

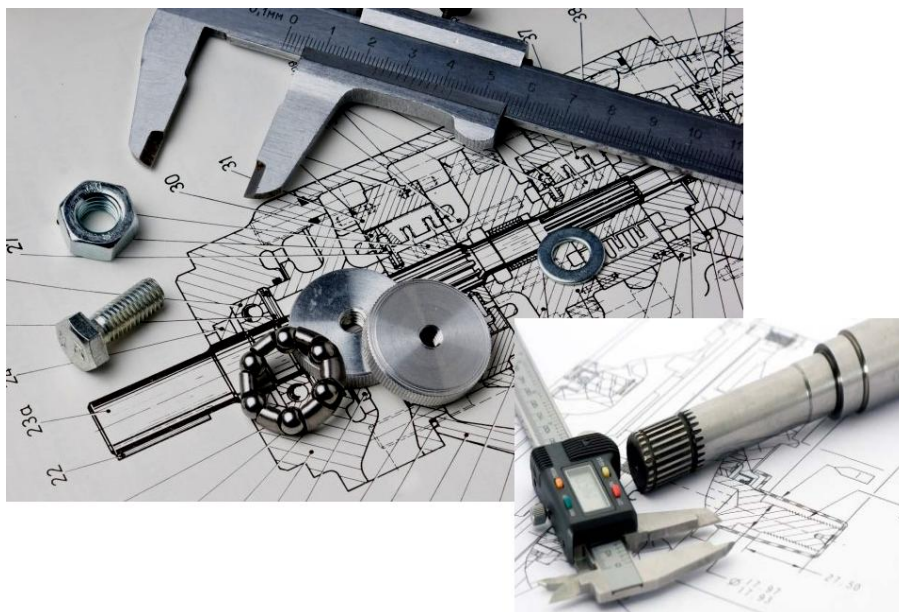
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«Харківський політехнічний інститут»

В. О. Федорович, Л. І. Пупань, Є. В. Островерх

## МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Навчальний посібник



Харків  
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«Харківський політехнічний інститут»

В. О. Федорович, Л. І. Пупань, Є. В. Островерх

## **МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ**

### **Навчальний посібник**

для студентів  
спеціальності «Прикладна механіка»  
денної, заочної та дистанційної форм навчання

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 2 від 29.06.2022 р.

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2022

УДК 531.7  
Ф33

Рецензенти:

*Ф.В. Новіков*, д-р техн. наук, проф., Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця;

*Е.С. Геворкян*, д-р техн. наук, проф., Український державний університет залізничного транспорту

**Федорович В. О.**

Ф33 Метрологічне забезпечення якості продукції: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання / В. О. Федорович, Л. І. Пупань, Є. В. Островерх. – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 104 с.

У посібнику розглянуто загальні принципи метрологічного забезпечення як складової частини системи контролю якості продукції. Наведено особливості його практичної реалізації на машинобудівних підприємствах.

Матеріал викладено відповідно до змісту курсів «Метрологічне забезпечення якості», «Сертифікація та метрологічне забезпечення якості», «Системи управління якістю» та ін.

Призначений для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання.

Іл. 21. Табл. 4. Бібліогр. : 9 найм.

УДК 531.7  
© В. О. Федорович, Л. І. Пупань, Є. В. Островерх

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ. ЗАГАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ .....	5
1.1. Поняття якості продукції та її забезпечення .....	5
1.2. Еволюція якості та підходів до її забезпечення.....	8
1.3. Сімейство міжнародних стандартів <i>ISO 9000 (9001)</i> та їх роль у забезпеченні якості .....	13
1.4. Показники якості продукції .....	16
1.5. Якість продукції машинобудування .....	23
Питання для самоперевірки .....	27
2. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	29
2.1. Поняття метрології та її роль на сучасному етапі розвитку.....	29
2.2. Складові частини метрології. Метрологічне законодавство. Національна метрологічна служба .....	31
2.3. Метрологічне забезпечення як невід'ємна частина системи управління якістю продукції. Єдність вимірювання.....	39
2.4. Метрологічна експертиза технічної документації.....	46
Питання для самоперевірки .....	53
3. ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРОЦЕС ТА ЙОГО ЯКІСТЬ .....	55
3.1. Основні принципи та поняття вимірювання .....	55
3.2. Вимірювальний процес.....	57
3.3. Вимірювальні інформаційні технології .....	60
3.4. Види та методи вимірювання .....	63
3.5. Засоби вимірювання та їх метрологічні характеристики.....	68
3.6. Повірка засобів вимірювання .....	77
3.7. Похибки виміру та їх класифікація .....	81
3.8. Якість вимірювального процесу та його показники .....	89
3.9. Особливості вимірювання у машинобудуванні .....	96
Питання для самоперевірки .....	101
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	103

## ВСТУП

Найважливішим завданням сучасного виробництва є підвищення якості та конкурентоспроможності продукції.

Значну роль у вирішенні цієї проблеми відіграє метрологічне забезпечення контролю виробів.

Основним завданням метрологічного забезпечення є раціональна організація вимірювального процесу, забезпечення достовірності його результатів.

Це досягається комплексом організаційно-технічних заходів на державному та галузевому рівнях, на рівні підприємств, які дозволяють підтримувати засоби вимірювальної техніки у постійній готовності проводити вимірювання з заданою точністю.

Важливість метрологічного забезпечення не обмежується його роллю в підвищенні якості продукції. Вимірювання є основою обліку витрат і раціонального використання матеріальних ресурсів, методів технічної діагностики та моніторингу технологічних процесів.

У навчальному посібнику викладено загальні принципи метрологічного забезпечення як складової системи контролю якості продукції, показано особливості його реалізації на машинобудівних підприємствах.

Розглянуто питання практичної метрології, основні етапи вимірювальної процедури та критерії її якості.

# 1. ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ.

## ЗАГАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ

### 1.1. Поняття якості продукції та її забезпечення

Під *якістю* будь-якого *продукту*, відповідно до визначення національних і міжнародних стандартів *ISO 8402-86*, ДСТУ *ISO 9000-1-95*, частина 1 («Стандарти управління якістю і забезпеченню якості»), ДСТУ 3230-95 «Управління якістю та забезпечення якості. Терміни та визначення»), *розуміють сукупність характеристик об'єкта, пов'язаних з його здатністю задовольняти встановлені і прийняті характеристики вимог.*

У деяких літературних джерелах якість визначається як «придатність для використання», або «відповідність призначенню», або «задоволення потреб споживача», або «відповідність вимогам». Ці приклади відображають лише деякі аспекти поняття якості, яке наведене вище.

Оскільки потреби можуть змінюватися з часом, це вимагає періодичного аналізу вимог до якості, тобто якість є величиною динамічною.

Потреби, в свою чергу, переводяться в характеристики на основі встановлених критеріїв і можуть включати, наприклад, експлуатаційні характеристики продукції (виробу), функціональну придатність, надійність (готовність, безвідмовність, ремонтпридатність), безпеку, вплив на навколишнє середовище, економічні та технічні показники і т. д.

Коли говорять про якість продукції, під продукцією розуміють результат діяльності або процесів. Термін «продукція» охоплює основні чотири категорії: обладнання, матеріали для переробки, програмне забезпечення, послуги або комбінацію вищесказаного. Таким чином, продукція може бути матеріальною (деталі, вузли, матеріали для переробки), нематеріальною (інформація, поняття) або комбінацією з них.

*Обладнання*, як правило, включає вироблені, сконструйовані або виготовлені предмети, деталі та (або) вузли.

Під *програмним забезпеченням* розуміють продукт інтелектуальної діяльності у вигляді інформації, для відображення якої використовується допоміжний носій. Програмне забезпечення може приймати форму понять,

транзакцій або процедур. Особливим прикладом програмного забезпечення є програма для комп'ютера.

*Матеріали для переробки* – це матеріальна продукція, отримана шляхом переробки сировини з наданням їй бажаного стану. Матеріали для переробки можуть перебувати в рідкому, газоподібному або твердому стані і приймати форму бруска, дроту або листа. Матеріали, що підлягають переробці, зазвичай поставляються в барабанах, баках, балонах, цистернах, рулонах або по трубопроводам.

Під *послугами* відповідно до стандартів розуміються результати безпосередньої взаємодії між постачальником і споживачем, а також внутрішньої діяльності постачальника для задоволення потреб споживача (медичні, банківські, транспортні послуги, навчання персоналу, технічне обслуговування і т. д.).

На ринку пропозицій будь-якої сучасної організації, як правило, є як мінімум дві загальні категорії продукції, незалежно від галузі промисловості або економіки.

Термін «якість» сам по собі не використовується для передачі ступеня переваги продукту в порівняльному сенсі або для технічних оцінок в кількісному значенні. Для вираження таких значень використовуються якісні прикметники, наприклад, терміни «відносна якість» – якщо об'єкти класифікують за ступенем їх переваги або в порівняльному сенсі; «рівень якості» – в кількісному значенні (наприклад, в статистичному приймальному контролі); «міра якості» – при проведенні точних технічних оцінок.

Внесок у якість різних етапів виробництва іноді ідентифікують з метою їх виділення, наприклад, якість, зумовлена потребами; якість, зумовлена проектуванням продукції; якість, зумовлена відповідністю; якість, зумовлена технічним обслуговуванням продукції протягом усього життєвого циклу і т. д.

З загальної точки зору, під якістю можна розуміти сукупність властивостей і характеристик продукції. Ці властивості і характеристики формуються при створенні виробів і, в залежності від вимог клієнтів і споживачів, можуть бути різноманітними як за рівнем, так і за комбінацією.

Під *забезпеченням якості* розуміють процес формування необхідних властивостей і характеристик продукції.

На якість продукції впливає безліч різних факторів: якість дизайну, рівень технології, якість придбаної продукції і матеріалів, умови праці і т. д.

Практично вся виробнича діяльність підприємства, включаючи конструкторські, технічні, технологічні та організаційні фактори, прямо або побічно, в більшій чи меншій мірі впливає на формування якості.

Забезпечення якості промислової продукції нерозривно пов'язане з концепцією *управління якістю*, тобто постійним, систематичним, цілеспрямованим процесом впливу, що здійснюється при створенні, експлуатації або споживанні продукції з метою встановлення, забезпечення і під-тримки необхідного рівня її якості.

Механізм управління якістю продукції – це сукупність взаємопов'язаних об'єктів і суб'єктів управління, принципів, методів і функцій управління, що використовуються на різних етапах життєвого циклу продукту.

*Об'єктом управління якістю* може бути весь набір властивостей продукції або якась частина, група, або індивідуальна властивість. Іноді об'єктом управління є конкурентоспроможність, технічний рівень або якийсь інший показник продукції.

*Предметом управління* є керівні органи всіх рівнів і особи, покликані забезпечити досягнення та утримання планового стану і рівня якості продукції.

*Метою управління* є рівень і стан якості продукції з урахуванням економічних інтересів виробника і замовника, а також вимоги до безпеки і екологічності продукції.

*Система управління якістю продукції* – це сукупність управлінських органів і об'єктів управління, заходів, методів і засобів, спрямованих на встановлення, забезпечення і утримання високого рівня якості продукції.

Методи і засоби управління якістю промислової продукції – це способи, якими органи управління впливають на елементи виробничого процесу, забезпечуючи досягнення і утримання планового стану і рівня якості продукції.

В управлінні якістю використовують наступні чотири типи методів:

- Економічні методи, що забезпечують створення умов, які заохочують колективи підприємств, конструкторських, технологічних та інших організацій вивчати потреби споживача, створювати, виробляти і

обслуговувати продукцію, що відповідає цим потребам і вимогам. До економічних методів належать правила ціноутворення, умови кредитування, економічні санкції за недотримання вимог стандартів і технічних умов, правила відшкодування економічної шкоди споживачеві за реалізацію неякісної продукції.

- Методи матеріального стимулювання, що забезпечують, з одного боку, заохочення працівників до створення і виготовлення якісної продукції, а з іншого боку – відшкодування шкоди, заподіяної недостатніми показниками якості.

- Організаційно-розпорядчі методи, що здійснюються за допомогою обов'язкових директив, наказів, інструкцій керівників. До організаційних та адміністративних методів управління якістю продукції також належать вимоги нормативної документації.

- Виховні методи, які впливають на свідомість і настрої учасників виробничого процесу, заохочуючи їх до високоякісної роботи і чіткого виконання спеціальних функцій з управління якістю продукції.

Вибір методів управління якістю продукції і пошук їх найбільш ефективного поєднання є одним з найбільш творчих моментів при створенні систем управління завдяки їх безпосередньому впливу на мобілізацію людського фактора.

## 1.2. Еволюція якості та підходів до її забезпечення

Ставлення до якості та її забезпечення у виробничій сфері пройшло тривалу еволюцію. З загальних позицій можна назвати три періоди: якість – система якості – менеджмент системи якості. *Еволюція якості* здійснювалась одночасно з розвитком виробничих відносин, розширенням номенклатури товарів та послуг.

З розвитком виробничих процесів змінювалося і ставлення до якості – від примусових заходів до заохочення, усвідомлення необхідності, прийняття як належного.

На початковому етапі управління якістю було частиною виробничого менеджменту. В результаті розвитку виник окремий напрям менеджменту виробництва – *управління якістю продукції (УЯП)*.

**Можна виділити кілька етапів (фаз) еволюції поняття якості та УЯП.** Їхні умовні назви та коротка характеристика наводяться нижче.

*1 етап – механічний контроль* (до початку ХХ ст.) – кожен працівник сам відповідав за продукцію власного виробництва. Цей період іноді називають «фазою відбраковування», яка почалася разом із ремісничим виробництвом.

*2 етап – контроль майстра* (початок ХХ ст. – 20-ті рр. ХХ ст.) – основна відповідальність за якість покладалася на майстра (десятника). Цей етап відповідає початковим завданням системного підходу до управління якістю. З'явилася перша система контролю якості – система Тейлора (1905 р.), яка встановлювала вимоги до якості виробів (деталей) у вигляді полів допусків та вводила певні шаблони, налаштовані на верхню та нижню межу допусків – прохідні та непрохідні калібри. *На цьому етапі якість продукції визначалася як відповідність стандартам.* Система Тейлора передбачала управління якістю кожного окремого виробу (деталі).

*3 етап – інспекційний контроль* (20-ті ... 40-ві рр. ХХ ст.). У цей період почали активно з'являтися обґрунтовані Тейлором інспекції з якості. Почала здійснюватися 100 % інспекція готової продукції. Контроль якості переходив на розгляд спеціально навчених незалежних експертів з якості. Вперше почали застосовувати методи статистичного контролю, контрольні карти, обґрунтовувалися вибіркові методи контролю якості продукції. *Якість визначалась як відповідність стандартам та стабільності процесів.* Іноді цей період називають «фазою управління якістю».

*4 етап – статистичний контроль* (40-ті ... 60-ті рр. ХХ ст.). Саме цей період повсюдно поширилися статистичні методи контролю якості. *Якість продукції, процесів, діяльності визначалась як відповідність ринковим вимогам.* Здійснювався контроль проектування та виробництва.

*5 етап – забезпечення якості, загальне управління якістю* (60-ті ... 80-ті рр. ХХ ст.). У цей період американським фахівцем з якості А. Фейгенбаумом було розроблено ідею *загального управління якістю продукції TQC (Total Quality Control).* До головних завдань TQC належать прогнозоване усунення потенційних невідповідностей у продукції на стадії конструкторської розробки, перевірка якості продукції, що поставляється, комплектуючих та матеріалів, а також управління виробництвом, розвиток

служби сервісного обслуговування та нагляд за дотриманням відповідності заданим вимогам до якості. На цьому етапі з'явилися *документовані системи забезпечення якості*, що встановлюють відповідальність та повноваження, а також взаємодію в галузі якості керівництва підприємством, а не лише спеціалістів служб якості. Концепція системи забезпечення якості забезпечувала вже не лише проектування і виготовлення якісної продукції, а й якість всієї діяльності фірми. *Якість визначалась як задоволення потреб та вимог замовників*. Здійснювався контроль усієї діяльності виробника.

*Системний підхід в управлінні якістю продукції і на сьогодні є однією із загальносвітових тенденцій.*

*Основні риси системного підходу в управлінні якістю:*

- обов'язки та відповідальність між окремими підрозділами підприємства чітко та аргументовано розподілені;
- система контролю якості є основною частиною загальної системи управління підприємством та функціонує одночасно з усіма іншими видами діяльності на підприємстві, погоджуючись та взаємодіючи з ними;
- система контролю повинна доповнюватися ефективними методами морального та матеріального заохочення та матеріальною відповідальністю за порушення вимог до якості продукції.

*6 етап - загальне управління якістю (80-ті рр. XX ст.).* Почався перехід від загального контролю якості (*TQC*) до загального менеджменту якості (*TQM*). В даний час з'явилася серія нових міжнародних стандартів на системи якості – стандарти *ISO 9000* (1987 р.), які істотно вплинули на менеджмент та забезпечення якості.

Специфіка загального управління якістю полягає в тому, що якщо раніше на підприємствах приймалися компромісні рішення щодо таких параметрів, як обсяг продукції, терміни поставки, витрати та якість, то тепер на перший план висувається якість продукції, і вся робота підприємства підпорядковується цій меті. Отже, управління усіма сферами діяльності підприємства організується з інтересів якості.

Цей перехід є радикальним підходом до якості промислових виробів на етапі розвитку сфери виробництва та послуг. Система *TQM* є комплексною системою, орієнтованою на постійне поліпшення якості, мінімізацію виробничих витрат і вчасного постачання.

Таким чином, загальне управління якістю – це концепція, яка передбачає всебічне та скоординоване застосування систем та методів управління якістю у всіх сферах діяльності від досліджень та розробок до післяпродажного обслуговування за участю керівництва та службовців усіх рівнів та при раціональному використанні всіх технічних можливостей. Ця система втілила у собі все найкраще, що було відібрано світовою практикою при створенні високоякісної продукції (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Структура системи загального управління якістю

Відповідно до еволюції поняття «якість» трансформувалися й її трактування, деякі з них наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Еволюція формування поняття якості

Автор	Формулювання
Аристотель (III ст. до н.е.)	Якість є видовою відмінністю сутності, характеристикою стану сутності, властивістю речі
Гегель (XIX ст. н.е.)	Якість є визначеністю, тотожною з буттям; щось перестає бути тим, що воно є, коли воно втрачає свою якість
Китайська версія	Ієрогліф, що позначає якість, складається з двох елементів – «рівновага» і «гроші» (якість – рівновага+гроші), отже, якість тотожна поняттям «висококласний», «дорогий»
Шухарт У. (вчений у галузі теорії управління якістю, США, 1881...1967 рр.)	Якість - це різниця між предметами, тобто диференціація за ознакою «гарний – поганий»
Ісікава К. (вчений у галузі управління якістю, Японія, 1915 ... 1989 рр.)	Якість має два аспекти: об'єктивні (фізичні) та суб'єктивні (характеристики, наскільки річ є «гарною»)
Джуран Дж. (вчений у галузі якості, США, 1904...2008 рр.)	Якість є ступінь задоволення споживача. Для реалізації якості виробник повинен дізнатися про вимоги споживача і зробити свою продукцію такою, щоб вона задовольняла цим вимогам
Фейгенбаум А. (автор <i>TQM</i> , США, 1922 р.)	Якість виробу або послуги можна визначити як загальну сукупність технічних, технологічних та експлуатаційних характеристик виробу або послуги, за допомогою яких виріб або послуга відповідатимуть вимогам споживача під час їх експлуатації
Харрінгтон Дж. (спеціаліст з управління якістю, США, 1929 р.)	Якість – це задоволення очікувань споживача за ціною, яку він може дозволити, якщо в нього виникає потреба. Висока якість – перевищення очікувань споживача нижче за ціну, ніж він передбачає
Тагуті Р. (інженер, статистик, США, 1924...2012 рр.)	Якість – це втрати, заподіяні суспільству з постачання товару
Міжнародний стандарт <i>ISO 8402–86</i>	Якість – це сукупність властивостей та характеристик продукції чи послуг, які надають їм здатність задовольняти обумовлені чи передбачувані потреби

### 1.3. Сімейство міжнародних стандартів *ISO 9000 (9001)* та їх роль у забезпеченні якості

Забезпечення якості продукції базується на метрології, стандартизації, сертифікації.

Безперечно, важливу роль відіграє стандартизація. Світовий досвід управління якістю сконцентровано у пакеті міжнародних стандартів серії *ISO 9000* (розроблений Міжнародною Організацією зі Стандартизації – *ISO (International Organization for Standardization)*). Основою стандартів *ISO 9000* є комплексний підхід до управління якістю – *Total Quality Management (TQM)*.

Стандарти серії *ISO 9000*, прийняті більш ніж 190 країнами світу як національні, застосовуються до будь-яких підприємств, незалежно від їх розміру, форм власності та сфери діяльності. Сімейство стандартів *ISO 9000* є прикладом універсальних стандартів і поширюється на всі види продукції промислового та економічного секторів відповідно до чотирьох загальних категорій продукції.

*Суть ISO 9000 та інших стандартів цієї серії полягає в економічно обґрунтованому застосуванні так званого правила довіри, що дозволяє раціонально використовувати ресурси окремо взятого підприємства та економіки загалом.*

Стандарти містять терміни, визначення, основні принципи менеджменту якості, вимоги до системи менеджменту якості організацій та підприємств, а також рекомендації щодо досягнення стійких результатів.

*Головне завдання міжнародних стандартів серії ISO 9000 – встановлення єдиного, визнаного в усьому світі підходу до договірних умов оцінки систем забезпечення якості та регламентування відносин між покупцем продукції та її постачальником щодо забезпечення якості продукції. У цьому має забезпечуватися жорстка орієнтація вимоги споживача.*

Основними цілями випуску стандартів сімейства *ISO 9000* були такі:

- зміцнення взаєморозуміння та довіри між постачальниками та споживачами під час укладання міжнародних контрактів;
- досягнення взаємного визнання сертифікатів на системи якості, що

видаються у різних країнах відповідними акредитованими органами сертифікації на підставі використання ними єдиних підходів та стандартів під час проведення сертифікації;

- надання сприяння та методичної допомоги організаціям різних масштабів та сфер діяльності у створенні ефективних систем якості.

При цьому слід пам'ятати, що *ISO 9000* не стандарт якості власне продукту і безпосередньо не гарантує високу якість продукції. Ці стандарти не пропонують абсолютні критерії якості окремих видів послуг і продукції. Міжнародні стандарти сімейства *ISO 9000* встановлюють основні вимоги щодо створення загальних програм менеджменту якості (забезпечення якості) у промисловості та сфері обслуговування. Стандарти серії *ISO 9000* пропонують методикку розробки та побудови системи управління якістю, яка, відповідно, може бути офіційно сертифікована, тобто перевірена та визнана незалежним акредитованим Органом із сертифікації.

Стандарти *ISO 9000* задають методологію функціонування та саморегулювання системи якості з урахуванням зміни запитів споживача, а вона, у свою чергу, повинна забезпечувати та підтримувати високий рівень якості послуг та продукції, іншими словами – забезпечувати високий рівень задоволеності споживачів.

Успіх та міжнародне визнання стандартів серії *ISO 9000* стали підтвердженням двох важливих досягнень їх розробників:

- стандарти містять перевірені часом концепції внутрішнього керівництва якістю та моделі із зовнішнього забезпечення якості. На основі інтегрованої архітектури стандарти згруповані в систему цифрового позначення, що легко запам'ятовується;

- стандарти задовольняють зростаючі потреби міжнародного менеджменту якості та широко використовуються як універсальний інструмент оцінки систем якості другою та третьою стороною.

Система стандартів *ISO* дозволяє сучасним підприємствам та організаціям не лише забезпечити необхідне споживачеві якість своєї продукції, а й вихід на додаткові ринки збуту.

Серія стандартів *ISO 9000* неодноразово переглядалася:

- перша версія була підготовлена у 1987 р.;

- друга версія була видана у 1994 р. та уявляла собою уточнену версію 1987 р.;
- третю версію було розроблено у 2000 р. шляхом радикального перегляду версії 1994 р.;
- четверта версія стандарту вийшла роз'єднано: у 2005 р. – стандарт *ISO 9000:2005*, у 2008 та 2009 рр. – стандарти *ISO 9001:2008* та *9004:2009*;
- п'яту версію *ISO 9001* було видано у 2015 р. (*ISO 9001* спільно з *ISO 9000*). Стандарт *ISO 9001:2015* р. розроблений відповідно до додатку директиви *ISO Annex SL (ISO/IEC Directives, Part 1 Consolidated ISO Supplement – Procedures specific to ISO)*, що визначає вимоги до нормативних документів для систем управління;
- 2018 р. – нова версія стандарту *ISO 19011*.

