^0C до 500^0C тиск у системі змінюється від 4,47 до 17,28 МПа. Щільність ртуті $\rho = 13595 \text{ кг/м}^3$.

Рішення. Тиск, що підводиться до показуючого приладу, буде визначатися як тиск у термобалоні мінус тиск стовпа рідини, обумовлене різницею рівнів розташування термобалона і показуючого приладу:

$$\Delta P = \rho g H = 13595 \cdot 9,81 \cdot 7,37 = 0,98 \cdot 10^7 \text{ Па} = 0,98 \text{ МПа.}$$

Таким чином, показання приладу будуть занижені на 0,98 МПа щодо дійсного тиску в термобаллоні.

Визначимо чутливість манометричного термометра:

$$S = \frac{P_{\text{л}} - P_{\text{н}}}{t_{\text{к}} - t_{\text{н}}} = \frac{14,28 - 4,47}{500 - 0} = 0,0196 \text{ МПа}^\circ\text{С.}$$

Визначимо зміну показань термометра, що викликані розходженням у взаємному розташуванні термобалона і вимірювального приладу:

$$\Delta t = \frac{\Delta P}{S} = \frac{0,98}{0,0196} = 50^\circ \text{С.}$$

Виходить, показання манометричного термометра будуть занижені на 50°С .

19. При перевірці автоматичного потенціометра зі шкалою 0- 500°С і градуюванні ХК з'ясувалося, що стрілка і перо приладу зміщені щодо нульової оцінки на 10°С у сторону завищення.

Як повинна бути врахована ця систематична похибка виміру при обробці діаграмного паперу, якщо прилад показав 430°С .

Рішення. Для обліку систематичної похибки всі результати, лічені з діаграмного паперу в градусах, необхідно перевести по градуювальним таблицям у мілівольти, потім додати виправлення в мілівольтах, а результат знову перевести в градуси.

Для даного приклада зсув стрілки на 10°С відповідає для градуювання ХК зміні термо-ЕРС на 0,65 мВ.

Для відліченого по діаграмного паперу температури 430°C значення термо-ЕРС становить 34,12 мВ, а з урахуванням виправлення

$$34,12 + (-0,65) = 33,47^{\circ}\text{C}.$$

Визначимо значення температури $t = 422,75^{\circ}\text{C}$.

20. У результаті проведених вимірювань виявилось, що найбільш імовірний зміст кисню в газовій суміші становить 11,75%. Довірчий інтервал похибки вимірювання визначається для надійної ймовірності 0,683 і склав $\pm 0,5\% O_2$.

Визначити границі довірчого інтервалу при надійна ймовірності 0,95, якщо відомо, що закон розподілу погрішностей нормальний.

Рішення. При нормальному законі розподілу при довірчій ймовірності 0,683 довірчий інтервал $\varepsilon = \pm\sigma$. При надійній ймовірності 0,95 довірчий інтервал $\varepsilon = \pm 2\sigma$. Таким чином, числове значення довірчого інтервалу для надійної ймовірності 0,95 складе:

$$2 \cdot 0,5 = \pm 1\% O_2.$$

Границя довірчого інтервалу відповідно будуть:
 $(11,75 \pm 1,0)\% O_2$ або $(10,75 \pm 12,75)\% O_2$.

21. Яскравісна температура злитка металу, обмірювана оптичним пірометром у п'ятьох різних точках, виявилася наступною: 975; 1005; 945; 950; 987°C . Думаємо, що дійсна температура у всіх точках злитка однакова, а розходження у вимірах викликано систематичною похибкою за рахунок окислів на поверхні злитка.

Оцінити найбільш імовірне значення температури злитка, а також довірчий інтервал систематичної похибки, що відповідає надійної ймовірності $P = 0,95$, припускаючи, що похибки розподілені за законом Стюдента.