Зміст основних стандартів, що входять до серії.

- *ISO 9000* «Системи менеджменту якості. Основні положення та поняття» встановлює основні положення, визначення та терміни, що використовуються в серії *ISO 9000*. Поточна версія – *ISO 9000:2015* «Системи менеджменту якості. Основні положення та словник».
- *ISO 9001* «Системи менеджменту якості. Рекомендації щодо покращення діяльності» визначає вимоги до системи управління якістю, що використовуються для підтвердження здатності організації задовольняти потреби споживача та інших зацікавлених сторін. У серії *ISO 9000* це єдиний стандарт, за яким видається сертифікат. Поточна версія – *ISO 9001:2015* «Системи менеджменту якості. Вимоги».
- *ISO 9004*. Містить інструкцію з досягнення стійкого успіху будь-якою організацією в постійно змінюваному, складному та вимогливому середовищі шляхом використання підходу з позиції менеджменту якості. Поточна версія – *ISO 9004:2009* «Менеджмент для досягнення сталого успіху організації. Підхід з урахуванням менеджменту якості».
- *ISO 19011*. Стандарт, що описує методи проведення аудиту в системах менеджменту, зокрема, менеджменту якості. Поточна версія – *ISO 19011:2011* Рекомендації з аудиту систем менеджменту».

Українські версії стандартів:

- ДСТУ *ISO 9000:2007* – аналог *ISO 9000:2005*;
- ДСТУ *ISO 9001:2009* – аналог *ISO 9001:2008*;

- ДСТУ ISO 9001:2015 («Система управління якістю») – аналог ISO 9001:2015.

#### 1.4. Показники якості продукції

Якість продукції оцінюють *показниками якості* – кількісними характеристиками однієї або кількох властивостей, з яких складається якість. Кожен показник має певне найменування та значення.

*Найменування показника є якісною характеристикою продукції. Значення показника є результатом кількісного і якісного вимірювання.* Значення показника застосовується для встановлення відповідності чи невідповідності певним вимогам чи констатації результатів вимірювання.

Вимірюванням та оцінкою якості продукції займається *кваліметрія*. Завдання кваліметрії – обґрунтування вибору показників якості, розробка методів визначення оптимальних значень показників якості та їх оцінки.

Показники якості класифікують залежно від кількості властивостей, що характеризуються, призначення, виду властивостей і т. д.

*Число показників якості* визначається конкретним багатоцільовим призначенням продукції.

Показники якості *за кількістю властивостей* можуть бути одиничними, комплексними, інтегральними, узагальненими (рис. 1.2). Визначення цих показників регламентує ГОСТ 15467-79 («Якість продукції. Терміни»), крім узагальненого показника, що регламентується ГОСТ 16431-70 («Якість продукції. Показники якості та методи оцінки рівня якості продукції»).

*Одиничні показники* характеризують одну властивість якості. Можуть відноситись як до одиниці продукції, так і до сукупності одиниць однорідної продукції, наприклад, напрацювання виробу на відмову (годинник), питома витрата палива – кг/(кгс·год), максимальна швидкість руху – км/год. Ця група є найчисленнішою.

*Комплексні характеристики* характеризують кілька параметрів, причому можуть бути одним числом. Комплексні показники можуть бути пов'язані з одиничними через функціональні залежності або є певною комбінацією одиничних показників.

*Інтегральні показники* визначаються відношенням сумарного корисного ефекту від експлуатації чи застосування продукції до сумарних ви-трат на її створення чи експлуатацію. Дані показники є по суті

різновидом комплексного показника якості, що дозволяє з економічного погляду визначити оптимальну сукупність властивостей виробу.

*Узагальнені показники* характеризують якість продукції незалежно від її виду та призначення, наприклад, обсяг сертифікованої продукції в загальному обсязі.

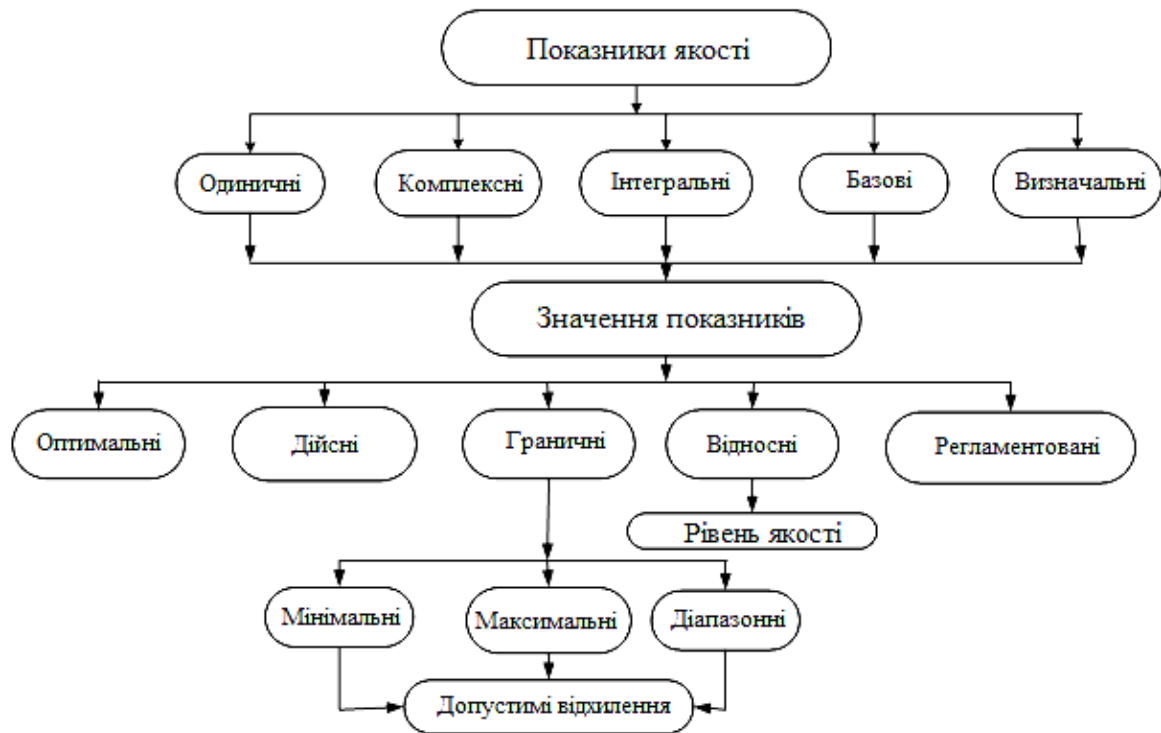


Рисунок 1.2 – Класифікація показників якості продукції

**За призначенням** показники якості ділять на базові та визначальні.

*Базовими* є показники, прийняті за основу при порівняльній характеристиці показників якості. Як базові можуть бути використані показники зразків аналогічної продукції, що відображають передові науково-технічні досягнення, а також показники стандартів або технічних регламентів.

*Визначальні показники* – це показники, що мають вирішальне значення в оцінці якості продукції.

Всім перерахованим показникам притаманні певні значення, які поділяють на оптимальні, дійсні, граничні, відносні та регламентовані.

*Оптимальне значення* показника – це значення, що дозволяє досягти найповнішого задоволення частини потреб, які зумовлює цей показник.

Найчастіше оптимальне значення застосовується як норма, що встановлюється стандартами, тоді це значення набуває статусу регламентованого. Оптимальне значення показника є найбільш бажаним, але на практиці його не завжди можна досягти. Тому в оцінці якості визначається дійсне значення показника якості.

*Дійсне* значення показника визначається його одноразовим чи багаторазовим вимірюванням.

*Граничне* значення показника якості – це значення, перевищення чи зниження якого регламентується як невідповідність чинному нормативному документу. Граничні значення поділяють на мінімальні, максимальні діапазонні.

*Рівень якості продукції* визначають як *відносну* характеристику якості, основою якої є порівняння показників якості з їх базовим значенням, в якості яких використовують показники перспективних зразків, аналогів та стандартів.

*Регламентоване* значення показника – значення, встановлене чинними нормативними документами.

***Номенклатура показників якості (показники якості за властивостями)*** промислової продукції залежить від умов її створення та застосування (рис. 1.3). До основних показників цієї групи належать такі.

- *Показники призначення* характеризують властивості продукції, що визначають основні функції, для виконання яких вона призначена, і зумовлюють область її застосування. Вони поділяються на показники функціональної та технічної ефективності (продуктивність верстата); конструктивні (габаритні розміри, коефіцієнти збірності та взаємозамінності); показники складу та структури.

- *Показники надійності*, які оцінюють властивість виробу виконувати свої функції зі збереженням експлуатаційних показників у встановлених межах протягом певного проміжку часу; включають безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, відновлюваність та збереження.

- *Показники технологічності*. Під технологічністю конструкції виробу (ТКВ) розуміють сукупність властивостей виробу, що визначають пристосованість його конструкції до досягнення оптимальних витрат ресурсів (трудових, енергетичних, матеріальних) при виробництві та

експлуатації для забезпечення заданих показників якості, обсягу випуску та умов експлуатації. ТКВ виражає не функціональні властивості виробу, а його конструктивні особливості – склад та розташування складових частин, схему влаштування виробу в цілому, форму та розташування поверхонь деталей та з'єднань, їх стан, розміри, матеріали та інформаційну виразність.

- *Показники стандартизації* – це насиченість продукції стандартними, уніфікованими та оригінальними складовими частинами, а також рівень уніфікації порівняно з іншими виробами. Всі деталі виробу поділяють на стандартні, уніфіковані та оригінальні. Чим менше оригінальних виробів, тим краще як для виробника продукції, так і споживача.

- *Ергономічні показники* оцінюють систему «людина-техніка» та враховують комплекс гігієнічних (освітленість, температура, вологість), антропометричних (відповідність конструкції розмірам тіла людини), фізіологічних та психологічних особливостей (відповідність силовим, швидкісним, зоровим та іншим можливостям людини), що виявляються у виробничих умовах. Тобто ці показники характеризують зручність виготовлення, зберігання, транспортування та експлуатації продукції.

- *Естетичні характеристики* оцінюють інформаційну виразність та раціональність форми, цілісність композиції та досконалість виробничого виконання продукції, відповідність сучасним тенденціям.

- *Показники транспортабельності* оцінюють придатність продукції до транспортних операцій (наприклад, середня тривалість підготовки до транспортування, середня трудомісткість підготовки до транспортування, коефіцієнт використання обсягу транспортного засобу і т. д.).

- *Патентно-правові показники* вказують ступінь оновлення технічних рішень, їх патентний захист, можливість реалізації продукції в країні та за кордоном.

- *Екологічні показники* характеризують рівень шкідливого впливу на навколишнє середовище, що виникає при експлуатації продукції, кількість шкідливих викидів і т. д.

- *Показники безпеки* характеризують властивості виробу, що гарантують безпеку людини та інших об'єктів при експлуатації, обслуговуванні, транспортуванні та зберіганні продукції.

- *Показники економічної ефективності* включають собівартість, рен-

табельність, річний економічний ефект.



Рисунок 1.3 – Показники якості продукції за властивостями

*Для оцінювання показників якості використовують різні методи, в основі класифікації яких лежить спосіб отримання та сприйняття інформації. Чисельні значення показників якості продукції можна встановити за допомогою об'єктивних чи евристичних методів оцінювання. Об'єктивні методи оцінки показників якості – це методи, що базуються на визначенні показників властивостей шляхом вимірювання або виявлення відхилень цих показників від встановлених вимог.*

Основними видами *об'єктивних методів* оцінки показників якості є такі.

- *Розрахунковий метод* передбачає використання теоретичних або отриманих дослідним шляхом знань. Зазвичай використовується на етапі проектування продукції. При використанні цього методу показники якості визначаються шляхом розрахунку з використанням формул та різних математичних моделей. Метод дозволяє зробити висновки про продуктивність та безвідмовність, а також оцінити його ергономічні та естетичні характеристики. Зазвичай розрахунковий метод використовується для прогнозування або визначення оптимальних

(нормативних) значень, наприклад, показників продуктивності, трудомісткості, надійності і т. д.

- *Вимірювальний метод* ґрунтується на використанні спеціальних технічних засобів вимірювань (вимірювальних приладів). Отримані внаслідок досліджень показники порівнюються з нормативними. Таким чином можна визначити вологість, швидкість, силу струму, температуру, кількість обертів, масу та розміри. Позитивними моментами вимірювального методу є об'єктивність, точність та можливість виразити показники властивостей у одиницях певної розмірності. Негативними моментами вимірювального методу є використання у деяких випадках досить складного обладнання і навіть втрати зразків з допомогою руйнації чи ушкодження під час випробувань.

- За допомогою *реєстраційного методу* збираються дані про можливі витрати, кількість будь-яких подій, факти відмови на випробувальному етапі. Реєстраційний метод базується на результатах підрахунку появи відмов роботи виробу під час експлуатації, кількості дефектних виробів партії, відхиленнями від вимог нормативних документів. Цей метод відрізняється трудомісткістю та тривалістю процесу здійснення спостережень.

*Евристичні методи* оцінки якості продукції засновані на використанні органів чуття, інтуїції та досвіду людей. До різновидів евристичних методів відносять такі.

- *Органолептичний метод* задіює органи чуття – нюху, дотику, зору, слуху та смаку. Його переваги – простота та можливість здійснення в будь-яких умовах без застосування спеціального обладнання. До негативних моментів органолептичного методу належить неможливість отримання точного чисельного значення показників якості, а також використання оцінки лише бальної системи.

- *Експертний метод* оцінки якості продукції ґрунтується на рішенні, прийнятому експертами, він є одним із різновидів органолептичного методу і використовує для оцінки якості узагальнені оцінки групи фахівців (експертів). При цьому точність отриманих у бальній системі оцінок багато в чому залежить від кваліфікації експертів і організації експертизи. Метод є актуальним для тих властивостей продукції, які не мають у явному

вигляді кількісного вираження, наприклад, її естетичні та ергономічні характеристики.

- *Соціологічний метод* оцінки якості базується на аналізі думок широкого кола споживачів про рівень якості продукції. Інформацію про думку споживачів одержують шляхом проведення анкетування, усних опитувань, конференцій, аукціонів, виставок-продажів тощо.

***До основних факторів, що впливають на якість продукції, належать:***

- *виробничі фактори* (сировина, матеріали, комплектуючі, обладнання, інструменти, технології);
- *людські фактори* (навички та знання, організованість та дисциплінованість працівників);
- *економічні чинники* (системи стимулювання, визначення оптимальної собівартості).

Якість продукції формується на різних етапах життєвого циклу продукції – під час проектування, у процесі виробництва та експлуатації, а також утилізації.

Узагальнюючи вищевикладене, можна сформулювати основні вимоги, дотримання яких забезпечує високу якість продукції:

- системність – процес, що охоплює всі ланки виробництва та експлуатації продукції (підприємство-споживач-постачальник);
- комплексність – забезпечення якості на етапах маркетингу, розробки та проектування виробництва, обслуговування та експлуатації;
- організованість та спільність – взаємозалежна робота всіх підрозділів та окремих працівників щодо забезпечення якості продукції;
- пріоритет споживача – основа визначення споживчих властивостей продукції;
- новаторство (інновації) – постійне впровадження нових технологій у всіх галузях діяльності;
- керованість – введення системи управління якістю, що діє під керівництвом першої особи підприємства (фірми).

## 1.5. Якість продукції машинобудування

Якість продукції належить до найважливіших показників машинобудівних підприємств. Підвищення якості машинобудівної продукції дає значний економічний ефект завдяки оснащенню продукцією всіх галузей народного господарства. При освоєнні нових машин або модернізації раніше освоєних, під час планування їх якості, атестації та у багатьох інших випадках необхідно користатися показниками якості машин, тобто кількісним виразом однієї або кількох її властивостей за умовами створення та експлуатації.

Продукція машинобудування є важливою складовою промислової продукції і має її загальні ознаки. Тому аналіз понять, показників якості, методів їх класифікації, створення систем якості, управління якістю продукції доцільно розглядати з урахуванням загальних положень.

*Аналогічно іншим видам продукції показники якості машин можуть бути одиничними та комплексними (груповими).* Одиничні показники відносяться до однієї з властивостей. Наприклад, двигуни внутрішнього згоряння характеризуються такими одиничними показниками: потужність, частота обертання, питомі витрати палива на одиницю потужності тощо.

Одиничними показниками металорізальних верстатів є точність, продуктивність, надійність, рівень уніфікації, рівень автоматизації, час технічного обслуговування, ергономічність і т. д. Деякі одиничні показники металорізальних верстатів, їх орієнтовні значення та коефіцієнти вагомості наведено у табл. 1.2.

Одиничні показники широко використовуються в роботі технологів та конструкторів при освоєнні нових та модернізації раніше освоєних виробів, при технічному контролі їх виробництва.

Після встановлення одиничних показників машини необхідно зіставити їх з показниками аналога або базової продукції (тобто зразка, еталона, моделі або іншого виробу, показники якого в момент оцінки відповідають найвищим вимогам, і який є найбільш ефективним в експлуатації).

*Міра або рівень якості продукції машинобудування виражається відносною характеристикою, що базується на порівнянні значень показників якості даної та базової продукції.*

*Комплексні показники* використовують для комплексної оцінки якості машини за декількома найважливішими її властивостями і застосовують при техніко-економічному плануванні для оцінки динаміки якості за окремі періоди часу. Комплексні показники машинобудівної продукції ділять на узагальнені та інтегральні.

Таблиця 1.2 – Одничні показники якості агрегатних верстатів

№	Найменування показника	Орієнтовні значення	Коефіцієнт вагомості показника
1. Показники призначення			
1.1	Продуктивність верстата, штук/год	12..14	10
1.2	Точність обробки – відхилення від площинності на довжині 500 мм, мм	0,05...0,06	8
1.3	Точність обробки - відхилення від паралельності площин на довжині 100 мм, мм	0,025...0,03	8
1.4	Шорсткість оброблених поверхонь за параметром $R_a$ , мкм	2,5...3,	8
2. Показники надійності та довговічності			
2.1	Термін служби до капітального ремонту, років	8...10	8
2.2	Гарантійний термін, років	1,5...2	9
3. Показники технологічності			
3.1	Коефіцієнт збірності (блочності) верстата $K_{зб}$ , од.	1,0	4
3.2	Питома трудомісткість, нормо-год/кВт	360...390	5
3.3	Питома матеріаломісткість, кг/кВт	700...800	5
4. Ергономічні показники			
4.1	Відповідність конструкції правилам техніки безпеки, бал	5...6	7
4.2	Рівень шуму, дБ	70...80	5
5. Естетичні показники			
5.1	Зовнішній вигляд, якість обробки, упаковки, бал	4...5	5
6. Показники стандартизації та уніфікації			
6.1	Застосовність уніфікованих та стандартних складальних одиниць, %	60...70	8

## Продовження табл. 1.2

7. Патентно-правові показники			
7.1	Показник патентного захисту, $P_{пз}$ , од.	0,13...0,15	6
7.2	Показник патентної чистоти, $P_{пч}$ , од.	1,0	4
Разом:			100
8. Економічні показники			
8.1	Ціна верстата, грн	150000... 200000	-
8.2	Експлуатаційні витрати, грн/год	13,5...14,5	-

*Узагальнені характеристики* служать для зведеної (сумарної) оцінки окремих параметрів машини. До них належать, наприклад, надійність, естетична та ергономічна характеристики. Кожна з цих властивостей визначається сукупністю кількох показників, наприклад, надійність – показниками безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереження. За допомогою узагальненого показника надійність, як та інші складні властивості машини, може отримати єдину зведену оцінку.

*Інтегральні показники* характеризують ефективність або економічність машини. Їх розраховують у двох варіантах – або як відношення сумарного корисного ефекту від експлуатації машини до витрат на її створення та роботу (од. роботи/грн), або як зворотне відношення цих витрат до корисного ефекту (грн/од. роботи).

Аналогічно до інших видів продукції, поняття «якість» застосовується не тільки до кінцевої продукції машинобудування як товару, але також і до діяльності всього підприємства, конструкторського бюро, технологічного відділу, інших відділів, для яких не існує заданих нормативів, але від їх роботи залежить якість продукції.

*Система забезпечення якості виробу* індивідуальна для кожного підприємства і тому не може мати універсальний характер, оскільки у кожному разі залежить від масштабності підприємства та його матеріально-технічних можливостей.

Проте загальними ознаками такої системи мають бути три її блоки: проектування якості, управління якістю та контроль якості. Ці блоки

становлять постійно працюючий замкнений контур взаємодії окремих складових.

*Проектування якості* полягає у розробці переліку показників якості виробів та встановленні їх кількісних значень. На цьому етапі закладається основа якості всієї системи, і тому від професійного рівня фахівців, які забезпечують цей етап, залежить успіх підприємства в цілому.

Контроль якості включає питання вивчення та втілення на практиці тих вимог, які були визначені на попередньому етапі.

По-перше, встановлюються, а за потреби проектується засоби контролю та визначаються обсяги випробувань з урахуванням обраних контрольних ознак. Зазвичай контрольні операції з метою отримання достовірних результатів вимірювань вимагають досить багато часу. Тому важливе місце приділяється раціональному вибору та використанню найбільш продуктивних засобів вимірювання.

По-друге, проводиться калібрування (юстування) вибраних засобів вимірювання, що зберігаються, як правило, у центральних вимірювальних лабораторіях або метрологічних центрах. Кожен вимірювальний засіб періодично повіряється, а результати повірки фіксуються у паспорті.

По-третє, проводяться вимірювання складових елементів та виробу в цілому, отримані результати узагальнюються і у разі негативних даних рекомендуються заходи щодо їх усунення.

Контроль якості включає функції розробки заходів щодо усунення недоліків, виявлених на етапі контролю якості, внесення цих заходів у процес виробництва виробу та контролю їх виконання. Далі результати роботи передаються на рівень проектування якості, де вони у вигляді завдань спрямовуються на реалізацію. Виходячи з цих планових завдань, а також із креслень, операційних карт, стандартів та інших матеріалів, розробляються подальші плани проведення контролю.

Іншими словами, цикл діяльності підприємства щодо забезпечення якості виробу повторюється, і цей процес не закінчується, оскільки тенденція постійного підвищення якості виробів у світі має стійкий характер.

Важливим у структурі управління якістю є організація *потому інформації* з ділянок проектування контролю, проведення контролю та обробки даних контролю усередині підприємства. Крім очевидної

інформації щодо обробки та аналізу даних про якість та супутню для цієї мети відповідної документації враховуються також витрати, пов'язані з досягненням якості виробу.

*Проектування, управління та контроль якості разом із інформаційним потоком утворюють єдиний ідеологічний блок під умовною назвою «техніка забезпечення якості виробу».*

У системі забезпечення якості обов'язково присутній блок питань, пов'язаних із підготовкою та підвищенням кваліфікації співробітників підприємства. У таких програмах досить чітко та аргументовано мають бути висвітлені завдання підвищення якості продукції, розглянуто можливі варіанти її досягнення.

### **Питання для самоперевірки**

1. Які складові включає поняття «продукція»?
2. Що розуміють під якістю продукції?
3. Розкрийте сутність процесу забезпечення якості.
4. В чому полягає концепція управління якістю?
5. Що є об'єктом та предметом управління якістю?
6. Які методи і засоби використовують для управління якістю промислової продукції?
7. Назвіть основні етапи еволюції поняття якості та управління якістю продукції.
8. В чому полягає принцип системи управління якістю продукції?
9. Вкажіть основні риси системного підходу в управлінні якістю.
10. Розкрийте роль серії міжнародних стандартів *ISO 9000 (9001)* у забезпеченні якості.
11. Дайте визначення показників якості продукції.
12. За якими основними ознаками класифікують показники якості?
13. Вкажіть основні показники якості за кількістю властивостей, що характеризуються.
14. Вкажіть основні показники якості за призначенням.
15. Що розуміють під оптимальним, дійсним та граничним значенням показника якості?

16. Якою є номенклатура показників якості за властивостями промислової продукції?

17. Які методи оцінки показників якості Вам відомі?

18. Охарактеризуйте особливості показників якості машинобудівної продукції.

## 2. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 2.1. Поняття метрології та її роль на сучасному етапі розвитку

У сучасному суспільстві метрологія як наука і сфера практичної діяльності відіграє велику роль. Це пов'язане з тим, що немає жодної сфери людської діяльності, де б не використовувалися результати вимірювань. На основі вимірювань отримують інформацію про стан виробничих, економічних та соціальних процесів. З розвитком науки і техніки вимірювання дедалі більше ускладнюються, розширюється діапазон вимірюваних величин та збільшується їх різноманітність.

**Метрологія** (від грецьк. «метро» – міра та «логос» – вчення) – наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення їх єдності та необхідної точності (ДСТУ 2681-94).

*Предметом метрології є отримання кількісної інформації про властивості об'єктів та процесів із заданою точністю та достовірністю.*

*Основними завданнями метрології є такі:*

- забезпечення єдності вимірювань;
- розробка та вдосконалення теорії вимірювань, методів та засобів відтворення одиниць фізичних величин та передачі їх розмірів;
- встановлення системи одиниць, державних еталонів та зразкових засобів вимірювань;
- розробка методів оцінки похибок, стану засобів вимірювання та контролю;
- практичне застосування теорії, методів та засобів вимірювання, а також контролю.

Далі розглядаються деякі базові терміни, що використовують у метрології.

**Вимірюванням** називають сукупність операцій, що виконуються за допомогою технічного засобу, що зберігає одиницю величини і дозволяє порівняти з нею величину, що вимірюється. Отримане значення величини є результатом вимірювань. *Метою вимірювання та його кінцевим результатом є знаходження значення фізичної величини.*

**Принцип вимірювання** – фізичне явище чи ефект, покладені в основу вимірювань.

**Метод вимірювання** – прийом чи сукупність прийомів порівняння вимірюваної фізичної величини з її одиницею відповідно до принципу вимірювань.

**Об'єкт вимірювання** – тіло (фізична система, процес, явище і т. д.), яке характеризується однією або декількома фізичними величинами.

**Суб'єкт вимірювання** (людина, що виконує вимірювання) принципово неспроможний охопити об'єкт цілком, у всьому різноманітті його якостей і зв'язків. Тому взаємодія з об'єктом вимірювання можлива лише на основі моделі об'єкта.

**Модель об'єкта вимірювання** будується відповідно до цілей вимірювання на основі апріорної інформації про об'єкт та умови вимірювання. Побудова адекватної моделі об'єкта вимірювання є складним та неформалізованим завданням.

**Фізичною величиною** називають одну з фізичних властивостей об'єкта (явища, процесу), яка є загальним у якісному відношенні для багатьох фізичних об'єктів та відрізняється за кількісним значенням.

**Значення фізичної величини** – оцінка фізичної величини у прийнятих до вимірювання цієї величини одиницях.

*Метрологія вивчає та має справу тільки з вимірюваннями фізичних величин, тобто величин, для яких може існувати фізично реалізована і відтворювана одиниця величини.*

Знаходження **істинного значення вимірюваної фізичної** є центральною проблемою метрології. Стандарт визначає істинне значення як значення фізичної величини, яке ідеальним чином відображало б у якісному та кількісному відношенні відповідну властивість об'єкта. Одним із постулатів метрології є положення про те, що *істинне значення фізичної величини існує, проте визначити його шляхом вимірювання неможливо.*

**Дійсне значення** – значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного, що для даного випадку може бути використане замість нього.

Під **виміряним значенням** розуміють значення величини, обчислене з відлікового пристрою засобу вимірювання.

**Вимірювана фізична величина** – фізична величина, що підлягає вимірюванню відповідно до поставленого завдання.

**Вимір** – значення фізичної величини, знайдене її виміренням.

**Впливаюча фізична величина** – фізична величина, безпосередньо не вимірювана засобом виміру, але така, що впливає нього або об'єкт вимірювання в такий спосіб, що це призводить до спотворення результату вимірювання.

**Постійна величина** – фізична величина, розмір якої за умовами вимірювальної задачі не змінюється за час, що перевищує тривалість вимірювання.

**Змінна величина** – фізична величина, що змінюється за розміром у процесі вимірювання.

**Похибка результату вимірювання (похибка виміру)** – відхилення результату вимірювання від істинного (дійсного) значення вимірюваної величини.

**Засіб вимірювання** – призначений для вимірювань технічний засіб, що має нормовані метрологічні характеристики, відтворює та зберігає одиницю фізичної величини, розмір якої приймається незмінним (у межах встановленої похибки) протягом відомого інтервалу часу.

**Клас точності** – узагальнена характеристика засобу вимірювальної техніки, яка визначається межами його допустимих та додаткових похибок, а також іншими характеристиками (значення яких регламентуються), що впливають на його точність.

Інші терміни та визначення, що стосуються метрологічного забезпечення, регламентовані законодавством України, міжнародними стандартами, розглядатимуться далі.

## **2.2. Складові частини метрології. Метрологічне законодавство. Національна метрологічна служба**

Сучасна метрологія включає три складові (рис. 2.1):

- **фундаментальну (теоретичну, наукову);**
- **законодавчу;**
- **практичну (прикладну).**

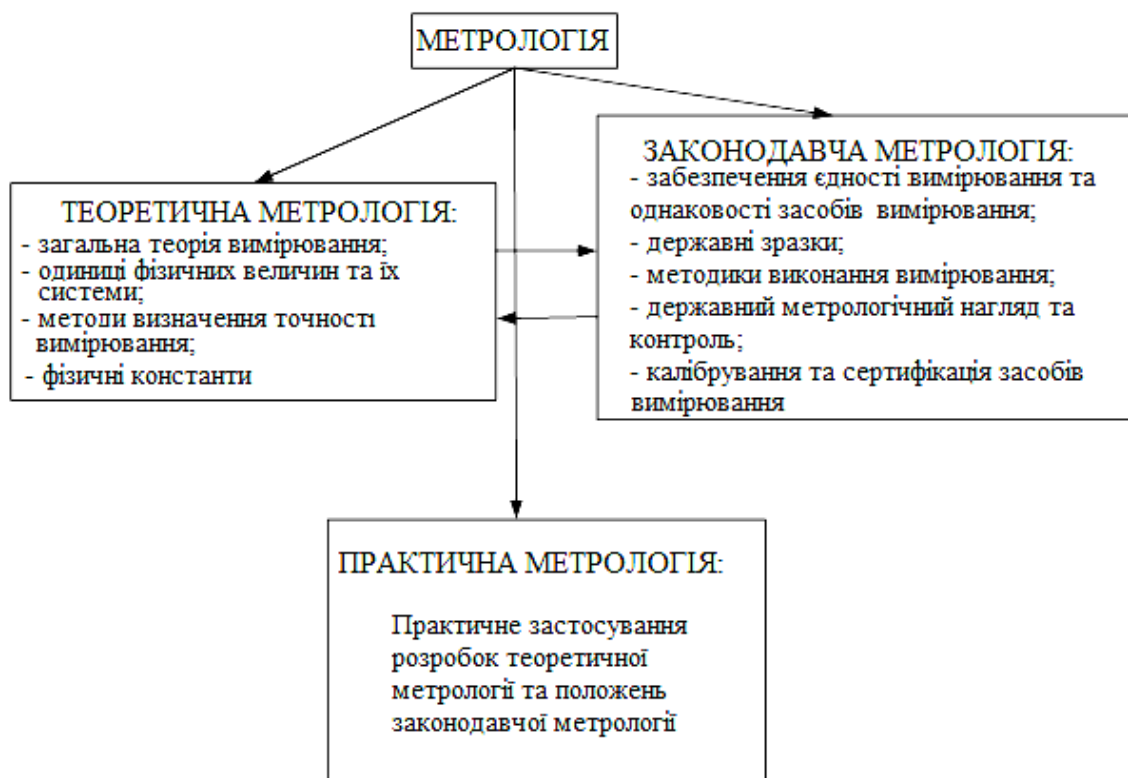


Рисунок 2.1 – Складові частини метрології

*Теоретична (фундаментальна) метрологія* – розділ метрології, предметом якого є розробка фундаментальних основ метрології. Теоретична метрологія займається вивченням проблем вимірювання в цілому та елементів, що утворюють вимірювання, а саме засобів вимірювання фізичних величин та їх одиниць, методів і методик вимірювання, результатів і похибок виміру та інших складових. Також у сферу інтересів теоретичної метрології входить визначення найточніших значень найважливіших фізичних констант, необхідних багатьом галузям науки й техніки.

*Законодавча метрологія* – розділ метрології, предметом якого є встановлення обов’язкових технічних та юридичних вимог щодо застосування фізичних величин, їх одиниць, еталонів, методів та засобів вимірювання, спрямованих на забезпечення єдності та точності вимірювання. Законодавча метрологія включає сукупність взаємозумовлених правил і норм для забезпечення єдності вимірювання.

*Практична (прикладна) метрологія* – розділ метрології, предметом якого є питання практичного застосування розробок теоретичної та законодавчої метрології.

Неухильно зростаюча значущість та відповідальність вимірювання та вимірювальної інформації зумовили необхідність встановлення в законодавчому порядку цілого комплексу правових та нормативних положень, дотримання яких спрямоване на забезпечення єдності та необхідної точності виміру.

*Законодавчі засади української метрології визначено сьогодні найвищими актами – Конституцією України, Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність»* (Відомості Верховної Ради, 2014, № 30, ст.1008), ДСТУ (наприклад, ДСТУ 2681-94 «Метрологія. Терміни та визначення», ДСТУ2682-94 "Метрологічне забезпечення. Основні положення" і т. д.).

Зокрема, положення Конституції України закріплюють централізоване керівництво основними питаннями законодавчої метрології (одиниці величин, зразки та пов'язані з ними інші метрологічні засади), *стаття 91*: «...Винятково законами України встановлюються: ... *одиниці ваги, міри і часу, порядок встановлення державних стандартів*»».

*Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»* встановлює правові засади забезпечення єдності вимірювань, регулює відносини державних органів управління з юридичними та фізичними особами щодо виготовлення, випуску, експлуатації, ремонту та імпорту засобів вимірювання. Він спрямований на захист прав та законних інтересів громадян, встановленого правопорядку та економіки України від негативних наслідків недостовірних результатів вимірювання.

*Закон визначає:*

- основні метрологічні поняття (наведено визначення основних метрологічних термінів);
- сферу законодавчо регульованої метрології;
- структуру та завдання метрологічної системи України;
- одиниці вимірювання величин, національні зразки, засоби вимірювальної техніки та методики виконання вимірювання;
- структуру національної метрологічної служби;

- оцінку відповідності та повірку засобів вимірювальної техніки;
- особливості метрологічного нагляду;
- фінансування метрологічної діяльності;
- визнання результатів метрологічних робіт, проведених в інших державах;
- відповідальність за порушення законодавства у галузі метрології та метрологічної діяльності.

До юридичних та фізичних осіб, а також до державних органів управління, винних у порушенні метрологічних правил та норм, застосовуються відповідні положення чинного адміністративного, цивільного чи кримінального законодавства. Відповідно до законодавства про працю фізичні особи можуть притягуватися до дисциплінарної відповідальності адміністрацією підприємства.

*Метрологічна служба – це сукупність суб’єктів діяльності та видів робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірювання.*

Структура метрологічної служби України визначається відповідно до статті 9 *Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність»* (рис. 2.2).

До складу Державної метрологічної служби входять:

- спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади (ЦОВР) у сфері метрології (Держспоживстандарт);
- національний науковий метрологічний центр (ННЦ «Інститут метрології»);
- державні наукові метрологічні центри (Укрметртестстандарт, ДНДІ «Система»);
- територіальні (регіональні) органи ЦОВР;
- Державні служби:
  - Державна служба єдиного часу та частот;
  - Державна служба стандартних зразків складу та властивостей речовин та матеріалів;
  - Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні константи та властивості речовин і матеріалів.

Національна метрологічна служба забезпечує проведення єдиної технічної політики в Україні щодо забезпечення єдності вимірювання шляхом організації та проведення наступних заходів:

- організації проведення фундаментальних досліджень у галузі метрології;
- організації створення та функціонування еталонної бази України;
- визначення порядку створення, затвердження, реєстрації та застосування еталонів, а також звіряння їх з міжнародними еталонами та еталонами інших країн;
- координації діяльності метрологічної служби України;
- визначення загальних метрологічних вимог до засобів вимірювальної техніки, методів та результатів вимірювань;
- затвердження типів засобів вимірювальної техніки;
- визначення загальних вимог щодо порядку проведення калібрування та метрологічної атестації засобів вимірювальної техніки;
- визначення загальних вимог щодо розробки та атестації методик виконання вимірювання;
- організації навчання з метрології, стандартизації та сертифікації з метою підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу підприємств, участь у діяльності міжнародних метрологічних організацій у порядку, передбаченому законодавством.

Національна метрологічна система забезпечує єдність вимірювання у країні та спрямована на здійснення наступних функцій:

- реалізацію єдиної технічної політики у галузі метрології;
- захист громадян та національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювання;
- економію всіх видів матеріальних ресурсів;
  - підвищення рівня фундаментальних досліджень та наукових розробок;
  - забезпечення якості та конкурентоспроможності вітчизняної продукції;
  - створення науково-технічних, нормативних та організаційних засад забезпечення єдності вимірювання у державі.

Загальне керівництво державними метрологічними службами здійснює Держспоживстандарт та Державне підприємство Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів (Укрметртестстандарт), на який Держспоживстандарт покладає функції Головного Центру метрологічної служби України.

Україна бере активну участь у *міжнародних організаціях з метрології* та інших міжнародних організаціях, в яких обговорюються питання метрології.

Найбільш значущими міжнародними метрологічними організаціями є *Міжнародна організація мір та ваг (МОМВ)* та *Міжнародна організація законодавчої метрології (МОЗМ)*.

*Міжнародна організація мір та ваг (МОМВ, CIRM)* – найстаріша міжурядова науково-технічна організація, заснована у 1875 р. відповідно до підписаної 17-ма країнами Метричної конвенції з метою уніфікації систем одиниць вимірювання, що застосовуються у різних країнах, встановлення фактичної одноманітності еталонів довжини та маси.

У 1875 р. було створено *Міжнародне бюро мір та ваг (МБМВ, BIPM)* – першу міжнародну науково-дослідну лабораторію, що зберігає та підтримує найважливіші міжнародні еталони.

Головне практичне завдання МБМВ – звіряння національних еталонів з міжнародними еталонами різних одиниць вимірювання.

Науковий напрямок роботи МБМВ – удосконалення міжнародної системи вимірювань та еталонів одиниць, розробка та застосування нових методів та засобів точного вимірювання, координація метрологічних досліджень у різних країнах.

*Міжнародна організація законодавчої метрології (МОЗМ, OIML)* заснована у 1956 р. Її метою є розробка загальних питань законодавчої метрології, зокрема забезпечення одноманітності визначення типів засобів вимірювання, встановлення однаковості метрологічних характеристик засобів вимірювання.



МОЗМ видає два види документів – міжнародні рекомендації та міжнародні документи, що охоплюють такі питання: термінологія в галузі метрології; вимоги до метрологічних характеристик засобів вимірювання; способи вираження похибок засобів вимірювання та результатів вимірювання; вимоги до метрологічної діяльності (випробування, повірка, сертифікація, калібрування) засобів вимірювання; метрологічний контроль та нагляд за забезпеченням єдності вимірювання тощо).

З інших міжнародних метрологічних організацій слід відзначити *Міжнародну конфедерацію з вимірювальної техніки та приладобудування (ІМЕКО, ІМЕКО)* – неурядову організацію, що об'єднує наукові та інженерні товариства з вимірювання. Мета ІМЕКО – сприяння міжнародному співробітництву та обміну науковою та технічною інформацією.

У Центральній та Східній Європі діє створена у 1991 р. *Організація співробітництва державних метрологічних організацій країн Центральної та Східної Європи (КООМЕТ)*.

У країнах Західної Європи в 1987 р. було створено *Європейську метрологічну організацію (ЄВРОМЕТ)*, що об'єднує країни-члени ЄС.

*Західно-Європейське об'єднання з законодавчої метрології (ВЕЛМЕТ)* створено у 1989 р. з метою координації діяльності національних метрологічних служб у галузі законодавчої метрології для усунення перешкод у торгівлі в рамках ЄС.

Питаннями метрології займаються такі авторитетні міжнародні організації з стандартизації, як *ISO (ISO – Міжнародна організація з стандартизації)*; *МЕК (МЕС – Міжнародна електротехнічна комісія)*, *МКО (ІСІ – Міжнародна комісія з освітлення)*. Не будучи формально метрологічними організаціями, вони одночасно розробляють стандарти та рекомендації щодо метрологічної термінології та методик виконання вимірювання при випробуваннях продукції, зі встановлення шкал вимірювання і т. д.

Спеціальними питаннями метрології та вимірювальної техніки займаються й інші міжнародні організації, такі як: *МККР – Міжнародний консультативний комітет з радіозв'язку*; *МККТТ – Міжнародний консультативний комітет із телефонії та телеграфії*; *ІКАО – Міжнародна*

організація цивільної авіації; *МАГАТЕ* – Міжнародне агентство з атомної енергетики; *КОСТРА* – Комітет з дослідження космічного простору і т. д.

### **2.3. Метрологічне забезпечення як невід’ємна частина систем управління якістю продукції. Єдність вимірювання**

Технічною основою національної метрологічної служби є *метрологічне забезпечення* – встановлення та застосування наукових та організаційних засад, технічних засобів, правил та норм, необхідних для досягнення *єдності та необхідної точності вимірювання* (ДСТУ2682-94 "Метрологічне забезпечення. Основні положення", Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», 2014 і т. д.).

*Єдність вимірювання* – стан вимірювання, у якому результати виражені в узаконених одиницях і похибки результатів не виходять за встановлені межі із заданою ймовірністю. Такі результати можна зіставляти, вони можуть бути використаними у різних поєднаннях, різними спеціалістами, організаціями.

У широкому сенсі метрологічне забезпечення розглядається як область, що охоплює теорію, методи, засоби та організаційні правила забезпечення єдності та точності вимірювання, контролю та випробувань з метою забезпечення високої ефективності виробництва, експлуатації технічних об’єктів та достовірності наукового експерименту. У вузькому значенні під метрологічним забезпеченням розуміють роботу метрологічних служб, а іноді й роботи з проведення високоточного вимірювання, створення спеціальних контрольно-вимірювальних та випробувальних пристроїв конкретного застосування.

*Головним завданням метрологічного забезпечення* є раціональна організація вимірювального процесу, забезпечення достовірності його результатів, що досягається комплексом засобів та організаційно-технічних заходів на державному, галузевому рівнях, а також на рівні підприємств, що дозволяють підтримувати засоби технічного вимірювання у постійній готовності до проведення вимірювання із заданою точністю.

*Науковою основою* метрологічного забезпечення є метрологія як наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення їх єдності та необхідної точності.

*Законодавчою основою* метрологічного забезпечення є Закони України, Декрети та постанови Кабінету Міністрів України, спрямовані на забезпечення єдності вимірювання. Цьому питанню присвячено, наприклад, Закони України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (2014) та «Про внесення змін до Кодексу України про адміністративні правопорушення щодо відповідальності за порушення у сфері метрологічної діяльності», Постанови Кабінету Міністрів «Про організацію роботи, спрямованої на створення державних систем стандартизації, метрології та сертифікації», «Про державний нагляд за дотриманням стандартів, норм і правил та відповідність за їх порушення», «Про затвердження Положення про особливості метрологічної діяльності у галузі наукових досліджень» і т. д.

*Організаційною основою* є метрологічна служба країни, яка функціонує відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», що складається з Державної метрологічної служби та метрологічних служб органів виконавчої влади, підприємств та організацій.

Організаційною основою метрологічного забезпечення конкретного підприємства є метрологічна служба підприємства, яка включає такі аспекти організації:

- єдність та централізованість обслуговування підрозділів підприємства;
- схему організаційної структури та окремих ланок у складі служби;
- адміністративну та методичну підпорядкованість як структурній одиниці підприємства або об'єднання, так і державним та відомчим метрологічним службам (з урахуванням особливостей організації у відомствах головних та базових метрологічних служб).

*Технічною основою* метрологічного забезпечення у масштабі підприємства є такі заходи:

- відтворення на підприємстві фізичних величин з допомогою робочих еталонів чи зразкових засобів вимірювання;
- введення в експлуатацію загальнопромислових робочих засобів вимірювання, розробка та обов'язкова метрологічна атестація нестандартних засобів вимірювання, призначених для визначення з необхідною точністю характеристик продукції та показників технологічних процесів, отримання

вимірювальної інформації під час випробувань, контролю, наукових досліджень та обліку матеріальних цінностей;

- передача розмірів одиниць фізичних величин робочим засобам вимірювання, які застосовуються на підприємстві шляхом здійснення обов'язкової державної та відомчої повірки засобів вимірювання з метою досягнення ідентичності парку засобів вимірювання при їх експлуатації та ремонті;

- у ряді випадків створення на підприємстві стандартних зразків складу та властивостей речовин та матеріалів, необхідних для відтворення та передачі розмірів величин, коефіцієнтів або умовної шкали властивостей, що характеризують склад речовин та матеріалів;

- використання та при необхідності розробка стандартних довідкових даних про фізичні константи та властивості речовин і матеріалів, призначених для отримання достовірних результатів при наукових дослідженнях, розробці конструкцій та технологічних процесів виготовлення виробів та матеріалів.

Класифікація основ метрологічного забезпечення досить умовна, оскільки кожен із напрямів формується шляхом проведення трудомістких наукових досліджень, організаційно-технічних та методичних заходів, які плануються відповідно до документів стандартів на рівні відомств та безпосередньо на підприємствах. Це необхідно враховувати при вирішенні практичних завдань та досягненні основних цілей метрологічного забезпечення всередині кожного підприємства у процесі розробки та виробництва продукції.

*Цілями метрологічного забезпечення є:*

- підвищення якості продукції та ефективності виробництва;
- оптимізація управління виробництвом;
- забезпечення взаємозамінності деталей, вузлів, агрегатів;
- підвищення ефективності науково-методологічних робіт, експериментів та випробувань;
- оптимізація системи обліку та підвищення ефективності використання матеріальних цінностей та ресурсів;
- оптимізація системи нормування та контролю умов праці та побуту;
- охорона навколишнього середовища;
- оцінка та економне використання природних ресурсів і т. д.

Вказані цілі реалізуються шляхом запровадження державної політики у сфері метрології, стандартизації, сертифікації, що здійснюється Держспоживстандартом України. Основною метою політики є підтримка вітчизняного виробника, підвищення конкурентоспроможності української продукції, сприяння її виходу на міжнародний ринок, захист прав громадян України на споживання безпечної для життя, здоров'я та навколишнього середовища продукції.

До основних завдань метрологічного забезпечення на рівні підприємств та організацій слід віднести здійснення метрологічного контролю у сфері своєї діяльності, тобто метрологічна атестація та калібрування засобів технічного вимірювання; акредитація калібрувальних та вимірювальних лабораторій; метрологічна експертиза документації та звітів про науково-дослідні роботи та атестація методик виконання вимірювання; метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірів.

Проблема забезпечення високої якості продукції тісно пов'язана із проблемою якості вимірювання. Між ними явно простежується безпосередній зв'язок: там, де якість вимірювання не відповідає вимогам технологічного процесу, неможливо досягти високого рівня якості продукції. Тому забезпечення якості залежить значною мірою від успішного вирішення питань, пов'язаних з точністю вимірювання параметрів якості матеріалів та комплектуючих виробів, підтримки заданих технологічних режимів процесів.

Метрологічне забезпечення виробництва, засноване на практичному використанні положень метрології, є складовою системи управління якістю та однією з основних передумов досягнення необхідної якості виробів і, таким чином, найважливішою складовою функціонування сучасного виробництва.

Загальну схему метрологічного забезпечення наведено на рис. 2.3.

Система якості кожного підприємства розробляється з урахуванням конкретної діяльності підприємства, специфіки виробленої продукції і ринку збуту, проте у кожному випадку вона повинна охоплювати всі стадії життєвого циклу продукції. При цьому має бути враховано так звану «петлю якості», що включає такі види діяльності: маркетинг, пошук та

вивчення ринку, проектування та розробка продукції, підготовка та розробка виробничих процесів, матеріально-технічне постачання, виробництво, контроль, проведення випробувань та обстежень, пакування та зберігання, реалізація та розподіл, монтаж та експлуатація, технічна допомога та обслуговування, післяпродажна діяльність, утилізація після використання.