Рішення. По своїй природі похибка за рахунок неповноти випромінювання є систематичною, однак значення її змінюється випадковим образом. Оскільки число вимірів невелике, то обробку результатів варто робити по формулах розподілу Стюдента. Найбільш імовірне значення температури злитка $x_0=972,4^{\circ}\text{C}$ (середньоарифметичне значення).

Дисперсія $\bar{D} = 633,8(^{\circ}\text{C})^2$, коефіцієнт $t_p = 2,13$, напівширина довірчого інтервалу $\varepsilon_p = 23,98^{\circ}\text{C}$. Отже, для $P = 0,9$ довірчий інтервал складе: $948,42^{\circ}\text{C} \leq t \leq 996,38^{\circ}\text{C}$.

Як видно, ширина довірчого інтервалу достатнє велика, а для її зменшення необхідно збільшити число вимірів.

22. Визначити довірчий інтервал для $P=0,9$ (умова попереднього завдання), якщо було зроблено 10 вимірів температури злитка: 975; 1005; 945; 950; 987; 967; 953; 980; 980; 990 $^{\circ}\text{C}$.

Рішення. Хід рішення аналогічний ходу рішень попереднього завдання: $x_0=973,2^{\circ}\text{C}$; $\bar{D} = 373,33(^{\circ}\text{C})^2$; $t_p = 1,833$; $\varepsilon_p = 11,2^{\circ}\text{C}$. Отже, при $P = 0,9$ довірчий інтервал $962^{\circ}\text{C} \leq t \leq 984,4^{\circ}\text{C}$ і, як видно, ширина довірчого інтервалу змінилася більш ніж в 2 рази.

23. Манометр зі шкалою 0-16 МПа проходив випробування для перевірки відповідності його метрологічних характеристик технологічним умовам. При оцінці похибки в точці 10 МПа за допомогою зразкового манометра реєструвалися значення тиску при підході з боку менших значень P_m і з боку більших значень P_{σ} :

P_{mi} , МПа: 10,08; 9,97; 10,06; 9,98; 9,95; 10,08.

$P_{\delta i}$, МПа: 10,12; 10,05; 10,06; 10,09; 10,03; 10,10.

Визначити оцінки систематичних і випадкових складових похибки.

Рішення. Визначимо значення погрешностей Δ_{mi} і $\Delta_{\delta i}$ для кожного виміру в крапці 10 МПа по формулах:

$$\Delta_{mi} = (10 - P_{mi}); \quad \Delta_{\delta i} = (10 - P_{\delta i}).$$

Після чого визначимо середнє значення похибок:

$$\bar{\Delta}_m = \frac{-0,08 + 0,03 - 0,06 + 0,02 + 0,05 - 0,08}{6} = -0,020 \text{ МПа.}$$

$$\bar{\Delta}_\delta = \frac{-0,12 - 0,05 - 0,06 - 0,09 - 0,03 - 0,10}{6} = -0,075 \text{ МПа.}$$

Визначимо систематичну складову похибки:

$$\Delta_c = \frac{-0,020 + (-0,075)}{2} = -0,0475 \text{ МПа.}$$

Визначимо значення варіації, що визначається як абсолютне значення різниці між $\bar{\Delta}_m$ й $\bar{\Delta}_\delta$:

$$v = |\bar{\Delta}_m - \bar{\Delta}_\delta| = -0,02 - (-0,075) = 0,055 \text{ МПа.}$$

Оцінка середнього квадратного відхилення $\sigma(\Delta)$ випадкової складової похибки вимірів обчислюється по формулі:

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{mi} - \bar{\Delta}_m)^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_\delta)^2}{2n-1}}$$

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{0,06^2 + 0,05^2 + 0,04^2 + 0,07^2 + 0,06^2 + 0,045^2 + 0,025^2 + 0,015^2 + 0,015^2 + 0,045^2 + 0,025^2}{2n-1}} = \pm 0,0463 \text{ МПа}$$

24. У результаті великої кількості вимірювань термо-ЕРС був визначений довірчий інтервал ($16,73 \leq \bar{x} \leq 17,27$) мВ, з надійною ймовірністю 0,997.