Система якості може бути ефективною лише за умови, що вона функціонує в системі управління якістю в тісному взаємозв'язку з усіма видами діяльності, що впливають на якість продукції, тобто забезпечує управління якістю на всіх ділянках «петлі якості».

Відповідно, метрологічне забезпечення є важливим на всіх етапах оцінки якості промислової продукції.

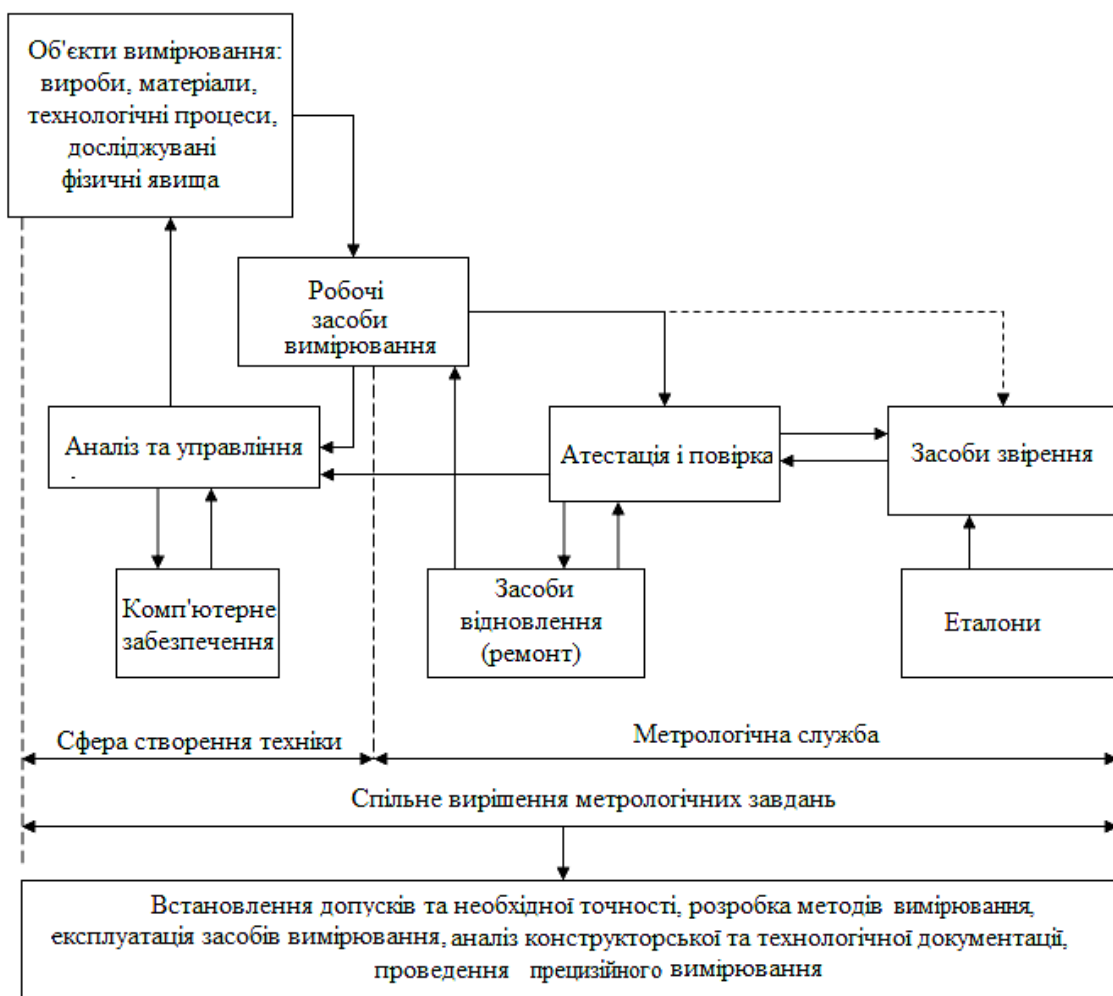


Рисунок 2.3 – Схема метрологічного забезпечення

Наприклад, *метрологічне забезпечення підготовки виробництва* включає комплекс організаційно-технічних заходів, що забезпечують визначення з необхідною точністю характеристик виробів, вузлів, деталей, матеріалів, сировини, параметрів технологічного процесу, обладнання та дозволяють досягти значного підвищення якості продукції та зниження невиробничих витрат на її розробку та виробництво. Нормативною базою підготовки виробництва є державні та галузеві стандарти, стандарти підприємств, виробнича документація.

Метрологічне забезпечення підготовки виробництва включає такі види діяльності.

1). Встановлення раціональної номенклатури вимірювальних параметрів та норм точності, що забезпечують достовірність вхідного та приймального контролю виробу, контролю характеристик технологічного процесу та обладнання. Норми точності вимірювань регламентовані у ряді стандартів на методи вимірювання, аналізу та випробувань.

2). Забезпечення технологічних процесів найбільш досконалими методиками виконання вимірювання, що гарантують необхідну точність вимірювання, атестацію та стандартизацію цих методик (у комплект методик повинні входити методики, що забезпечують безпеку та охорону праці).

3). Забезпечення (постачання, розробка, виготовлення) виробництва засобів вимірювальної техніки, у тому числі спеціального призначення, засобів обробки та надання інформації, а також нестандартних засобів вимірювальної техніки.

4). Забезпечення метрологічного обслуговування та перевірки засобів вимірювань.

5). Забезпечення умов виконання вимірювання, встановлених науково-технічною документацією.

6). Підготовка виробничого персоналу та працівників відповідних служб для виконання контрольних-вимірювальних операцій, перевірки, юстування засобів вимірювання.

7). Організація та проведення метрологічного контролю та експертизи конструкторсько-технічної документації.

Роботи з метрологічного забезпечення підготовки виробництва виконують конструкторські, метрологічні та технологічні служби з моменту отримання вихідних документів на вироби. Склад вихідних документів визначається галузевими стандартами. Методичне керівництво реалізацій заходів здійснюють державні відомчі метрологічні служби.

*Метрологічне забезпечення на етапі виробництва* полягає у підтримці та перевірці правильності організації технологічних процесів на всіх етапах.

Першим відповідальним етапом є вхідний контроль сировини і комплектуючих виробів. Аналіз метрологічного забезпечення на даному етапі включає встановлення правильності організації вхідного контролю, в тому числі оптимальний вибір номенклатури контрольованих параметрів і забезпеченості робочих місць засобами і методиками вимірювання, а також відповідність організації вхідного контролю вимогам ГОСТ 24297-87 «Вхідний контроль якості продукції».

При аналізі метрологічного забезпечення процесу виготовлення необхідно приділяти особливу увагу стану технологічного оснащення (наявність паспортів; відповідність розмірів, зазначених у паспортах, кресленнях на техоснастку, розмірів на деталь; фактичні розміри; зовнішній вигляд тощо).

Контроль технічного обладнання на технологічну точність проводиться з метою визначення готовності обладнання забезпечити режим заданої точності відповідно до технологічної документації.

Необхідно також перевіряти стан та правильність застосування засобів вимірювання.

Працівникам відділу технічного контролю та всьому виробничому персоналу необхідно дотримуватися методик виконання вимірювання.

Один із найважливіших напрямів метрологічного забезпечення – метрологічне забезпечення якості робіт із сертифікації та стандартизації продукції.

Для реалізації серії законодавчих актів України (таких, як Закон «Про захист прав споживачів», 2017; Закон «Про стандартизацію», 2015; Декрет Кабінету Міністрів України «Про стандартизацію та сертифікацію», 1993; Закон «Про енергозбереження», 1994 і т. д.)

необхідне використання достовірної та порівнянної метрологічної інформації.

Ефективне співробітництво з іншими країнами, спільні розробки науково-технічних програм, подальший розвиток торговельних відносин вимагають взаємної довіри до вимірювальної інформації, по суті, основного об'єкту обміну при спільному вирішенні науково-технічних проблем, основі взаємних розрахунків при торгових операціях, укладанні контрактів на постачання матеріалів, виробів та обладнання. Створення єдиного підходу до вимірювальної інформації гарантує взаєморозуміння, можливість уніфікації та стандартизації методів та засобів вимірювання та випробувань у міжнародній системі товарообміну.

Перелічені положення є своєрідною системою. Вилучення будь-якого елемента неминує приводить до отримання недостовірної інформації і, як наслідок, до значних економічних втрат та прийняття помилкових рішень.

Питання щодо окремих елементів цієї системи будуть розглянуті далі.

Слід також зазначити, що у діяльності з метрологічного забезпечення беруть участь не лише метрологи, тобто особи чи організації, відповідальні за єдність вимірювань, а й кожен фахівець як споживач кількісної інформації, у достовірності якої він зацікавлений, або як учасник процесу її отримання та забезпечення вимірювання.

#### **2.4. Метрологічна експертиза технічної документації**

Відповідно до ДСТУ-Н РМГ 63-2013 («Забезпечення ефективності вимірювання при управлінні технологічними процесами. Метрологічна експертиза технічної документації») *метрологічна експертиза* – це аналіз та оцінка технічних рішень щодо вибору параметрів, що підлягають вимірюванню, встановленню вимог до точності виміру та забезпечення методами та засобами вимірювання процесів розробки, виготовлення, випробування, експлуатації та ремонту продукції.

Метрологічна експертиза є формою участі фахівців-метрологів у розробці технічної документації. Метою такої участі є виявлення помилкових

або недостатньо обґрунтованих рішень щодо метрологічного забезпечення та надання допомоги розробнику у пошуку найбільш раціональних рішень.

Введення метрологічної експертизи приводить до вдосконалення метрологічного забезпечення виробництва, а також підвищення якості продукції.

Метрологічна експертиза має сприяти раціональному вирішенню двох основних питань метрологічного забезпечення виробництва виробів: які параметри слід вимірювати і з якою точністю мають бути виконані дані вимірювання, а також пов'язані з ними завдання вибору засобів та методик виконання вимірювання.

У зв'язку з цим *завданнями метрологічної експертизи технічної документації є такі:*

- оцінка раціональності номенклатури вимірюваних параметрів;
- оцінка оптимальності вимог до точності виміру;
- оцінка відповідності точності виміру заданим вимогам;
- оцінка повноти та правильності вимог до точності засобів вимірювання;
- оцінка контролепридатності конструкції (можливості контролю необхідних параметрів процесу виготовлення, випробувань, експлуатації та ремонту);
- оцінка можливості ефективного обслуговування обраних засобів вимірювання;
- оцінка раціональності обраних засобів та методик виконання вимірювання;
- аналіз використання обчислювальної техніки у вимірювальних операціях;
- контроль метрологічних термінів, найменувань вимірюваних величин та позначень їх одиниць.

*Метрологічній експертизі піддають документацію на продукцію основного та допоміжного виробництв, що містить вимоги до засобів вимірювання, умов, процедур вимірювання, а також норми та показники точності виміру: документи на стадії розробки технічного завдання; документи, що використовуються на стадії розробки конструкції (технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект); робочу конструкторську документацію; перспективні проекти технологічної документації та робочу*

технологічну документацію; документи на стадії виготовлення виробів (наприклад, оповіщення про зміни документації). Об'єкти аналізу, рекомендовані для метрологічної експертизи різної технічної документації, представлені в табл. 2.1.

Результати метрологічної експертизи фіксують у формі зауважень, що мають характер розпоряджень, обов'язкових до виконання. Найчастіше ці зауваження повинні супроводжуватися пропозиціями, спрямованими на усунення недоліків.

Зауваження мають бути конкретними та зрозумілими без усних пояснень експерта, а пропозиції можуть бути як конкретними (наприклад, замінити один засіб вимірювання іншим), так і більш загальними (наприклад, замінити вимірювальну базу без зазначення варіантів заміни, обґрунтувати вибір нормованого параметра і т. д.).

Інша типова форма оформлення результатів метрологічної експертизи – експертний висновок. Він складається при оформленні результатів документації, що надійшла від інших організацій, результатів метрологічної експертизи спеціально призначеною комісією, результатів експертизи, після якої необхідно вносити зміни до чинної документації або розробляти заходи щодо вдосконалення метрологічного забезпечення.

*Одним із головних завдань метрологічної експертизи робочої конструкторської документації є аналіз раціональності номенклатури вимірюваних параметрів, див. табл. 2.1.*

За наявності якісних вимог, що передбачають органолептичний контроль, необхідно проаналізувати необхідність та можливість їх заміни на вимоги до фізичних величин, що перевіряються шляхом вимірювання. Іноді така заміна можлива, але недоцільна, наприклад, у разі контролю параметрів, підвищення об'єктивності та достовірності яких не виправдовує додаткових витрат на організацію вимірювання.

Зміна номенклатури вимірюваних параметрів здійснюють за результатами оцінки їхнього впливу на службове призначення виробу, взаємозв'язку між собою, а також економічної доцільності відповідних контрольних-вимірювальних операцій.

Таблиця 2.1 – Види технічної документації та відповідні об'єкти аналізу під час метрологічної експертизи (ДСТУ-Н РМГ 63-2013)

Об'єкти аналізу під час метрологічної експертизи	Види технічної документації								
	Технічні завдання, пропозиції (заявки)	Звіти про НДР, пояснювальні записки до технічних та ескізних проектів	Протоколи випробувань	Технічні умови, проекти стандартів	Експлуатаційні та ремонтні документи	Програми та методики випробувань	Технологічні інструкції та регламенти	Технологічні карти	Проектні документи
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Раціональність номенклатури вимірюваних параметрів		•		•	•	•	•	•	•
Оптимальність вимог до точності виміру	•	•		•		•	•		•
Об'єктивність та повнота вимог до точності засобів вимірювання	•	•		•	•	•	•		•
Відповідність фактичної та необхідної точності виміру		•	•	•	•	•	•	•	
Контрольнепридатність конструкції (схеми)		•			•				•
Можливість ефективного метрологічного обслуговування засобів вимірювання	•	•		•	•		•		•
Раціональність вибраних методик та засобів вимірювання		•	•	•	•	•	•	•	•
Застосування обчислювальної техніки		•		•		•	•		•
Метрологічні терміни, найменування вимірюваних величин та позначення одиниць	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Так, у ряді випадків через зручність вимірювання доцільно замінювати роздільне нормування відхилень форми та розташування поверхонь деталей нормуванням сумарних відхилень цих параметрів геометричної точності, тим більше що у багатьох випадках точність форми та розташування поверхонь одночасно впливають на експлуатаційні властивості деталей. До таких параметрів можна віднести відхилення від площинності та паралельності, площинність та перпендикулярності та деякі інші нераціонально нормовані та вимірювані окремо параметри.

Іноді доцільно нормовані комплексні параметри геометричної точності замінювати на диференційовані. Наприклад, вимірювання комплексного параметра точності форми циліндричних поверхонь – відхилення від циліндричності найчастіше недостатньо забезпечене виробничими вимірювальними засобами. Тому рекомендується окремо нормувати та вимірювати відхилення від круглості та профілю поздовжнього перерізу.

При перевірці правильності взаємної ув'язки допусків форми, розташування, а також шорсткості поверхонь і допусків на розміри деталі, що проставляються на кресленні, слід керуватися ГОСТ 24643-81 («Основні норми взаємозамінності. Допуски форми та розташування поверхонь») та відповідними рекомендаціями.

*При експертизі контролепридатності* встановлених норм точності основна увага приділяється аналізу можливості вимірювання зазначених у конструкторській документації параметрів точності виробу існуючими вимірювальними засобами. Якщо такої можливості немає, перевіряють обґрунтованість призначення зазначених параметрів точності та їх допусків. При цьому необхідно враховувати, що одні й ті самі властивості виробу можуть бути забезпечені нормуванням різних параметрів. Наприклад, за відсутності в одиничному виробництві комплексних калібрів для контролю позиційного відхилення осей отворів під кріплення можлива заміна відповідно до ГОСТ 28187-89 («Основні норми взаємозамінності. Відхилення форми та розташування поверхонь. Загальні вимоги до методів вимірювань») позиційних допусків граничними відхиленнями координуючих розмірів.

*Перевірка повноти та правильності вимог до точності засобів вимірювання* проводиться, як правило, якщо параметри, що нормуються, безпосередньо не перевіряються, а використовуються непрямі методи вимірювання. При непрямих вимірюваннях похибка засобів вимірювання становить частину похибки виміру. У таких випадках необхідне уявлення про методичну складову похибки виміру. При перевірці правильності вимог до точності засобів вимірювання слід враховувати, що надлишковий запас точності економічно не виправданий. Чим точніше засіб вимірювання, тим вищі витрати на вимірювання, у тому числі витрати на метрологічне обслуговування цих засобів.

Достовірність вимірювань лінійних розмірів можна оцінити величиною параметрів  $m$  (кількість неправильно прийнятих деталей),  $n$  (кількість неправильно забракованих деталей) та  $c$  (можливий вихід за межу поля допуску у неправильно прийнятих деталях), що визначаються за ГОСТ 8.051-81 («Державна система забезпечення вимірювань. Похибки, що допускаються при вимірюванні лінійних розмірів до 500 мм»), залежно від точності технологічного процесу обробки деталей та точності виміру. Зазначені параметри повинні знаходитись у межах допустимих конструктивних ( $m$ ,  $c$ ) та економічних ( $n$ ) вимог.

При оцінці *правильності використання метрологічних термінів, найменувань вимірюваних величин та позначень їх одиниць* перевіряють виконання вимог ДСТУ 2681-94 («Метрологія. Терміни та визначення») і т. д. У документації дозволяється застосування одиниць міжнародної системи ( $SI$ ), кратних та дольних одиниць  $SI$ , одиниць, допущених до застосування нарівні з одиницями  $SI$ .

Одним з найбільш важливих та відповідальних етапів метрологічної експертизи конструкторської документації є *метрологічна експертиза робочих креслень машин та приладів*, метою якої є встановлення можливості контролю закладених у кресленні норм точності.

Метрологічна експертиза креслення деталі виконується у такій послідовності.

1. Перевіряють відповідність (необхідність та достатність) службовому призначенню деталі та відповідним державним стандартам

зазначених безпосередньо на кресленні та у технічних вимогах допусків розмірів, форми, розташування та шорсткості поверхонь.

2. Перевіряють правильність термінології у призначених технічних вимогах, відповідність Міжнародній системі одиниць найменувань вимірюваних величин та позначення їх одиниць.

3. Перевіряють взаємне ув'язування допусків розмірів, взаємного розташування та шорсткості поверхонь деталі.

4. Визначають контролепридатність зазначених у п. 3 допусків.

5. Визначають достовірність контролю за призначеними нормами точності.

Результати метрологічної експертизи оформляють за допомогою зауважень та пропозицій. Документацію разом із списком зауважень та пропозицій повертають розробнику для внесення поправок.

Цілі *метрологічної експертизи технологічної документації* ті ж самі, що і робочої конструкторської документації. Якщо метрологічна експертиза робочої технологічної документації передувала експертизі робочої конструкторської документації, то аналізу можуть піддаватися лише норми точності, встановлені понад норми у конструкторській документації. Наприклад, запроваджені технологічною службою виробничі допуски або допуски на міжопераційні розміри (відхилення форми, розташування поверхонь, шорсткості).

У разі неможливості або утруднення контролю в умовах виробництва методами та засобами вимірювання, передбаченими у технологічній документації, перевіряють обґрунтованість встановлених норм точності та розглядають питання про заміну засобів вимірювання більш точними або вводять виробничий допуск, що дозволяє використовувати менш точний вимірювальний засіб. При цьому слід враховувати, що введення виробничого допуску може привести до збільшення кількості неправильно забракованих деталей, що сприяє збільшенню собівартості виробу. Якщо відсоток помилкового браку виявиться неприпустимо великим, технологічним службам пропонується розглянути питання підвищення точності технологічного процесу.

*Основними завданнями метрологічної експертизи технологічних документів є такі:*

- аналіз достатності методів контролю, які встановлюються у технологічній документації норм точності;
- перевірка відповідності продуктивності методу контролю продуктивності технологічного процесу (при недостатній продуктивності методу контролю розглядають можливість застосування статистичних методів контролю, напівавтоматичних чи автоматичних вимірювальних засобів або методів активного контролю);
- перевірку повноти та визначеності опису операцій контролю (повнота описів залежить від виду технологічного документа); якщо у технологічному документі неможливо дати повний опис методу контролю, то на цю операцію має бути складена операційна карта технологічного контролю або інструкція;
- розрахунок економічності обраного методу контролю;
- аналіз правильності вказівок щодо організації та проведення вимірювання для забезпечення безпеки праці та навколишнього середовища.

### **Питання для самоперевірки**

1. Розкрийте поняття метрології, її предмет та основні завдання у сучасному виробництві.
2. Дайте визначення базових метрологічних термінів: вимірювання, принцип і метод вимірювання, об'єкт і суб'єкт вимірювання, вимірювана фізична величина, вимір, похибка виміру, засіб вимірювання та інші.
3. Які складові частини метрології Вам відомі?
4. Що є предметом теоретичної (фундаментальної) метрології?
5. Що є предметом законодавчої метрології?
6. Що є предметом практичної метрології?
7. Якими документами та актами визначаються законодавчі засади української метрології?
8. Що уявляє собою метрологічна служба?
9. Які основні структурні підрозділи включає метрологічна служба України?
10. Назвіть найбільш значущі міжнародні метрологічні організації.
11. Розкрийте сутність метрологічного забезпечення як складової ча-

стини системи управління якістю.

12. Які основні цілі метрологічного забезпечення?

13. Дайте характеристику схеми метрологічного забезпечення.

14. Які основні особливості метрологічного забезпечення на етапі підготовки виробництва та на етапі виробництва?

15. У чому полягає метрологічна експертиза технічної документації?

### 3. ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРОЦЕС ТА ЙОГО ЯКІСТЬ

#### 3.1. Основні принципи та поняття вимірювання

Фізичні величини, що є об'єктом вимірювань у метрології, мають кількісні та якісні характеристики.

*Кількісною характеристикою вимірюваної величини є значення величини (її розмір).* Розмір є об'єктивною характеристикою, яка не залежить від вибору одиниць вимірювання.

Найпростіший спосіб отримання інформації про розміри однорідних величин полягає в порівнянні з одним і тим же відомим розміром, прийнятим за міру.

Стосовно кардинальних вимірювань (тобто вимірювань найвищого рівня, коли встановлюється співвідношення між значенням тієї чи іншої величини і значенням визначеної заздалегідь еталонної величини) існує прийнятий у міжнародному масштабі стандарт міри, яка для простоти прийнята рівною одиниці. Тому при кардинальних вимірюваннях *міра задає одиничне значення вимірюваної величини* і називається **одиницею вимірювання** (розміром міри). Таким чином, результат кардинального вимірювання скалярної фізичної величини можна виразити як

$$X = \{x\}[x], \quad (3.1)$$

де  $X$  – вимірювана величина;  $[x]$  – одиниця вимірювання величини;  $\{x\}$  – числове значення величини у прийнятих одиницях.

*У класичній метрології цей вираз називають основним рівнянням вимірювання.*

Збільшення або зменшення розміру одиниці вимірювання  $[x]$  приводить до пропорційної зміни числового значення  $\{x\}$ ; при цьому значення величини  $X$  залишається незмінним: воно не залежить від вибору одиниць вимірювання.

*Формалізованим відображенням якісної відмінності між вимірюваними величинами є їхня розмірність.* Розмірність – це вираз, що відбиває зв'язок даної похідної величини з основними величинами системи. Воно являє собою добуток основних величин, зведених у відповідний ступінь, що називається показником розмірності. Розмірність основної одиниці збігається з її символом у ступені, що дорівнює 1.

Позначення розмірності встановлено міжнародним стандартом *ISO*, він є символом *dim*.

Розмірність деяких основних одиниць системи *SI*:

довжина:  $\dim l = L$  (найменування одиниці – метр);

маса:  $\dim m = M$  (найменування одиниці – кілограм);

час:  $\dim t = T$  (найменування одиниці – секунда).

Для похідної величини розмірність виражається за допомогою розмірності основних величин і ступеневого одночлена:

$$\dim Y = L^k M^l T^m, \quad (3.2)$$

де  $k, l, m$  – показники ступеня розмірності основних величин.

Розмірною називається величина, у розмірності якої хоча б одна з основних величин зведена в нерівну нулю ступінь. Відповідно безрозмірною називається величина, в розмірність якої основні величини входять у ступені, що дорівнює нулю.

*Предметом метрології* є отримання кількісної або якісної інформації про властивості об'єктів навколишнього світу за допомогою вимірювання.

**Деякі уточнення поняття вимірювання:**

- вимірювати можна тільки властивості реально існуючих об'єктів пізнання, що відображаються фізичними величинами;
- вимірювання ґрунтується на експериментальних процедурах, ніякі теоретичні міркування чи розрахунки не можуть класифікуватися як вимірювання;
- для проведення вимірювального експерименту потрібні спеціальні технічні засоби – *засоби вимірювання*;
- *результатом вимірювання* є оцінка фізичної величини у вигляді деякого числа прийнятих для неї одиниць.

З урахуванням цих положень можна надати таке визначення:

**вимірювання** – це знаходження значення фізичної величини дослідним методом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Ґрунтуючись на наведеному вище визначенні вимірювання, можна формально стверджувати, що поняттю «вимірювання» відповідає лише такий інформаційний процес, при якому вимірювальна інформація, що виникає при взаємодії засобу вимірювання з об'єктом вимірювання,

перетворюється так, щоб в результаті отримати *результат вимірювання у вигляді іменованого числа в явному вигляді*.

Поряд з цим у техніці поширені інформаційні структури та процеси, в яких вимірювальна інформація використовується у вигляді сигналу (наприклад, електричного). Ця інформація є вихідною для вирішення завдань, кінцевою метою яких є не отримання оцінки значення фізичної величини в прийнятих одиницях, а формування на основі обробки та аналізу цього сигналу певних думок, логічних висновків про об'єкт («гідний – негідний», «справний – несправний», «більше – менше»). До таких завдань належать контроль якості, діагностика технічного стану систем та машин, управління технологічними процесами і т. д.

### **3.2. Вимірювальний процес**

Крім поняття «вимірювання», існує більш загальне поняття «вимірювальний процес».

Вимірювальний процес є складовою будь-якого технологічного процесу. Від якості вимірювального процесу залежить правильність прийнятих рішень щодо управління технологічними процесами відповідно до виду продукції.

**Вимірювальний процес** – це процес, що перетворює значення вимірюваного параметра в результат вимірювання за допомогою використання ресурсів (засобів вимірювальної техніки та іншого обладнання, оператора, навколишнього середовища тощо), регульований методикою виконання вимірювання.

У найпростішому випадку модель вимірювального процесу може бути представлена у вигляді схеми (рис. 3.1).

Конкретна *процедура виконання вимірювань* розглядається як послідовність складних і різнорідних дій, складених із ряду взаємозалежних етапів, які можуть суттєво відрізнятися за кількістю, видом та трудомісткістю виконуваних операцій.

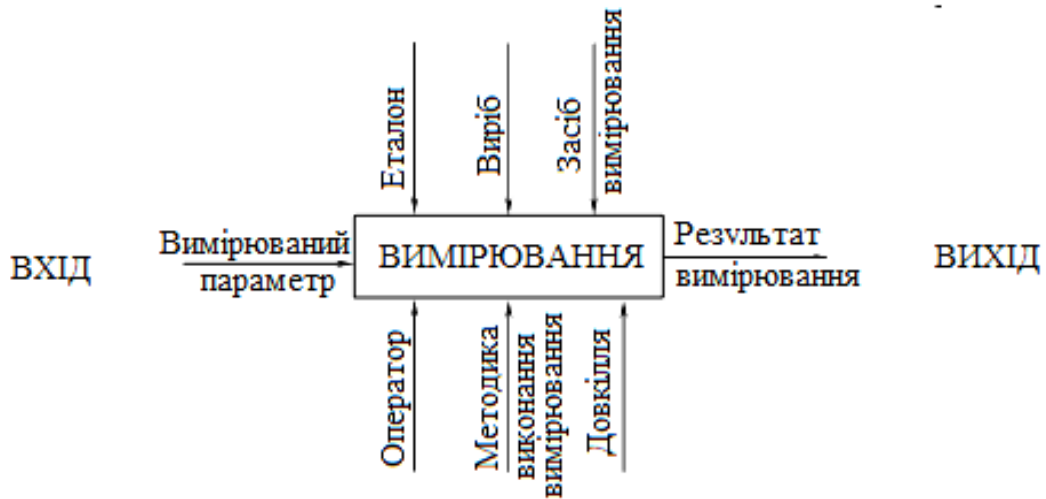


Рисунок 3.1 – Модель вимірювального процесу

Їхнє чітке виділення, усвідомлене виконання необхідного та достатнього числа виконуваних дій вимірювань приводить до оптимізації процесу реалізації вимірювання та усунення відповідних методичних помилок.

*До основних етапів вимірювання відносять такі:*

- постановка вимірювального завдання;
- планування вимірювання;
- проведення вимірювального експерименту;
- опрацювання експериментальних даних.

Спрощений зміст основних етапів вимірювального процесу наведено у табл. 3.1.

*Початковим етапом будь-якого вимірювання є його завдання (мета) – етап 1.*

Завдання вимірювання у загальному випадку – отримання результату вимірювання необхідної якості, тобто необхідної точності та достовірності.

Формулювання конкретної вимірювальної задачі здійснюється з урахуванням інформації про об'єкт та його властивості, отриманої до проведення самого вимірювання, що дозволяє заздалегідь визначити характеристики майбутнього вимірювання, в тому числі досяжний рівень його точності.

Таблиця 3.1 – Зміст етапів вимірювання

Етап	Зміст етапу
1. Постановка вимірювальної задачі	1.1. Збір даних за умовами вимірювання та досліджуваної фізичної величини. 1.2. Вибір конкретних величин, за допомогою яких буде знаходитись значення вимірюваної величини. 1.3. Формулювання рівняння вимірювання.
2. Планування вимірювання	2.1. Вибір методів вимірювання та можливих типів засобів вимірювання. 2.2. Априорна оцінка похибки вимірювання. 2.3. Визначення вимог до метрологічних характеристик засобів та умов вимірювання. 2.4. Підготовка засобів вимірювання. 2.5. Забезпечення необхідних умов вимірювання та створення можливості їх контролю.
3. Проведення вимірювального експерименту	3.1. Взаємодія засобів вимірювання та об'єктів вимірювання. 3.2. Реєстрація результату.
4. Обробка експериментальних даних	4.1. Аналіз інформації, отриманої на попередніх етапах вимірювання. 4.2. Обчислення та внесення можливих поправок на систематичні похибки. 4.3. Формулювання та аналіз математичного завдання обробки даних. 4.4. Проведення обчислень, в результаті яких отримують значення вимірюваної величини та похибки виміру. 4.5. Аналіз та інтерпретація отриманих результатів. 4.6. Запис результатів вимірювання та показників похибки відповідно до встановленої форми подання.

На основі попередньої інформації про об'єкт та умови вимірювання будується модель об'єкта вимірювання відповідно до цілей вимірювання.

В багатьох сферах діяльності – при наукових дослідженнях, при розробці, виробництві та експлуатації промислових об'єктів, технічних засобів, транспорту, систем управління, при екологічному моніторингу тощо – кінцевий результат дії значною мірою залежить від якості інформації, що отримується на першому етапі, тому до нього пред'являються досить високі вимоги.

Суб'єкт вимірювання вибирає *принцип, метод та засоби вимірювання (етап 2)*.

*Засобом вимірювань* називають об'єкт, що відтворює та (або) зберігає якусь частину шкали вимірювання (точку, ділянку) і призначений для виконання вимірювання. Більшість засобів вимірювання є

конструктивно закінченими технічними пристроями. Кожен засіб вимірювання має нормовані метрологічні властивості, що впливають на якість результату вимірювання.

Центральним етапом (*eman 3*) процедури вимірювання є *вимірювальний експеримент*. У вузькому значенні – це окреме, одноразове вимірювання, яке часто називають *спостереженням*. У загальному випадку вимірювальний експеримент містить ряд послідовних операцій взаємодії засобу вимірювання з об'єктом, отримання, перетворення та індикації сигналів вимірювальної інформації, реєстрації результатів спостережень.

Завершує процедуру вимірювання операція *обробки експериментальних даних (eman 4)*, що включає проведення обчислень згідно з прийнятим алгоритмом, отримання результату вимірювання, оцінку його точності та достовірності, запис результату та його невизначеності (або похибки) відповідно до встановленої форми подання.

### 3.3. Вимірювальні інформаційні технології

Важливу роль у різних галузях економіки відіграють *вимірювальні інформаційні технології (ВІТ)*, у яких використовуються останні досягнення різних сфер діяльності, зокрема інформаційних наук, в тому числі засоби обчислювальної техніки – від мікропроцесорів до найскладніших комп'ютерних мереж.

Вимірювальні інформаційні технології – це технології підготовки та виконання вимірювань, що включають опис здійснення інформаційної взаємодії засобів вимірювання з об'єктом, а також методів отримання, обробки, подання та передачі кількісної інформації про значення вимірюваних величин, що забезпечує необхідну достовірність та збереження даної інформації.

Специфічними ознаками, що виділяють ВІТ із загального різноманіття інформаційних технологій, є такі:

- чітко виражені пізнавальні цілі та функції;
- отримання первинної інформації внаслідок спеціально організованої фізичної взаємодії з об'єктом;

◆ особлива відповідальність за достовірність вимірювальної інформації, визначена чинним законодавством.

Продукцією ВІТ є результати вимірювання, призначені для використання в інших інформаційних технологіях як вихідна інформація.

На рис. 3.2 представлено функціонування (поведінка) будь-якої технічної, управлінської, соціальної чи біологічної системи як послідовність операцій, першою з яких є отримання первинної інформації від об'єкта в результаті інформаційної взаємодії з ним. Конкретна форма, у якій виконується ця перша операція у сфері діяльності, може бути різною.

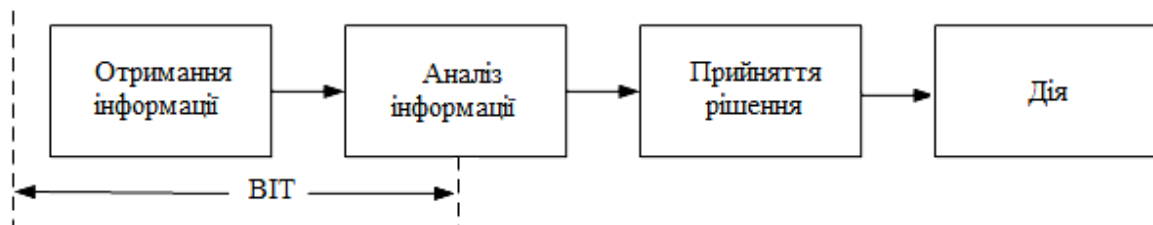


Рисунок 3.2 – Місце ВІТ у технічних системах управління, у випробуванні продукції, в екологічному моніторингу, у медичній діагностиці та інших видах діяльності

Світ інформаційної вимірювальної техніки бурхливо розвивається. На зміну традиційним механічним вимірювальним приладам приходять сучасні **вимірювально-інформаційні системи (ВІС)**, результат синтезу точної механіки, мікроелектроніки, комп'ютерної техніки та новітніх досягнень сучасної фізики: лазерної техніки, оптики та оптоелектроніки, різноманітних електромагнітних та квантових ефектів.

Вимірювально-інформаційна система – це сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів для отримання вимірювальної інформації, її перетворення, обробки з метою представлення споживачеві в необхідному вигляді або автоматичного здійснення логічних функцій контролю, діагностики, ідентифікації та інше. Поява ВІС зумовлена насамперед конкретними завданнями виробництва і наукових досліджень, які потребують отримання, обробки, відображення та зберігання великих обсягів вимірювальної інформації. Сучасні вимірювально-інформаційні системи дають змогу вирішувати завдання, недоступні для інших засобів

вимірювання, і забезпечують високий рівень автоматизації процесу вимірювань, високу достовірність та інформативність, зручну індикацію результатів.

*Відмінними ознаками інформаційно вимірювальних систем є такі.*

◆ Інформаційно вимірювальні системи мають блочно-модульний принцип побудови, що дозволяє формувати систему з конструктивно завершених модулів і приладів. Цей принцип забезпечує технічну та інформаційно-функціональну сумісність і взаємозамінність модулів, спрощує технічне обслуговування і підвищує точність і надійність системи.

◆ Різномірні технічні засоби, що входять до системи, пов'язані єдиним алгоритмом.

◆ ВІС дозволяють, як правило, отримувати комплексну інформацію.

◆ В одній системі, як правило, об'єднують технічні засоби для вимірювання та контролю різних характеристик – фізичних величин, різномірних технічних і кваліметричних параметрів.

◆ Структура інформаційно-вимірювальної системи, як правило, передбачає централізоване управління окремими елементами і багатоканальні вимірювання різних параметрів.

*Інформаційно-вимірювальна система має такі складові:*

◆ *технічні елементи:* чутливі елементи які видають сигнали, кількісно пов'язані з вимірюваною величиною (датчики-сенсори, вимірювальні наконечники), перетворювачі сигналу (сигнальні процесори), пристрої відображення вихідної інформації вимірювальної системи, накопичувачі інформації, пристрої для передачі інформації на керуючі елементи;

◆ *інформаційне забезпечення*, що визначає способи і конкретні форми інформаційного відображення результатів вимірювання – діаграми, графіки, сигнали для обслуговуючого персоналу, керуючі сигнали і т. д.;

◆ *програмне забезпечення*, що включає системне і прикладне забезпечення. Системне програмне забезпечення являє собою сукупність програмного забезпечення комп'ютера та додаткових програмних засобів, що дозволяють працювати в діалоговому режимі, управляти вимірювальними пристроями, проводити обмін інформацією в системі і т. д. Прикладне, тобто математичне, забезпечення має на увазі використовувані математичні моделі об'єкта вимірювання та відповідні обчислювальні програми.

Один з прикладів схеми ВІС наведено на рис. 3.3.

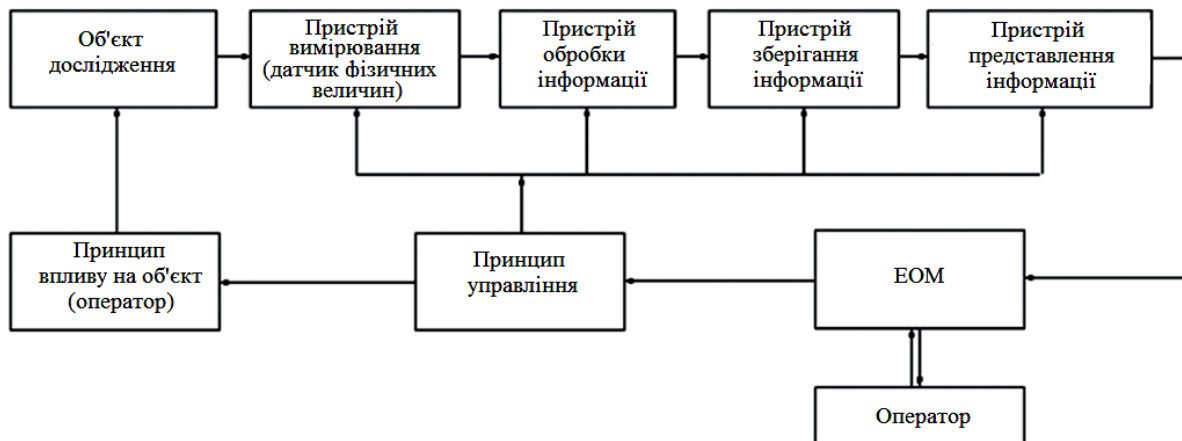


Рисунок 3.3 – Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи обробки даних експерименту

*Приклади достатньо поширених інформаційно-вимірювальних систем, що використовуються в машинобудуванні:*

– система для оцінки і дослідження шорсткості поверхні деталей, що включає профілограф-профілометр з цифровим відліковим пристроєм; модуль, що забезпечує реєстрацію аналізованих профілограм; додаткове приладдя для розміщення і закріплення контрольованих деталей різної конфігурації тощо;

– мультисенсорна вимірювальна машина, що представляє собою систему вимірювання лінійних і кутових величин в полярних і прямокутних координатах з автоматичною обробкою результатів вимірювання, відображенням і реєстрацією отриманих результатів і т. д.

### 3.4. Види та методи вимірювання

Існує велика різноманітність **видів вимірювання**, які класифікують за різними ознаками – за призначенням, за способом отримання інформації, за характером зміни вимірюваної величини в процесі вимірювання, за кількістю спостережень, за точністю і т. д. (рис. 3.4).

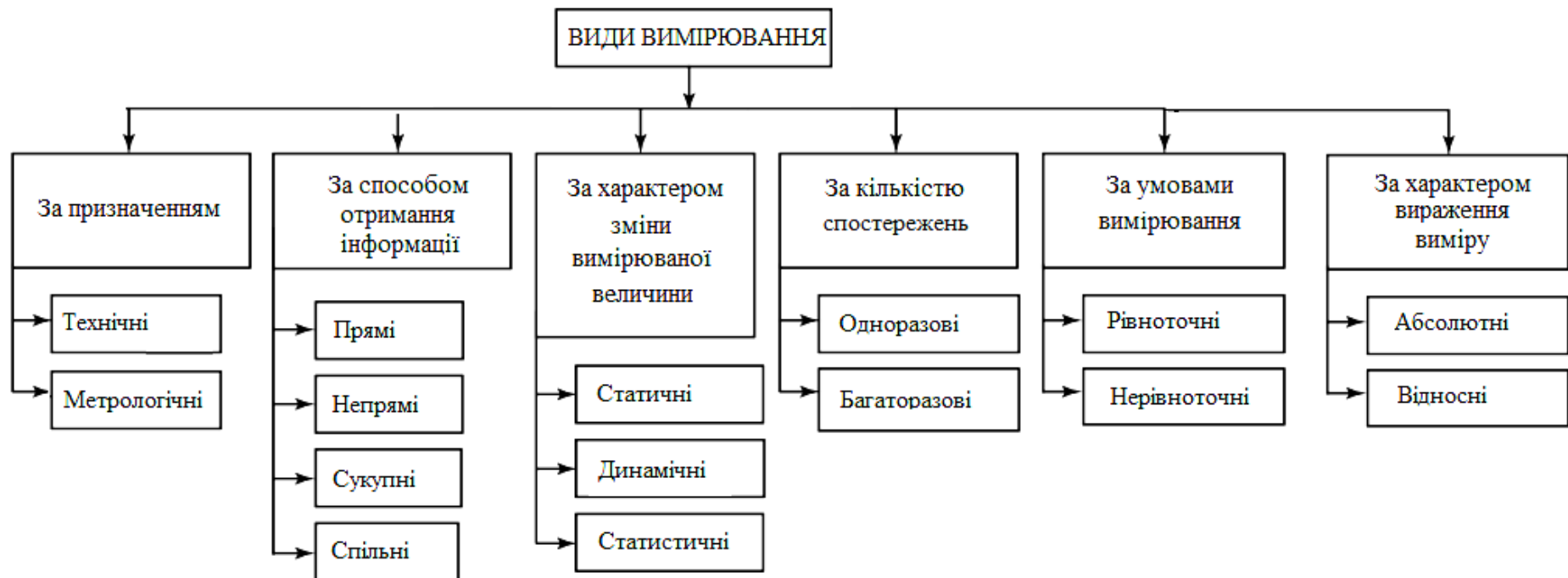


Рисунок 3.4 – Основні види вимірювання

**За призначенням** розрізняють технічні та метрологічні вимірювання.

*Технічні вимірювання* виконуються робочими засобами вимірювання. При цьому приймається заздалегідь задана похибка, достатня для вирішення даної практичної задачі.

*Метрологічні вимірювання* виконуються за допомогою еталонів з метою відтворення одиниць фізичних величин для передачі їх розміру робочим засобам вимірювання.

**За способом отримання інформації** вимірювання можуть бути прямими, непрямими, сукупними та спільними.

*Прямими вимірюваннями* називають вимірювання, результат яких одержують безпосередньо за експериментальними даними, тобто відбувається безпосереднє порівняння фізичної величини з її мірою, наприклад, вимірювання довжини деталі штангенциркулем або мікрометром, кута – кутоміром і т. д.

*Непрямі вимірювання* – це визначення шуканого значення фізичної величини на підставі відомої залежності між цією величиною і величинами, що піддаються прямим вимірюванням. Непрямі вимірювання поширені в тих випадках, коли шукану величину неможливо або дуже складно виміряти безпосередньо або коли пряме вимірювання дає менш точний результат. Прикладом непрямих вимірювань може служити знаходження межі міцності металу при розтягуванні, знаходження густини виробу виходячи з його маси і геометричної форми.

*Сукупні вимірювання* – це проведені одночасно вимірювання кількох однойменних величин, при яких шукані значення величин визначають шляхом розв'язання системи рівнянь, одержуваних при вимірюванні цих величин у різних поєднаннях. Прикладом сукупних вимірювань є визначення маси окремих гир набору (калібрування за відомою масою однієї з них і за результатами прямих порівнянь мас різних сполучень гир).

*Спільними* називають проведені одночасно вимірювання двох або більше фізичних неоднорідних величин для визначення залежності між ними. Наприклад, на підставі ряду одночасних вимірювань збільшення довжини зразка залежно від зміни його температури визначають коефіцієнт лінійного розширення зразка.

**За характером зміни вимірюваної величини розрізняють вимірювання** статистичні, статичні та динамічні.

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

*Статичні* вимірювання мають місце тоді, коли вимірювана величина є практично сталою.

*Динамічні* вимірювання пов'язані з вимірюванням величин, що змінюються в процесі вимірювання.

**За кількістю** розрізняють одноразові та багаторазові вимірювання (спостереження).

*Одноразові вимірювання* – це одне вимірювання однієї величини, тобто число вимірювань відповідає кількості вимірюваних величин. Практичне використання цього виду вимірювань завжди пов'язане з великими похибками, тому слід проводити не менше 3-х одноразових вимірювань величини та знаходити кінцевий результат як середньоарифметичне значення.

*Багаторазові вимірювання* – це вимірювання одного і того самого розміру фізичної величини, результат якого отримано з декількох наступних один за одним вимірювань. При кількості чотири і більше вимірювання можна вважати багаторазовим. Його перевагою є зниження впливу випадкових факторів на похибку.

**За умовами проведення** вимірювання поділяють на *рівноточні* (ряд вимірювань будь-якої величини, виконаних однаковими за точністю засобами вимірювання в одних і тих же умовах з однаковою старанністю) та *нерівноточні* (ряд вимірювань будь-якої величини, виконаних засобами вимірювання, що відрізняються за точністю, або в різних умовах).

**За характером вираження результату вимірювань** – *виміру* залежно від відношення до основних одиниць вимірювання можуть бути *абсолютними* (використовується прямий вибір однієї або кількох основних величин та фізичної константи) та *відносними*, що базуються на встановленні відношення вимірюваної величини до однорідної, що використовується як одиниця.

**Метод вимірювання** – це прийом або сукупність прийомів порівняння вимірюваної фізичної величини з її одиницею відповідно до реалізованого принципу вимірювання.

Методи вимірювання класифікують за декількома ознаками: за загальними прийомами отримання виміру, за зв'язком з об'єктом вимірювання, за типом використовуваних вимірювальних засобів і т. д.

**За способом отримання виміру** розрізняють два основні методи: метод безпосередньої оцінки та метод порівняння з мірою.

*Метод безпосередньої оцінки* – це метод, у якому шукане значення фізичної величини визначають безпосередньо за відліковим пристроєм засобу вимірювання, яке проградуєвано у відповідних одиницях.

*Метод порівняння з мірою* – це метод вимірювання, в якому вимірювану величину порівнюють з величиною, що відтворюється мірою (наприклад, порівняння маси на важелях).