Визначити середню квадратичну похибку вимірювань термо-ЕРС у припущенні нормального закону розподілу похибки.

Рішення. Надійною ймовірності 0,977 при нормальному законі розподілу похибки відповідає ширина інтервалу $(-3\tilde{\sigma} \div +3\tilde{\sigma})$. Звідси

$$\tilde{\sigma} = \frac{1}{6}(17,27 - 16,73) = 0,09 \text{ мВ.}$$

25. Визначити 99%-ний довірчий інтервал для температури, обмірюваною термопарою типу ХА, якщо при вимірі були отримані наступні результати термо-ЕРС(Е): 6 31,56; 31,82; 31,73; 31,68; 31,49; 31,73; 31,74; 31,72 мВ. Передбачається, що термо-ЕРС - випадкова величина, розподілена за законом Стюдента.

Рішення. Для оцінки похибки при невеликому числі вимірювань можна скористатися розподілом Стюдента. Для розглянутого приклада

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i = 31,684,$$

$$\tilde{D} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - x_0)^2 = 0,0114(\text{мВ})^2.$$

По таблиці 1 (Додаток А) для $P=0,99$ і $(n-1)=7$ визначаємо $t_p = 3,5$. Таким чином, напівширина інтервалу визначається:

$$\varepsilon_p = t_p \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}} = 3,5 \sqrt{\frac{0,01146}{8}} = 0,132 \text{ мВ.}$$

Дійсна температура з імовірністю 0,99 перебуває в інтервалі $757,3^{\circ} \text{C} \leq t \leq 763,9^{\circ} \text{C}$.

Додаток Ж

Грецький та латинський алфавіти

Букви	Назва букви	Букви	Назва букви
Грецький алфавіт		Латинський алфавіт	
<i>A α</i>	альфа	<i>A a</i>	а
<i>B β</i>	бета	<i>B b</i>	бе
<i>Γ γ</i>	гамма	<i>C c</i>	це
<i>Δ δ</i>	дельта	<i>D d</i>	де
<i>E ε</i>	епсилон	<i>E e</i>	е
<i>Z ζ</i>	дзета	<i>F f</i>	єф
<i>H η</i>	ета	<i>G g</i>	ге, же
<i>Θ θ</i>	тета	<i>H h</i>	ха, аш
<i>I ι</i>	йота	<i>I i</i>	і
<i>K κ</i>	каппа	<i>J j</i>	йот, жи
<i>Λ λ</i>	лямбда	<i>K k</i>	ка
<i>M μ</i>	мю	<i>L l</i>	ель
<i>N ν</i>	ню	<i>M m</i>	ем
<i>Ξ ξ</i>	ксі	<i>N n</i>	ен
<i>O o</i>	омікрон	<i>O o</i>	о
<i>Π π</i>	пі	<i>P p</i>	пе
<i>Ρ ρ</i>	ро	<i>Q q</i>	ку
<i>Σ σ</i>	сигма	<i>R r</i>	ер
<i>T τ</i>	тау	<i>S s</i>	ес
<i>Υ υ</i>	іпсилон	<i>T t</i>	те
<i>Φ φ</i>	фі	<i>U u</i>	у
<i>Χ χ</i>	хі	<i>V v</i>	ве
<i>Ψ ψ</i>	псі	<i>W w</i>	дубль-ве
<i>Ω ω</i>	омега	<i>X x</i>	ікс
		<i>Y y</i>	ігрек
		<i>Z z</i>	зет (зета)

Туяхов Анатолій Іванович
Ілющенко Володимир Іванович
Саф'янц Сергій Матвійович
Смірнов Олексій Миколайович
Гридін Сергій Васильович

Метрологія і стандартизація в енергетиці

Навчальний посібник