Метод порівняння із мірою має декілька різновидів (рис. 3.5):

◆ *нульовий метод* (або метод повного врівноваження) є методом порівняння з мірою, у якому результуючий ефект впливу вимірюваної величини та зустрічного впливу міри на порівняльній пристрій зводяться до нуля (рис. 3.5, а);

◆ *диференціальний спосіб вимірювання* – це спосіб, при якому вимірювана величина порівнюється з однорідною величиною, яка має відоме значення, що незначно відрізняється від значення вимірюваної величини. При диференціальному методі повне врівноважування не здійснюють, а різниця між вимірюваною величиною та величиною, відтворюваною мірою, відраховується за шкалою приладу (рис. 3.5, б);

◆ *метод заміщення* – це метод порівняння з мірою, в якому вимірювану величину заміщують відомою величиною, що відтворюється мірою (рис. 3.4, в);

◆ *метод збігів* є методом, при якому різницю між вимірюваною величиною і величиною, що відтворюється, визначають використовуючи збіги відміток шкал або періодичних сигналів.

**За принципом зв'язку з об'єктом вимірювання** розрізняють контактний та безконтактний методи.

**Залежно від типу застосовуваних вимірювальних засобів** розрізняють розрахунковий, вимірювальний, реєстраційний, органолептичний та експертний методи вимірювань.

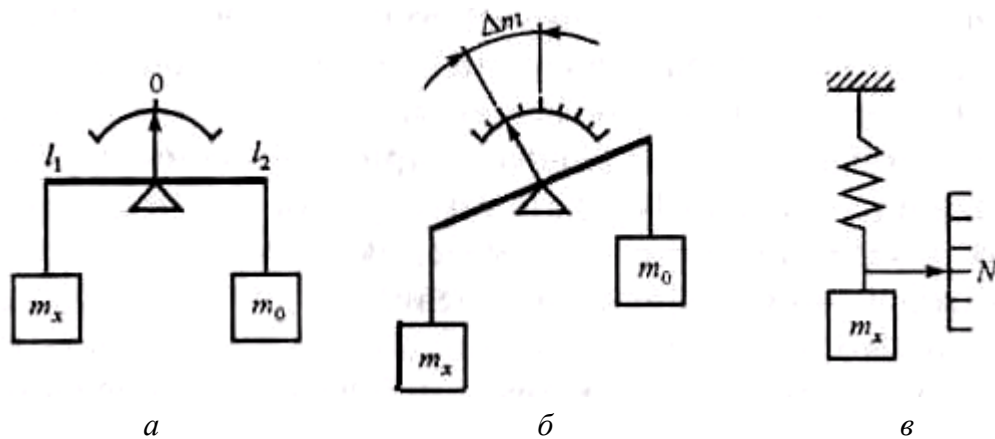


Рисунок 3.5 – Методи порівняння:  
 а – нульовий метод; б – диференціальний метод; в – метод заміщення

### 3.5. Засоби вимірювання та їх метрологічні характеристики

*Основою технічної бази метрологічного забезпечення є засоби вимірювання та контролю.*

Якість вимірювання багато в чому залежить від грамотного використання засобів вимірювання, знання їх властивостей та характеристик.

*Засіб вимірювання* – це технічний засіб (або комплекс засобів), який має нормовані метрологічні характеристики, що відтворюють та (або) зберігають одиницю фізичної величини, розмір якої приймається незмінним у межах встановленої похибки протягом певного інтервалу часу.

*Засіб вимірювання є узагальненим поняттям, що поєднує різні конструктивно закінчені пристрої, які реалізують одну з двох функцій:*

- 1) відтворюють величину заданого (відомого) розміру;
- 2) виробляють сигнал (показ), що несе інформацію про значення вимірюваної величини.

*Усі засоби вимірювання можна класифікувати за такими основними ознаками:*

- ◆ за метрологічним призначенням;
- ◆ за конструктивним виконанням;
- ◆ за рівнем автоматизації та стандартизації.

*За метрологічним призначенням* всі засоби вимірювання поділяються на два види: робочі засоби вимірювання та еталони (рис. 3.6).

**Робочий засіб вимірювання** – це засіб, призначений для вимірювання, яке не пов'язане з передачею розміру одиниці іншим засобам вимірювання. Робочі засоби вимірювання (міри та прилади) призначені для визначення параметрів (характеристик) технічних пристроїв, технологічних процесів, довкілля. Робочі міри виготовляють для широкого діапазону номінальних значень величин і використовуються для перевірки вимірювальних приладів, а також для практичного вимірювання.

За умовами застосування робочі засоби вимірювання можуть бути:

- *лабораторними*, що використовуються для наукових досліджень, проектування технічних пристроїв, медичного вимірювання;
- *виробничими*, які використовуються для контролю характеристик технологічних процесів, контролю якості готової продукції, контролю відпуску товарів;
- *польовими*, що використовуються під час експлуатації таких технічних пристроїв, як літаки, автомобілі, річкові та морські судна тощо.

**Еталон** – це засіб (або комплекс засобів) вимірювання, призначений для відтворення та (або) зберігання одиниці фізичної величини та передачі її розміру нижчим за перевіркою схемою засобам вимірювання. Еталонами можуть бути міри та прилади.

Еталони є високоточними засобами вимірювання, тому використовуються для проведення метрологічного вимірювання як засоби передачі інформації про розмір одиниці фізичної величини. Розмір одиниці передається «згори донизу», від точніших засобів вимірювання до менш точних: первинний еталон → вторинний еталон → робочий еталон 0-го порядку → робочий еталон 1-го порядку ... → робочий засіб вимірювання.

Конструкція еталона, його властивості та спосіб відтворення одиниці визначається природою даної величини та рівнем розвитку вимірювальної техніки в даній галузі. Еталон повинен мати принаймні три тісно пов'язані один з одним суттєві ознаки – незмінність, відтворність та злічуваність.

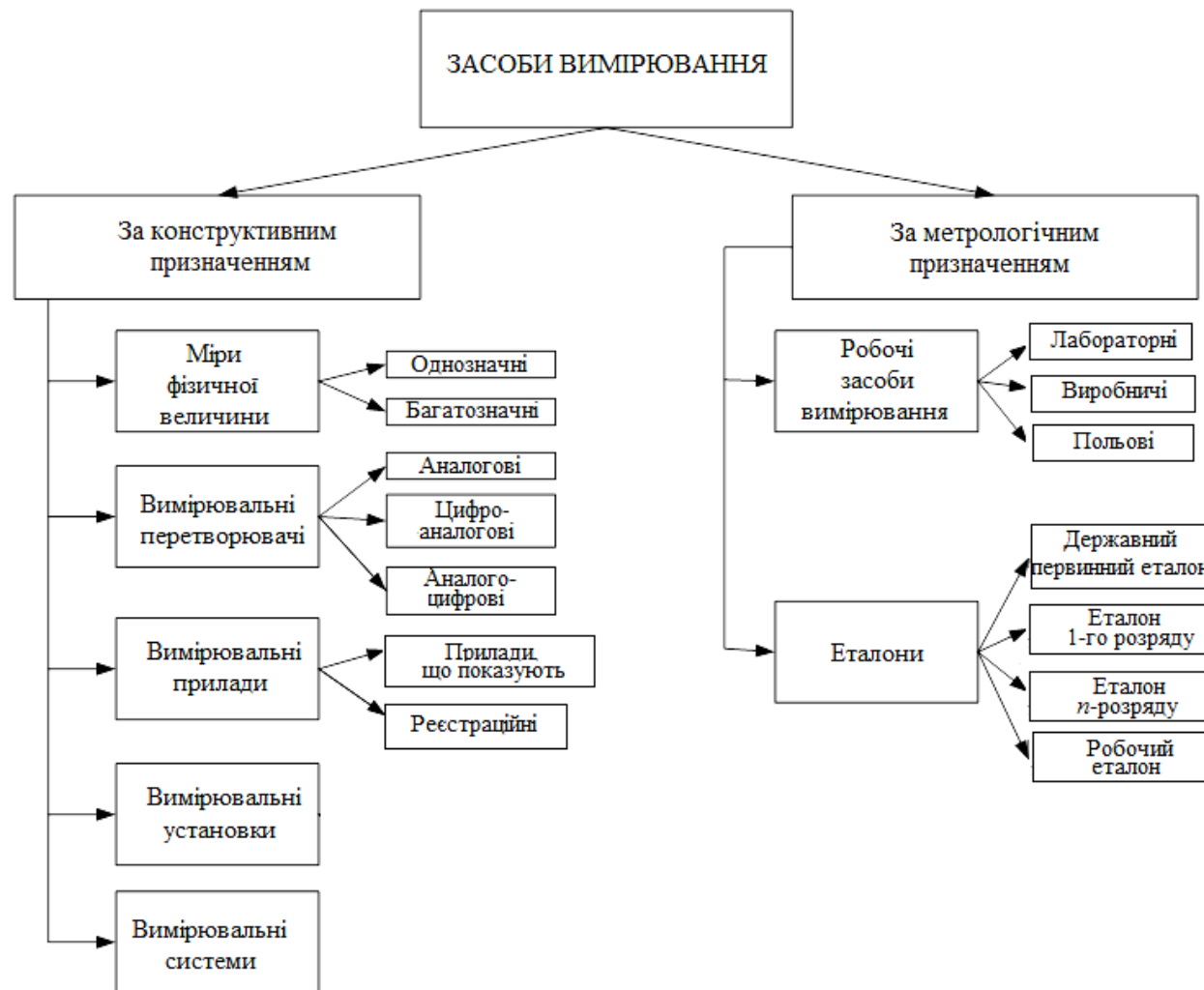


Рисунок 3.6 – Класифікація засобів вимірювання

*Первинним* називається еталон, за допомогою якого відтворюється одиниця фізичної величини з найвищою точністю у світі й державі.

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

*Міжнародний еталон* – це еталон, прийнятий за міжнародною угодою як міжнародна основа узгодження з ним розмірів одиниць, що відтворюються та зберігаються національними стандартами.

*Національний (державний первинний) еталон* є вихідним для держави. Первинні еталони становлять основу державної системи забезпечення єдності вимірювання. Державні еталони України періодично звіряються з державними еталонами інших країн.

*Вторинний еталон* – це еталон, який отримує розмір одиниці безпосередньо від первинного еталону цієї одиниці. Вторинні еталони є частиною підпорядкованих засобів зберігання одиниць та передачі їх розмірів. Вони створюються та затверджуються у тих випадках, коли це необхідно для організації повірочних робіт, а також для забезпечення збереження та мінімального зносу державного еталону. За своїм метрологічним призначенням вторинні еталони поділяються на еталони-копії, еталони порівняння та еталони-свідки.

*Еталон-копія* є вторинним еталоном, призначеним для зберігання одиниці та передачі її розміру робочим еталонам. Він не завжди може бути фізичною копією державного еталону.

*Еталон порівняння* – вторинний еталон, який призначений для звіряння еталонів, що з тих чи інших причин не можуть безпосередньо звірятися один з одним.

*Еталон-свідок* призначений для перевірки збереження та незмінності державного еталона та заміни його у разі псування або втрати. Еталон-свідок має найвищу серед вторинних еталонів точність та використовується лише тоді, коли державний еталон не можна відтворити.

*Робочий еталон* – вторинний еталон, призначений для збереження одиниці й передачі її розміру від еталона-копії зразковим засобам

вимірювальної техніки, а в окремих випадках – робочим засобам вимірювальної техніки найвищої точності.

В Україні до Реєстру засобів вимірювання внесено 58 державних та 66 вторинних еталонів одиниць вимірювання.

Державні еталони України відтворюють одиниці вимірювання за 12 видами вимірювань:

- вимірювання геометричних величин – 4 еталони;
- вимірювання механічних величин – 5 еталонів;
- вимірювання параметрів потоку, обсягу речовин – 4 еталони;
- вимірювання тиску, вакуумні вимірювання – 3 еталони;
- вимірювання фізико-хімічного складу та властивостей речовин – 4 еталони;
- температурні та теплофізичні вимірювання – 6 еталонів;
- вимірювання часу і частоти – 1 еталон;
- вимірювання електричних і магнітних величин – 8 еталонів;
- радіоелектронні вимірювання – 5 еталонів;
- вимірювання акустичних величин – 1 еталон;
- оптико-фізичні вимірювання – 9 еталонів;
- вимірювання іонізуючих випромінювань та ядерних констант – 8 еталонів.

Створені державні еталони є унікальними вимірювальними комплексами, в яких використано новітні досягнення світової науки та техніки, для функціонування яких обладнано спеціальні приміщення із забезпеченням необхідних умов для підтримки температури, вологості, вібрації та інших параметрів інженерної інфраструктури, що забезпечують задані умови експлуатації. Державні еталони віднесені до наукових об'єктів, що становлять національне надбання.

Державні еталони України експлуатуються у національному науковому метрологічному центрі ННЦ «Інститут метрології» (м. Харків), рис. 3.7), державних наукових метрологічних центрах Укрметртестстандарту, ДП «НДІ «Система», а також ДП «Івано-Франківськ-стандартметрологія».

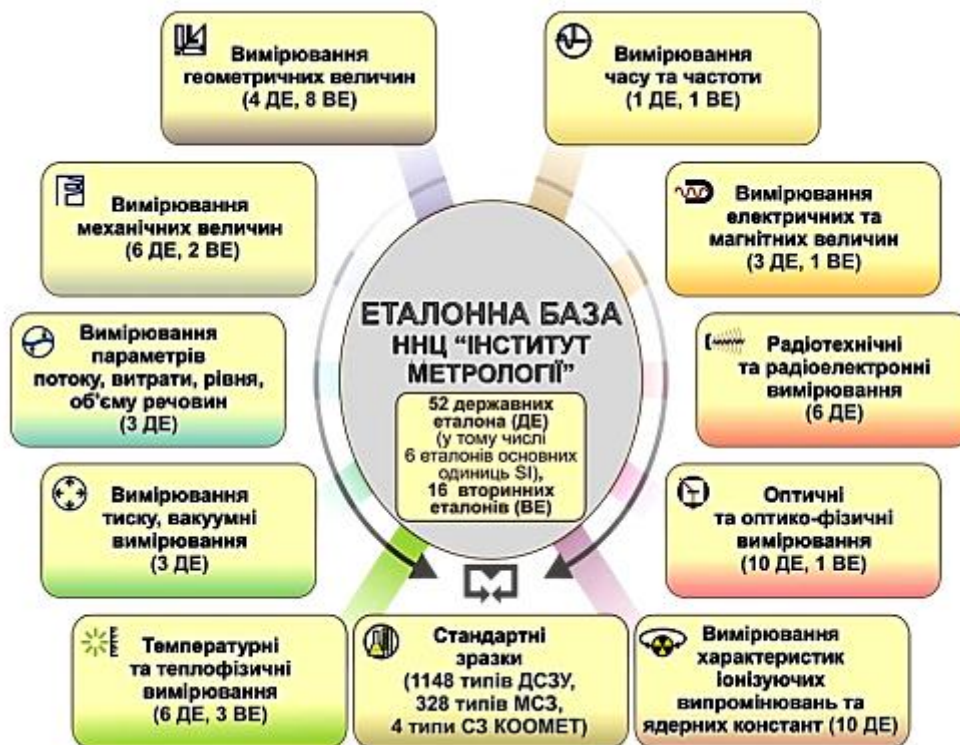


Рисунок 3.7 – Еталонна база ННЦ «Інститут метрології»

За конструктивним виконанням, а також формою подання вимірювальної інформації засоби вимірювання діляться таким чином (див. рис. 3.6):

- міра фізичної величини;
- вимірювальний перетворювач;
- вимірювальний прилад;
- вимірювальна установка;
- вимірювальна система.

*Міра фізичної величини* – засіб вимірювання, призначений для відтворення та (або) зберігання фізичної величини одного або кількох заданих розмірів, значення яких виражено у встановлених одиницях та відомо з необхідною точністю.

*Вимірювальний перетворювач* – технічний засіб з нормативними метрологічними характеристиками, що служить для перетворення вимірюваної величини в іншу величину або вимірювальний сигнал, зручний для обробки, зберігання, подальших перетворень, індикації або передачі.

*Вимірювальний прилад* – засіб вимірювання, призначений для розробки сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній безпосередньому сприйняттю спостерігачем.

*Вимірювальна установка* – сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань (мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів тощо) та допоміжних пристроїв (комп'ютер), призначених для вимірювання однієї або кількох фізичних величин, вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для безпосереднього сприйняття спостерігачем, та розташованих в одному місці.

*Вимірювальна система* – сукупність засобів вимірювання (функціонально об'єднаних мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів), обчислювальних пристроїв та інших технічних засобів, розміщених у різних точках контрольованого об'єкта, з'єднаних між собою каналами зв'язку.

Усі засоби вимірювання незалежно від виконання мають ряд властивостей, необхідних для виконання ними функціонального призначення, так званих метрологічних властивостей.

*Метрологічні властивості засобу вимірювання* – це властивості, що впливають на результат вимірювання та його похибку. Показники метрологічних властивостей є їх кількісною характеристикою та називаються *метрологічними характеристиками*.

Відмінністю засобу вимірювання від інших технічних пристроїв є те, що він призначений для отримання вимірювальної інформації та має *нормовані метрологічні характеристики*. Відомості про метрологічні характеристики містяться, як правило, у нормативно-технічних документах на засіб вимірювання (державному стандарті, технічних умовах, паспорті на засіб вимірювання). Метрологічні характеристики, встановлені нормативно-технічними документами, називають *нормованими*, а визначені експериментально – *дійсними*. Нормовані метрологічні характеристики можуть бути представлені у вигляді числа, формули, таблиці, графіка; можлива комбінована форма представлення.

Знання метрологічних характеристик засобів вимірювання дозволяє:

- визначати результати вимірювання та розраховувати оцінки характеристик інструментальної складової похибки вимірювання у реальних умовах застосування засобів вимірювання;

- розраховувати метрологічні характеристики каналів вимірювальних систем, що складаються з низки засобів вимірювання з відомими метрологічними характеристиками;
- проводити оптимальний вибір засобів вимірювання, що забезпечують необхідну якість вимірювання за відомих умов їх застосування;
- порівнювати засоби вимірювання різних типів з урахуванням умов застосування.

*Усі метрологічні властивості засобу вимірювання можна розділити на дві групи:*

- 1) властивості, що визначають сферу застосування засобу вимірювання;
- 2) властивості, що визначають якість результатів вимірювання.

Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки визначено ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірювань». **Стандарт передбачає наступну номенклатуру метрологічних характеристик** (рис. 3.8):

- характеристики, призначені для визначення результату вимірювання – виміру (функція перетворення, значення мір, ціна поділки, кодові характеристики тощо);
- характеристики похибок засобів вимірювання;
- характеристики чутливості засобів вимірювання до впливових факторів, оскільки робочі умови вимірювань можуть відрізнятися від нормальних, що, у свою чергу, викликає появу додаткової похибки засобів вимірювання;
- динамічні характеристики – характеристики, які відображають залежність вихідного сигналу від вхідного сигналу, що змінюється в часі;
- характеристики властивостей засобів вимірювання, що впливають на похибку внаслідок взаємодії засобів вимірювання;
- неінформативні параметри вихідного сигналу, які не використовують для передачі інформації про вимірювану величину.



Рисунок 3.8 – Номенклатура метрологічних характеристик засобів вимірювання

Незмінність у часі метрологічних характеристик вимірювального засобу визначає його стабільність.

*Стабільність засобів вимірювання* визначається як найбільша різниця між повторними показаннями вимірювального пристрою (максимальний розкид показань) при багаторазовому вимірюванні однієї і тієї ж величини при незмінних зовнішніх умовах. Цей показник є конструктивною характеристикою і відображає якість виготовлення пристрою.

*Точність засобу вимірювання* – характеристика якості засобу вимірювання, що характеризує близькість його похибки до нуля.

Узагальненою характеристикою точності засобу вимірювання, яка визначається межами основної та додаткової похибок, а також іншими властивостями, є *клас точності*. Це характеристика, яка залежить від способу вираження меж похибок засобів вимірювання. Вимоги до призначення, застосування та позначення класів точності регламентовані у ГОСТ 8.401-80 «ДСВ. Класи точності засобів вимірювання. Основні положення».

Вперше «клас точності» було запроваджено у 30-ті роки ХХ ст. стосовно стрілочних приладів. Клас точності визначав основну похибку засобів вимірювання (похибка засобів вимірювання в нормальних умовах).

В даний час, коли схеми та конструкції засобів вимірювання ускладнилися, а сфери застосування значно розширилися, на похибку вимірювання стали істотно впливати і інші фактори. Зокрема, зміна зовнішніх умов (температури навколишнього середовища, механічні навантаження тощо), а також характер зміни вимірюваних величин у часі. Основна похибка вимірювальних приладів перестала бути дійсно основною складовою похибки вимірювання, а клас точності не дозволяє повною мірою вирішувати практичні завдання, перелічені вище.

Область практичного застосування характеристики «клас точності» обмежена лише такими засобами вимірювання, які призначені для вимірювання статичних величин. У міжнародній практиці клас точності встановлюється для невеликої частини приладів.

### **3.6. Повірка засобів вимірювання**

*Повірка засобів вимірювання* – це сукупність операцій, які виконуються з метою визначення та підтвердження відповідності засобів вимірювання встановленим технічним вимогам.

*Організацію та повірку засобів вимірювання в Україні проводять відповідно до ДСТУ 2708:2006 («Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення»).*

*Метою повірки є з'ясування, чи відповідають точнісні характеристики приладів значенню, вказаному в технічній документації, та чи придатний засіб вимірювання до застосування.*

Перевірка здійснюється органами Державної метрологічної служби, державними науковими метрологічними центрами, а також акредитованими метрологічними службами юридичних осіб.

Акредитована метрологічна служба має право:

- проводити повірку засобів вимірювання в межах, визначених атестатом акредитації, видавати Свідоцтво про повірку, ставити тавро на повірені засоби або гасити повірювальне тавро;
- розробляти пропозиції щодо коригування міжповірочних інтервалів;

- брати участь у розробці та коригуванні нормативної документації, що регламентує питання акредитації метрологічної служби.

Перелік засобів вимірювання, що підлягають повірці, складаються метрологічними службами юридичних осіб та направляються до органів Державної метрологічної служби. Засоби вимірювання, що застосовуються поза сферою поширення державного метрологічного контролю та нагляду, калібруються метрологічною службою підприємства за зразками, підпорядкованими державним зразкам одиниць величин.

*Вид повірки* визначають залежно від виду метрологічної служби, якою проведено повірку, від характеру повірки та етапу роботи засобу вимірювання.

***Повірка засобів вимірювання може бути державною чи відомчою.***

*Державна повірка* проводиться територіальними метрологічними органами, відомча – організаціями відомчих метрологічних служб, які отримали реєстраційне посвідчення про право виконання повірочних робіт.

*Обов'язковій державній повірці підлягають:*

- засоби вимірювання, що застосовуються в органах державної метрологічної служби;
- вихідні зразкові засоби вимірювання підприємств, організацій та установ;
- засоби вимірювання, що випускаються з виробництва як зразкові;
- робочі засоби вимірювання, які застосовуються при обліку матеріальних цінностей, взаємних розрахунках у торгівлі, для охорони здоров'я, забезпечення безпеки праці, реєстрації національних та міжнародних спортивних рекордів.

*Всі інші засоби вимірювань підлягають обов'язковій відомчій повірці.*

***Залежно від цілей та призначення результатів розрізняють такі види повірки:*** первинна, періодична, позачергова, інспекційна та експертна повірка.

***Первинна повірка*** проводиться вперше після випуску засобів вимірювання або після ремонту, а також при імпорті партіями.

***Періодична повірка*** проводиться протягом експлуатації та зберігання засобів вимірювання через встановлений проміжок часу (міжповірочний інтервал), встановлений з урахуванням конкретних умов експлуатації засобів вимірювання та режимів їх роботи. Періодична

повідка засобів, що знаходяться в експлуатації і на зберіганні, повинна проводитися в терміни, що встановлюються річними календарними графіками повірки, які складаються підприємствами, організаціями та установами.

**Позачергова повірка** проводиться, якщо необхідно переконатися у справності засобів вимірювання при проведенні робіт з коригування міжповірочних інтервалів, при пошкодженні повірювального тавра, пломби або втрати документів, що підтверджують проходження засобом вимірювання періодичної повірки, а також після тривалого зберігання засобів вимірювання. Терміни проведення позачергової повірки призначаються незалежно від запланованих термінів періодичних повірок.

Під час проведення державного нагляду та відомчого контролю засоби вимірювання вибірково піддають **інспекційній повірці**, за результатами якої встановлюють якість повірочних робіт, а також правильність призначення міжповірочних інтервалів.

**Експертна повірка** здійснюється під час проведення метрологічної експертизи засобів вимірювання органами державної метрологічної служби. Даний вид повірки проводять з метою обґрунтування висновку про придатність засобів вимірювання до застосування на вимогу судово-слідчих органів, поліції, державного арбітражу.

Не підлягають повірці засоби вимірювання, що застосовуються для спостереження за зміною величин без оцінки їх значень в одиницях фізичних величин з нормованою точністю, а також використовувані для навчальних цілей.

Засоби вимірювання повіряють у центральних лабораторіях підприємств та спеціальних метрологічних лабораторіях. Результати записують у спеціальні паспорти (або атестати) інструментів та приладів. Іноді на вимірювальний засіб накладають тавро, що містить умовний шифр підприємства, останні дві цифри року застосування тавра, індивідуальний знак (номер) особи, що проводить повірку, і умовний знак міністерства.

В основу **класифікації методів повірки** покладено такі ознаки.

- **Повірка безпосереднім звірянням засобу вимірювання із зразковим приладом того ж виду.** В основу даного методу покладено одночасне вимірювання фізичної величини зразковим засобом і засобом, що повіряється. Точність зразкового засобу повинна бути у 3...5 разів вищою

за точність повірюваного засобу. Цей метод має досить широке використання.

- *Повірка звірянням засобу вимірювання із зразковим засобом вимірювання того ж виду за допомогою компаратора* (проміжної ланки, що вводиться в схему повірки). Компаратор дозволяє опосередковано порівнювати дві однорідні або різнорідні фізичні величини. Компаратором може бути будь-який засіб вимірювання, що однаково реагує на сигнал зразкового і повірюваного засобу.

- *Повірка прямим вимірюванням величини, що відтворюється зразковою мірою.* Цей метод пред'являє до мір, що використовуються як зразкові засоби вимірювання, ряд специфічних вимог. Найбільш характерними з них є такі: можливість відтворення мірою тієї фізичної величини, в одиницях якої градуйовано повірюваний засіб вимірювання; достатній для перекриття всього діапазону вимірювання діапазон фізичних величин, що відтворюються мірою; відповідність точності міри, а в ряді випадків її типу та плавності зміни розміру встановленим вимогам.

- *Повірка непрямим вимірюванням величини, що відтворюється мірою або вимірюється приладом, що повіряється.* При реалізації цього методу про дійсний розмір міри та вимірюваної приладом величини судять на підставі прямих вимірювань кількох величин, пов'язаних із шуканою величиною певною залежністю.

- *Незалежна або автономна повірка, тобто повірка без застосування зразкових засобів вимірювання* застосовується при розробці особливо точних засобів вимірювання, які не можуть бути повірені жодним із розглянутих методів через відсутність ще більш точних засобів з відповідними межами вимірювання. Сутність методу незалежної (автономної) повірки полягає у порівнянні величин, що відтворюються окремими елементами схеми повіреного засобу вимірювань, з величиною, обраною як опорну і конструктивно відтворювану в самому засобі вимірювань, що повіряється.

Реалізація методів повірки здійснюється комплектною чи елементною повіркою.

*При комплектній повірці* засіб вимірювання повіряють у повному комплекті його складових частин без порушення взаємозв'язку між ними.

Похибки, які визначають, розглядають як похибки, властиві повірюваному засобу вимірювання як єдиному цілому.

**Поелементна повірка** – це повірка засобу вимірювання, коли його похибки визначають за похибками окремих частин. За отриманими даними розрахунком визначають похибки, властиві повірюваному засобу вимірювання як єдиному цілому. Область застосування поелементної повірки часом виявляється єдино можливою. Істотним недоліком поелементної повірки є її трудомісткість та складність реалізації порівняно з комплексною повіркою.

**Повірювальна схема** – це рекомендаційний нормативний документ, що встановлює співвідпорядкування засобів вимірювання у передачі ділянки шкали (розміру одиниці) від еталона до робочих засобів вимірювання із зазначенням методів повірки та граничних похибок.

Розрізняють державні та локальні повірювальні схеми.

**Державна повірювальна схема** розробляється державним науковим метрологічним центром – власником відповідного державного еталона. Оформляється як стандарт і поширюється на всі зазначені у ній засоби вимірювання, застосовувані у країні.

**Локальна повірювальна схема** має обмежену сферу застосування (підприємства одного з міністерств, окреме підприємство). Ця схема має відповідати вимогам підпорядкування засобів вимірювання, визначених державною повірювальною схемою.

На кресленні перевірювальної схеми вказують таку інформацію: найменування засобів вимірювання та методів повірки, номінальні значення або діапазони значень величин, припустимі похибки засобів вимірювання, припустимі значення похибок методів повірки.

### **3.7. Похибки виміру та їх класифікація**

Будь-які вимірювання спрямовані на отримання результату, тобто оцінки істинного значення фізичної величини в прийнятих одиницях.

Внаслідок недосконалості засобів та методів вимірювань, впливу зовнішніх факторів та багатьох інших причин (рис. 3.9) результат кожного вимірювання (вимір) неминуче має похибку, тобто відхилення

від істинного значення. Якість вимірювання є тим вищою, чим ближчий результат вимірювання до істинного значення.

Кількісною характеристикою якості вимірювань є **похибка виміру**  $\Delta x$ , яка визначається як різниця між вимірним  $x_{\text{вим}}$  і істинним  $x_{\text{іст}}$  значеннями вимірюваної величини

$$\Delta x = x_{\text{вим}} - x_{\text{іст}}. \quad (3.3)$$

Істинне значення фізичної величини – це значення, яке ідеально відображає певну властивість об'єкта. Через обмежені можливості засобів вимірювання визначити істинне значення неможливо. Оскільки істинне значення вимірюваної величини невідоме, то похибку за формулою (3.3) визначають лише в теоретичних дослідженнях, а на практиці  $x_{\text{іст}}$  замінюється його оцінкою – дійсним значенням величини  $x_{\text{д}}$ , і похибка розраховується за формулою

$$\Delta x = x_{\text{вим}} - x_{\text{д}}. \quad (3.4)$$

Оскільки дійсне значення вимірюваної величини замінює істинне значення лише з тим чи іншим ступенем наближення, то *похибка виміру, знайдена щодо дійсного значення*, відрізнятиметься від похибки виміру, яка могла б бути знайдена щодо істинного значення і є *наближеною оцінкою «істинної» похибки виміру*.

Похибка, виражена відповідно до формул (3.3) і (3.4), має розмірність вимірюваної величини і називається **абсолютною похибкою**.

У багатьох випадках числове значення абсолютної похибки не дає правильного уявлення про точність вимірювання, ступінь достовірності отриманого результату. Тому використовується більш універсальна характеристика точності у вигляді **відносної похибки** – похибки, що виражається у частках вимірюваної величини.

Відносні похибки виражають прийнятими у системі *SI* відносними величинами: безрозмірним числом, у відсотках тощо.

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_{\text{д}}} 100\% \quad (3.5)$$

**Зведена похибка** – це відношення абсолютної похибки до умовно прийнятого (нормуючого) значення  $x_{\text{н}}$  вимірюваної величини; як правило, виражається у відсотках:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_{\text{н}}} 100\% \quad (3.6)$$

Для аналогових засобів вимірювання як нормуюче значення найчастіше використовують найбільше значення за шкалою приладу.

Поняття похибки характеризує *недосконалість вимірювання*. Позитивною характеристикою якості вимірювання є *точність виміру*. Точність і похибка пов'язані зворотною залежністю – вимір тим точніше, що менше його похибка. *Кількісно точність виміру виражається числом, що дорівнює зворотному значенню відносної похибки*.

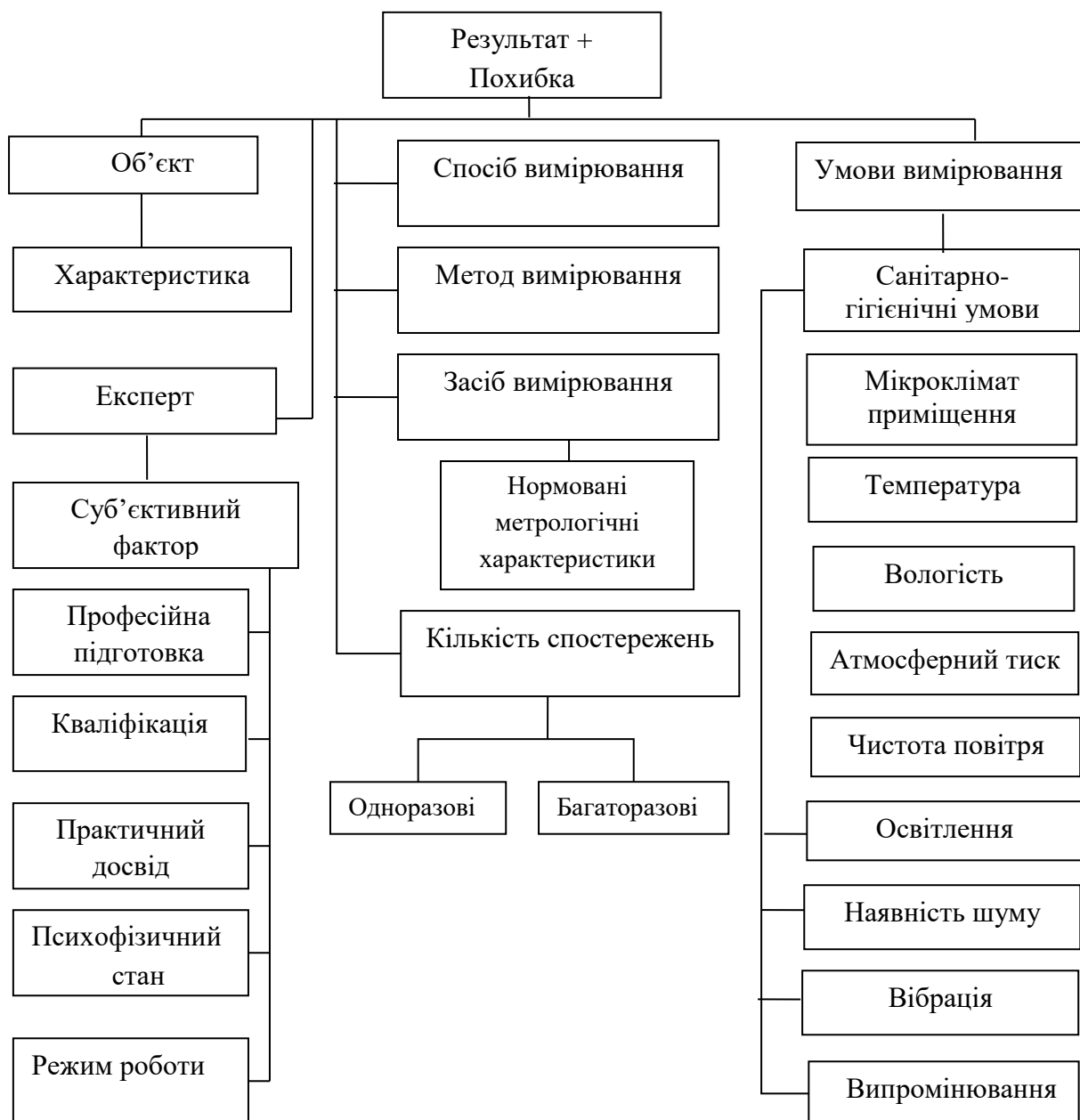


Рисунок 3.8 – Фактори, що впливають на результат вимірювання

Для різних видів вимірювання похибка результату вимірювання може оцінюватися з різною точністю, з різної вихідної інформації. Відповідно до цього розрізняють вимірювання з «точною» (у сенсі з найвищою досяжною точністю), «наближеною» та «попередньою» оцінкою похибок.

При вимірюваннях з *«точною» оцінкою похибки* враховуються індивідуальні метрологічні властивості та характеристики кожного із засобів вимірювання, аналізується метод вимірювання, контролюються умови вимірювання з урахуванням їх впливу на результат.

При вимірюваннях з *«наближеною» оцінкою похибок* враховуються лише нормативні, типові метрологічні характеристики засобів вимірювання та оцінюється лише відхилення умов вимірювання від нормальних.

Вимірювання з *«попередньою» оцінкою похибок* виконуються за типовими методиками виконання вимірювання або за регламентованою нормативно-технічною документацією, де зазначаються методи та умови вимірювання, типи та похибки використуваних засобів вимірювання. На основі цих даних може бути заздалегідь оцінена похибка результату.

В інженерній практиці зазвичай мають справу з двома останніми видами вимірювання та прийомами оцінки похибок виміру, що відносяться до категорії *технічних вимірювань*.

Похибка результату кожного конкретного вимірювання складається з багатьох складових, які зобов'язані своїм походженням різним факторам і джерелам. Традиційний аналітичний підхід до оцінки похибок виміру полягає у виділенні цих складових, вивченні їх окремо та подальшому підсумовуванні.

*Знаючи властивості та оцінивши кількісні характеристики складових похибок, можна правильно врахувати їх при оцінці похибки результату або ввести поправки у вимір.*

*Виділивши та оцінивши окремі складові похибки, іноді виявляється можливим так організувати вимірювання, щоб ці складові не вплинули на результат.*

З метою одноманітності підходу до аналізу та оцінювання похибок виміру у метрології прийнято таку класифікацію (рис. 3.10).

*За характером прояву у часі* виділяють систематичні та випадкові складові похибки.

*Систематичною похибкою виміру* називається похибка, яка при повторному вимірюванні однієї й тієї ж величини в одних і тих самих

умовах залишається постійною або закономірно змінюється. Нормується граничною похибкою та середнім квадратичним відхиленням.

*Основні причини появи систематичних похибок* – похибки інструментів чи методу вимірювання, індивідуальні особливості експериментатора.

*Причини систематичних помилок можна виявити та усунути.*

Оцінка систематичних складових похибки є досить важливою і важкою метрологічною задачею. З одного боку, знання систематичної похибки дозволяє внести відповідну поправку до виміру і тим самим підвищити його точність. З іншого боку, виявлення систематичної похибки є дуже складною процедурою у зв'язку з неможливістю виявлення її шляхом повторного вимірювання.

Систематичні похибки за характером прояву ділять на постійні і змінні (зокрема, періодичні).

*Постійними систематичними похибками* називають такі, які залишаються незмінними протягом усієї серії вимірювання, наприклад, похибка через неточну установку показчика приладу на нуль.

*Змінні систематичні похибки* змінюються у процесі вимірювання. Якщо похибка монотонно зменшується або зростає, вона називається прогресуючою.

Періодична систематична похибка – похибка, значення якої є періодичною функцією часу.

**Випадкова похибка** – складова похибки виміру, яка змінюється випадково, тобто є непостійною за абсолютною величиною і знаком при повторному вимірюванні однієї й тієї ж величини. Нормується її гранично допустимим значенням.

*Причинами випадкових похибок* можуть бути різні фактори, наприклад, у механічних приладах – зазори у ланках кінематичного ланцюга механізму приладу. Випадкова складова похибки можлива через тертя в опорах рухомої частини приладу, коливаннях температури навколишнього повітря, впливі магнітних і електричних промислових перешкод, помилки експериментатора і т. д.

Зазвичай випадкові похибки є наслідком одночасної дії багатьох незалежних причин, кожна з яких мало впливає на вимір.

*Випадкові похибки не можна виключити з результатів вимірювання (на відміну від систематичних), проте можна зменшити.*

Значення цих похибок неможливо встановити наперед, але за допомогою методів теорії ймовірності та математичної статистики *можна оцінити ймовірність їхньої появи.*

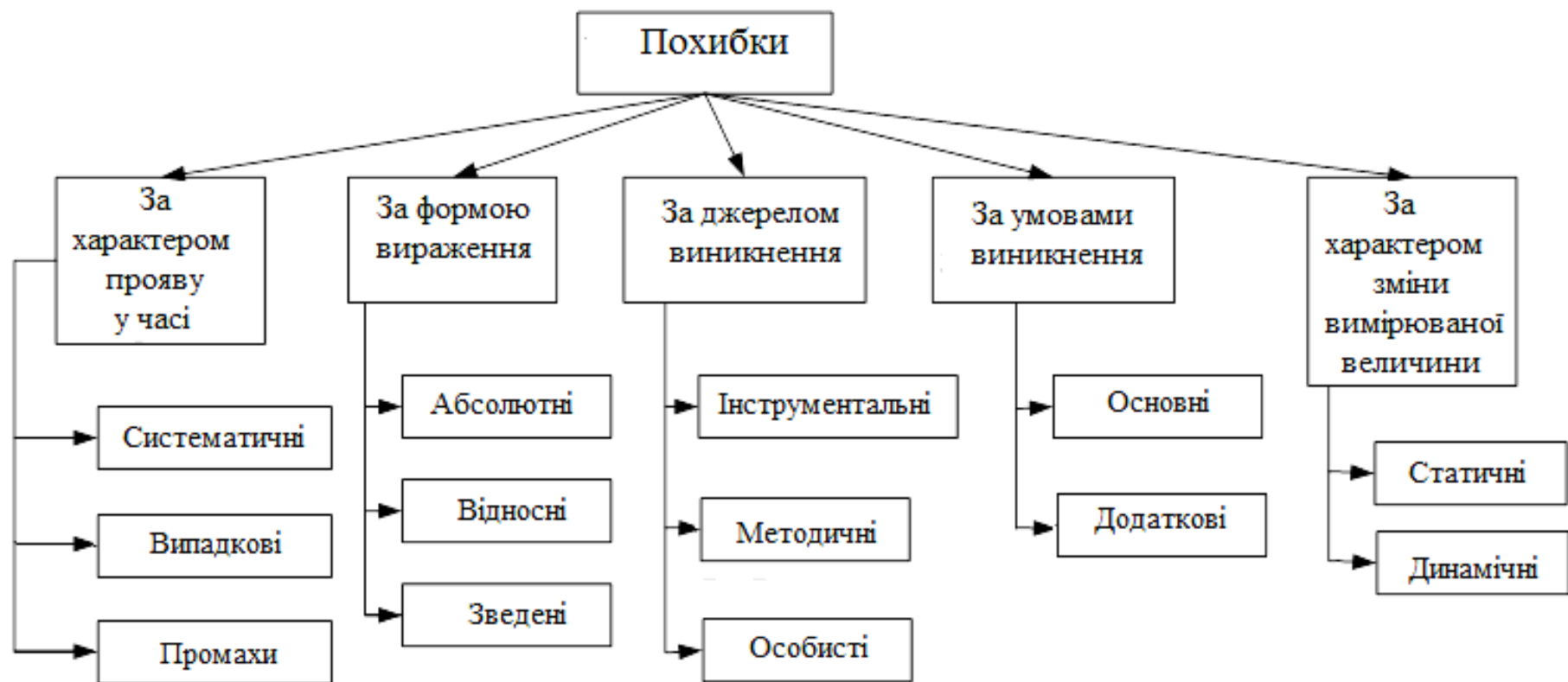


Рисунок 3.10 – Класифікація похибок виміру

**Грубими похибками (промахами)** називають похибки, які значно перевищують систематичні чи випадкові похибки. Джерелом грубих похибок можуть бути різкі зміни умов вимірювання, порушення методики проведення експерименту, помилки оператора (неправильний відлік за шкалою приладу, помилковий запис спостережень і т. д.). Грубі похибки зазвичай виявляють шляхом повторних вимірювань або статистичної обробки вибірки. Промахи приводять до спотворення виміру та їх необхідно виключати із сукупності результатів вимірювання.

**За формою вираження** розрізняють такі похибки (див. рис. 3.10):

- **абсолютна похибка** – похибка, виражена в одиницях вимірювання;
- **відносна похибка** – похибка, виражена відношенням абсолютної похибки виміру до дійсного або виміряного значення величини;
- **зведена похибка засобу вимірювання** – відносна похибка, виражена відношенням абсолютної похибки до умовно прийнятого значення величини.

**За джерелом виникнення** розрізняють інструментальні, методичні та суб'єктивні (особисті) похибки (див. рис. 3.10).

**Інструментальна похибка** – складова похибки, обумовлена похибкою застосовуваних засобів вимірювання. Введення поправок є найбільш широко використовуваним способом виключення систематичних інструментальних похибок. Поправка визначається за допомогою повірки технічних засобів, складання та використання відповідних таблиць і графіків. Застосовуються також розрахункові методи знаходження поправочних значень.

**Похибка методу вимірювання (методична похибка)** – складова систематичної похибки, обумовлена недосконалістю реалізованого методу вимірювання. Суттєві похибки виникають, наприклад, в результаті спрощень, прийнятих у рівняннях для вимірювання. Іноді похибка методу вимірювання може виявлятися як випадкова.

**Суб'єктивна (особиста) похибка вимірювання** – складова систематичної похибки, обумовлена індивідуальними особливостями оператора, відсутністю навичок роботи з приладами.

**За умовами виникнення** розрізняють основну і додаткові похибки.

**Похибка засобу вимірювання, що визначається за нормальних умов,** називається **основною**.

Похибка, обумовлена виходом значень впливових величин за межі нормальних значень, називається *додатковою*.

***Відповідно до режиму роботи*** засобу вимірювання виділяють статичні та динамічні складові похибки.

*Статична похибка* – похибка результату, властива умовам статичного вимірювання.

*Динамічна складова похибки* виникає під час роботи засобу вимірювання в динамічному режимі і визначається двома факторами: динамічними (інерційними) властивостями засобу вимірювання та характером (швидкістю) зміни вимірюваної величини.

Можна виділити також складові похибки, що не залежать від значення вимірюваної величини, та похибки, що змінюються пропорційно до вимірюваної величини. Такі складові називають відповідно *адитивними та мультиплікативними похибками*.

***В основі сучасних підходів до оцінки похибок лежать принципи, що забезпечують виконання вимог єдності вимірювання.***

Єдність вимірювання (див. п. 2.3) – стан вимірювання, який характеризується тим, що результати виражаються в узаконених одиницях, а похибки результатів відомі та не виходять за встановлені межі вимірювання із заданою ймовірністю.

Для дослідження та оцінки похибки описуються за допомогою певної моделі (систематична, випадкова, методична, інструментальна похибка). На вибраній моделі визначають характеристики, придатні для кількісного вираження тих чи інших властивостей. Вибір моделі похибки обумовлений як апіорними, так і отриманими під час вимірювального експерименту відомостями про її джерела.

Наприклад, *систематична похибка* за визначенням може бути представленою постійною величиною або відомою залежністю (лінійною, періодичною або іншою функцією).

Джерелами систематичних складових похибки вимірювання можуть бути всі його компоненти: метод вимірювання, засоби вимірювання та експериментатор.

Постійні інструментальні систематичні похибки зазвичай виявляють за допомогою повірки засобу вимірювання.

Практично у всіх галузях вимірювання, представлених у метрології, трапляються *випадкові похибки*.

Результати вимірювання, що відрізняються один від одного, проведені з однаковою старанністю і в однакових умовах повторних спостережень однієї і тієї ж постійної величини, свідчать про наявність у них випадкових похибок. Кожна така похибка виникає внаслідок одночасного впливу на результат спостереження багатьох випадкових факторів і є випадковою величиною. У цьому випадку передбачити результат окремого спостереження та виправити його запровадженням поправки неможливо. Можна лише з певною часткою впевненості стверджувати, що істинне значення вимірюваної величини знаходиться в межах розкиду результатів від  $x_{\min}$  до  $x_{\max}$ .

Для характеристики властивостей випадкової величини у теорії ймовірностей використовують поняття закону розподілу ймовірностей випадкової величини. Загальною моделлю випадкової похибки є випадкова величина, що має функцію розподілу ймовірностей. Характеристики випадкової похибки ділять на точкові та інтервальні. Для опису похибок результату вимірювання найчастіше використовують інтервальні оцінки. Межі, в яких може бути похибка, знаходять як відповідні певній ймовірності. У цьому випадку межі похибки називають довірчими межами, а ймовірність, що відповідає довірчій похибці, довірчою ймовірністю.

### **3.8. Якість вимірювального процесу та його показники**

Вимірювальний процес є складовою будь-якого технологічного процесу.

Від якості вимірювального процесу залежить правильність приймання рішень з управління технологічними процесами та відповідності продукції, що випускається.

Якість вимірювального процесу пов'язана із статистичними характеристиками багаторазового вимірювання та визначається точністю та достовірністю виміру (рис. 3.11).

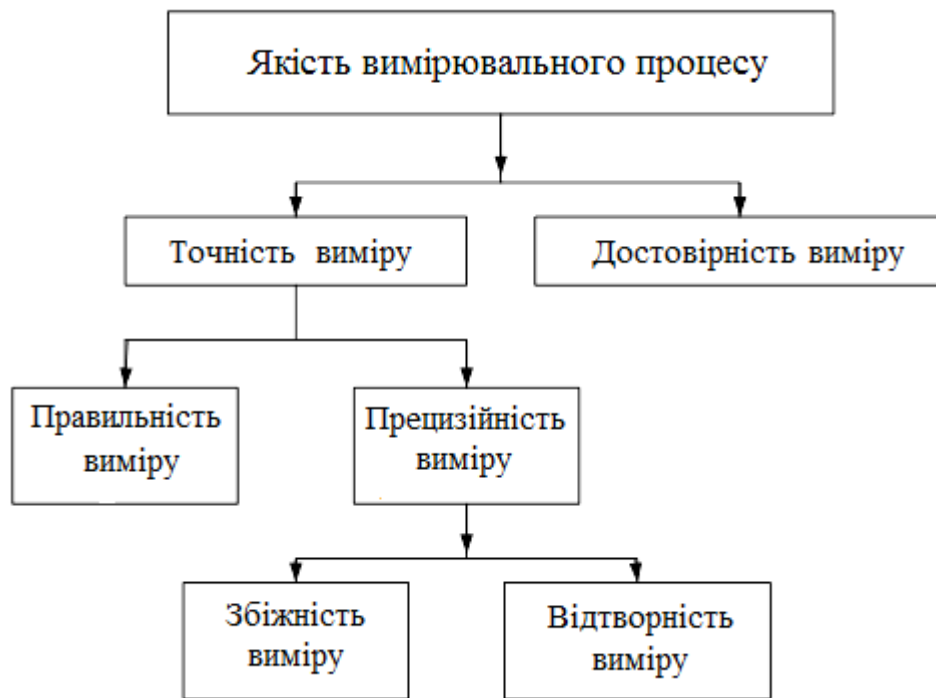


Рисунок 3.11 – Показники якості вимірювального процесу

**Точність результату виміру** відображає близькість до нуля похибки його результату і є *якісною величиною*. Висока точність виміру відповідає малим похибкам, як систематичним, так і випадковим. Точність кількісно оцінюють зворотною величиною модуля відносної похибки. Для опису «точності виміру» використовують два терміни: правильність та прецизійність.

**Правильність виміру** – це характеристика, що відображає близькість до нуля систематичних похибок виміру. Термін «правильність» характеризує ступінь близькості середнього арифметичного значення великої кількості результатів вимірювання до істинного значення і оцінюється зміщенням середнього арифметичного значення від істинного при багаторазовому вимірюванні фізичних величин.

Показником правильності виміру є значення систематичної похибки, зумовленої недосконалістю реалізації прийнятого методу вимірювання, похибкою градування засобу вимірювання, відхиленням умов вимірювання від нормальних і т. д.

Абсолютне значення зміщення середнього арифметичного значення вимірюваної величини (рис. 3.12) можна розрахувати за формулою

$$B = \bar{x} - x_{\text{іст}}, \quad (3.7)$$

де  $B$  – зміщення середнього арифметичного значення;  $\bar{x}$  – середнє арифметичне значення вимірюваної величини;  $x_{\text{іст}}$  – істинне значення вимірюваної величини.

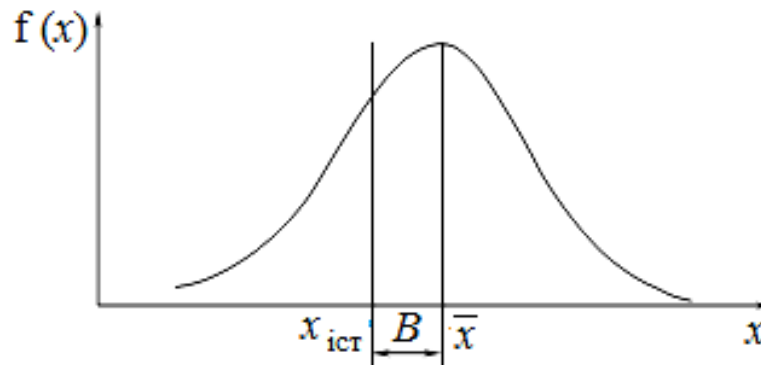


Рисунок 3.12 – Зміщення середнього арифметичного значення вимірюваної величини

Якщо абсолютне зміщення відоме та постійне, то в результаті вимірювання вносять відповідну поправку зі знаком, протилежним цьому зміщенню.

Визначити значення зміщення середнього арифметичного значення вимірюваної величини можливо тільки тоді, коли можна прямо чи опосередковано визначити її істинне значення. Оскільки істинне значення вимірюваної величини невідоме, то в практиці вимірювання його замінюють опорним значенням.

Опорне значення (передбачуване істинне значення) – це середнє арифметичне значення, отримане при багаторазовому вимірюванні ( $n \geq 20$ ) параметра зразка (деталі) у метрологічній лабораторії з використанням засобу вимірювання більш високої точності, ніж засіб вимірювального процесу.

Зразок, як правило, вибирають із числа аналізованих деталей технологічного процесу, значення вимірюваного параметра якого потрапляє у середину поля допуску.

Відносне зміщення середнього арифметичного значення вимірюваної величини позначають %  $B$  і розраховують за формулою

$$\% B = \frac{|B|}{JT} 100\%, \quad (3.8)$$

де  $JT$  – стандартний допуск.

При аналізі вимірювального процесу відносне зміщення має перевищувати 10 %.

Вимірювальні процеси можуть піддаватись впливу різних джерел мінливості: недосконалості методу вимірювання, неідентичності вимірюваних зразків, суб'єктивного впливу оператора, похибки використовуваного обладнання, умов вимірювання і т. д. Тому при повторному вимірюванні того ж самого зразка отримані результати будуть різними. Ці відмінності обумовлені звичайними (випадковими) та особливими (невипадковими) причинами.

При природному ході процесу його мінливість зазвичай обумовлена впливом безлічі різноманітних неконтрольованих причин. Прийнято вважати, що процес перебуває в «статистично керованому стані», якщо джерелом його мінливості є лише випадкові причини, що мають стабільний і повторюваний розподіл у часі.

*Стабільність вимірювального процесу* (статистично керований стан) – стан вимірювального процесу, у якому видалені всі особливі (невипадкові) чинники мінливості, тобто мінливість можна пояснити системою звичайних (випадкових) причин.

Вимірювальний процес, що знаходиться в статистично керованому стані, характеризується тим, що хід процесу передбачуваний, зміщення середнього арифметичного значення вимірюваної величини або відсутнє, або має постійне значення в часі (рис. 3.13) та розкид значень вимірюваної величини знаходиться в прогнозованих межах.

При впливі на вимірювальний процес невідповідних (особливих) причин мінливості (наприклад, відхилень температури навколишнього середовища від нормальної) він виходить із статистично керованого стану, хід процесу стає непередбачуваним, результати вимірювання можуть суттєво відхилитися від прогнозованих, а розкид виміру може виявитися неприйнятним.

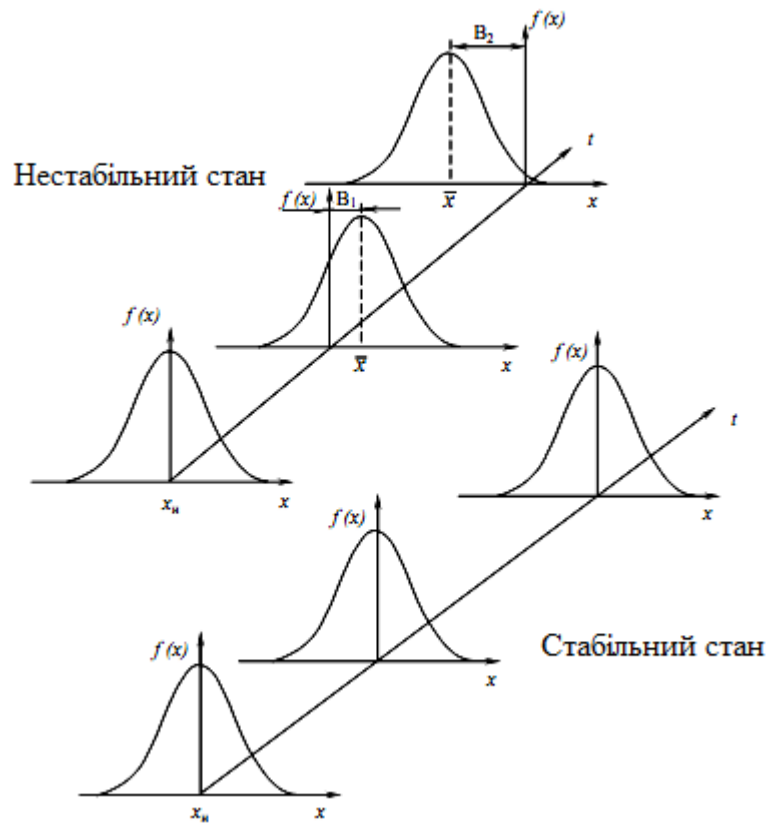


Рисунок 3.13 – Стабільність вимірювального процесу

На практиці виключно важливим є підтримування вимірювального процесу у стабільному статистично керованому стані, для чого використовуються методи статистичного управління процесами. Простим та ефективним засобом статистичного управління є контрольні карти, що відображають поточний стан процесу, дають можливість проводити оцінку ступеня його мінливості, дозволяють визначати наявність статистичної керованості.

**Прецизійність виміру** – ступінь близькості незалежних результатів, отриманих у конкретних регламентованих умовах. Прецизійність залежить лише від випадкових похибок і не має відношення до істинного значення вимірюваної величини. Прецизійність є загальним терміном для вираження мінливості повторюваного вимірювання, і включає в себе збіжність і відтворність вимірів.

**Збіжність виміру** – характеристика якості вимірювання, що відображає близькість результату вимірювання однієї й тієї ж величини,

виконаного повторно одним і тим самим методом в однакових умовах з однаковою старанністю (рис. 3.14).

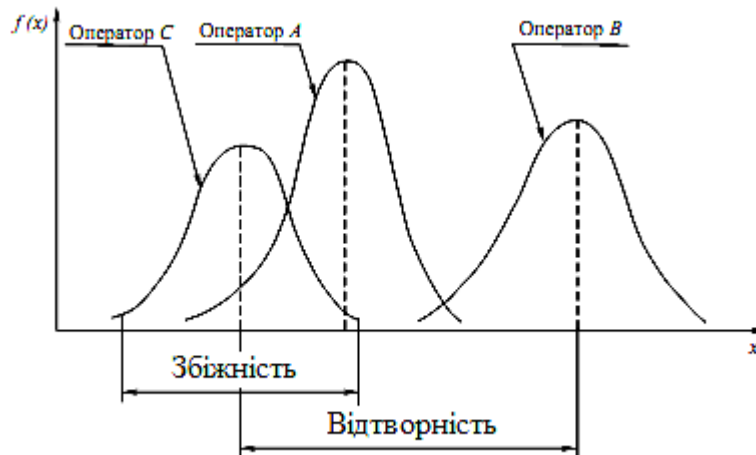


Рисунок 3.14 – Графічна ілюстрація збіжності та відтворності виміру

Необхідність розгляду збіжності виникає через те, що вимірювання, виконувані на ідентичних виробках за ідентичних умов, не дають, як правило, ідентичних результатів. Це пояснюється неминучими випадковими похибками, властивими кожному вимірювальному процесу, а розкид результатів виміру може бути неприйнятним.

Збіжність виміру оцінюється середньою квадратичною похибкою.

**Відтворність виміру** – це близькість результатів вимірювань однієї й тієї ж величини, отриманих у різних місцях, різними методами, різними засобами, різними операторами, у різний час, але наведених до однакових умов вимірювання (температури, тиску, вологості тощо). Відтворність, як і збіжність, кількісно може бути виражена середньою квадратичною похибкою результату вимірювання.

**Достовірність виміру** визначається ступенем довіри до результату вимірювання і характеризується ймовірністю того, що істинне значення вимірюваної величини знаходиться в заданих межах, дана ймовірність називається довірчою. Як впливає з аналізу похибок, достовірність вимірювання – це близькість до нуля випадкової чи невиключеної систематичної похибки.

Відповідно до ГОСТ Р 51814.5 аналіз якості вимірювальних процесів, що входять до складу технологічних процесів, проводиться в наступній послідовності (рис. 3.15):

- вимірювальний процес досліджується на стабільність;
- у разі нестабільного вимірювального процесу усуваються особливі причини мінливості;
- оцінюються зміщення вимірювального процесу;
- оцінюються збіжність та відтворність виміру;
- у разі неприйнятних збіжностей та відтворності результатів вимірювання аналізуються причини підвищеної мінливості, проводять коригувальні дії, повторно оцінюються збіжність та відтворність.

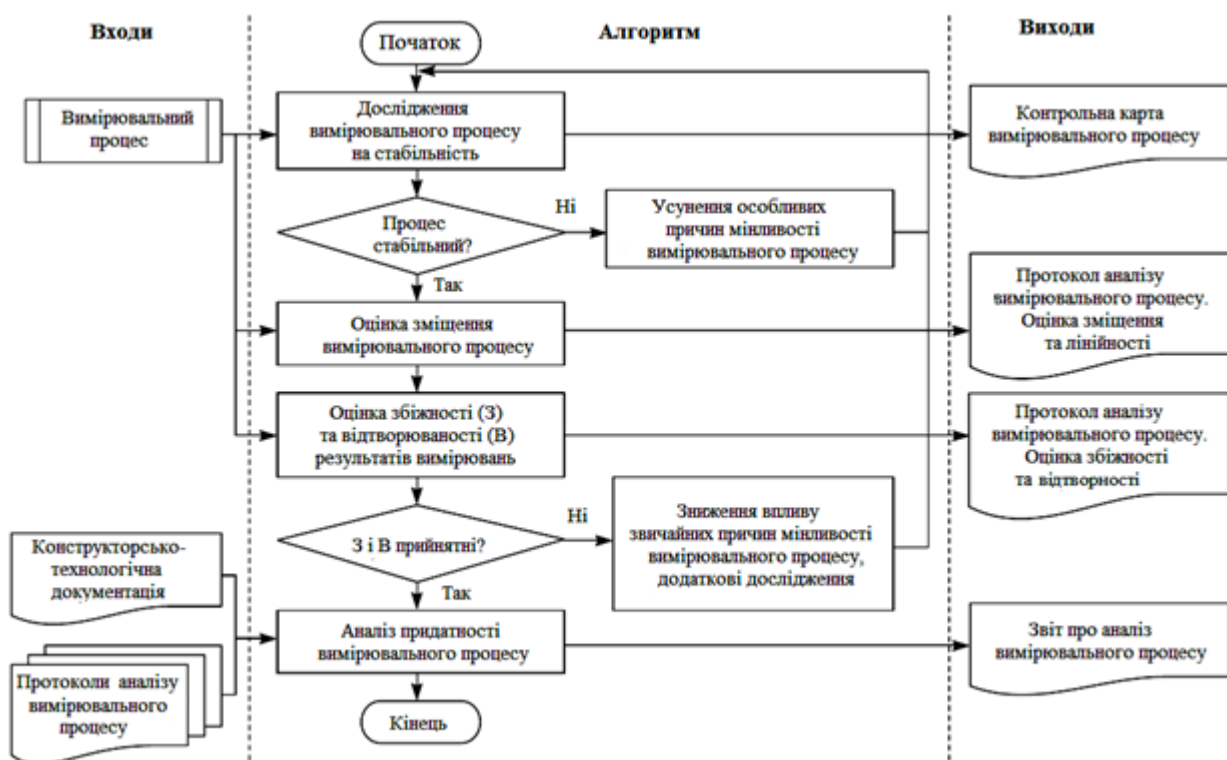


Рисунок 3.15 - Схема оцінювання статистичних характеристик вимірювального процесу

Підтвердження статистичних характеристик вимірювальних процесів рекомендується здійснювати не рідше одного разу на рік. Позачергове підтвердження статистичних характеристик виконується під час заміни, модернізації чи ремонту засобів вимірювальної техніки; зміни технологічних процесів; збільшення кількості невідповідностей вимірюваного параметра і т. д.

Розглянуті показники використовуються у міжнародній практиці для аналізу прийнятності вимірювальних процесів, які використовуються для контролю якості продукції та управління технологічними процесами, а також підтвердження або визнання компетентності випробувальних лабораторій, якими керуються замовники та органи з акредитації.

В даний час суттєво зросли вимоги до якості вимірювального процесу, значно розширилася номенклатура вимірюваних величин, ускладнилися засоби вимірювання. Методи вимірювання та використовувані вимірювальні засоби пройшли шлях розвитку від найпростіших вимірювань довжини, маси, об'єму, кутів до вимірювання електричних величин, параметрів іонізуючих випромінювань, об'єктів молекулярної та атомної фізики, нанотехнологій.

### **3.9. Особливості вимірювання у машинобудуванні**

*Вимірювальна техніка є невід'ємною частиною матеріального виробництва. Якість і, відповідно, конкурентоспроможність продукції багато в чому визначаються станом вимірювальної процедури на підприємстві у будь-якій галузі.*

На виконання вимірювання припадає до 15...20 % трудових витрат, а галузях промисловості, які виробляють складну техніку, вона складає 50...70 %. У промислово розвинених країнах витрати на отримання достовірних результатів вимірювання заданої точності досягають 9...12 % ВВП.

Особливу роль виконує вимірювання у машинобудуванні. Якість продукції на машинобудівних підприємствах суттєво залежить від кількості та якості вимірювання, за допомогою яких контролюються як технологічні параметри виробничих процесів, так і параметри, характеристики та властивості отримуваних виробів.

Найбільш важливе значення у сучасному машинобудуванні має вимірювання геометричних форм та розмірів деталей. Вимірюють довжину та товщину деталей, діаметри (зовнішні та внутрішні), паралельність сторін, кути, шорсткість поверхні і т. д.

При цьому *оцінка точності форми та розміру залежить від ступеня точності вимірювання.*

*Визначальна роль у машинобудуванні належить методам і засобам вимірювання лінійних і кутових розмірів. Вимірювання довжин та кутів найбільш специфічні та відповідальні у виробничих цехах, центральних вимірювальних лабораторіях, відділах технічного контролю.*

На багатьох підприємствах машинобудівного профілю ці види вимірювання становлять 85...90 % всіх видів вимірювання.

Умови лінійних та кутових вимірювань найчастіше характеризуються комплексом впливових величин, що приводять до відмінності робочих умов вимірювання від нормальних, що викликає появу додаткової похибки засобів вимірювання.

До істотних впливових величин при вимірюванні довжин і кутів можуть належати температура, вібрації, тиск, вологість, склад навколишнього повітря, орієнтація у просторі, електричні і магнітні поля, тобто дуже широкий спектр фізичних факторів.

Контрольно-вимірювальні інструменти, у тому числі для лінійного та кутового вимірювання, за призначенням ділять на універсальні та спеціальні.

***Універсальні вимірювальні інструменти для вимірювання лінійних розмірів*** (довжини, товщини, діаметрів) та кутів є найпоширенішими.

Їх ділять на прості засоби вимірювання (лінійки), штрихові розсувні інструменти з лінійним ноніусом (штангенциркулі, універсальні кутоміри), мікрометричні інструменти (мікрометри, глибиноміри), оптичні прилади (інструментальні мікроскопи, мікроскопи вимірювальні) і т. д.

За допомогою універсальних інструментів можна вимірювати лінійні розміри із різною точністю. Один і той самий інструмент або прилад можна використовувати для вимірювання різних розмірів. Завдяки цій особливості дані вимірювальні інструменти використовують під час ремонту. У цьому випадку вони є основним способом контролю розмірів.

*Універсальні інструменти та прилади для абсолютного вимірювання* використовуються для безпосереднього визначення вимірюваної величини. Найбільш поширеними вимірювальними інструментами даної групи є вимірювальні лінійки; штангенциркулі для вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів; штангенглибиноміри для вимірювання глибини отворів, пазів; штангенрейсмуси для розмітки та

вимірювання висоти виробів; мікрометричні вимірювальні інструменти (мікрометри для зовнішніх вимірювань, мікрометричні глибиномири та нутроміри для вимірювання внутрішніх розмірів виробів); інструментальні та універсальні мікроскопи для вимірювання кутів та лінійних розмірів деталей та інструментів, а також для перевірки калібрів.

*Прилади для відносного вимірювання* використовуються, як правило, для визначення значень малих лінійних розмірів, які не виходять за межі показань шкали вимірювальної головки. Принцип дії цих приладів ґрунтується на перетворенні малих переміщень вимірювального стрижня у великі переміщення показника.

Залежно від принципу дії механізму ці прилади ділять на важільні (важільні скоби для контролю шліфованих і доведених поверхонь); із зубчастою передачею (індикатори годинникового типу для вимірювання зовнішнього розміру деталі); з важільно-зубчастою передачею (індикаторні скоби для вимірювання зовнішніх розмірів деталі, індикаторні нутроміри для вимірювання внутрішніх розмірів деталі, важільні мікрометри); з важільно-гвинтовою, важільно-пружинною передачею (мікрокатори); з важільно-оптичною передачею (оптиметри для зовнішніх та внутрішніх вимірювань) і т. д.

*Для вимірювання кутів та конусів* застосовують транспортні кутоміри (вимірюють зовнішні кути від 0 до 180 °) та універсальні кутоміри (вимірюють зовнішні кути від 0 до 180 °, внутрішні від 40 до 180 °); синусні лінійки (для точних вимірювань зовнішніх та внутрішніх кутів непрямим методом); універсальні ділильні та оптичні головки (для вимірювання центральних кутів від 0 до 360 °).

*До спеціальних засобів вимірювання* відносять способи та методи контролю різі (різьбовими калібрами, різьбовими шаблонами, різьбовими мікрометрами, різьбовими мікроскопами, за допомогою автоматичних засобів контролю); засоби контролю шпонкових (наприклад, спеціальними калібрами) та шліцевих з'єднань (комплексними прохідними калібрами, а також універсальними вимірювальними засобами); засоби контролю зубчастих передач (приладами для комплексних та поелементних перевірок; за допомогою міжцентроміра, крокоміра, евольвентомера, зубомірного мікрометра, нормалеміру, штангензубоміра тощо).

*Правильний вибір засобу вимірювання забезпечує отримання достовірної інформації необхідної точності. При цьому точність засобу вимірювання повинна бути узгоджена з вимогами до гранично допустимих значень контрольованих параметрів і режимів. Зокрема, похибка результатів вимірювання, отримуваних за допомогою обраного засобу, повинна бути значно меншою порівняно з допуском на контрольований параметр виробу. Недостатня точність засобів вимірювання приводить до виникнення помилкового та невиявленого браку контролю, а зайва точність – до підвищення трудомісткості та вартості контрольних операцій, а отже, до збільшення витрат на виробництво продукції.*

**Вибір засобів вимірювання** залежить від виду контролю, метрологічних факторів, точності виготовлення (відновлення) деталей, масштабів виробництва, конструктивних та економічних показників.

Наприклад, у загальному машинобудуванні та у ремонтному виробництві застосовують дві форми контролю: активний і пасивний контроль.

*Активний контроль* з прямим вимірюванням розмірів деталі безпосередньо впливає на технологічний процес отримання певного розміру. При активному контролі використовують спеціальні контрольні пристрої.

*Пасивний контроль* визначає лише придатність деталей.

*При виконанні виробничих вимірювань* враховують такі метрологічні показники: діапазон показань, діапазон вимірювання, точність та похибку виміру.

*Похибка виміру* – один із вирішальних чинників, які впливають на вибір засобів вимірювання. Похибка виміру приводить до того, що частина бракованих деталей надходить на складання (помилки другого роду), а частину придатних деталей бракують (помилки першого роду).

Щоб уникнути помилок другого роду, потрібно зменшити допуск деталі  $T$ , тобто запровадити звужений або виробничий допуск  $T_{\text{вир}}$ .

*Виробничий допуск* – це допуск виготовлення, зменшений з метою усунення негативного впливу похибок виміру. Введення виробничого допуску повністю виключає надходження на складання деталей з розмірами, що виходять за межі певного допуску. Використовується метод

призначення виробничого допуску за рахунок зменшення гарантованого допуску на подвійну величину граничної похибки

$$T_{\text{вир}} = T - 2\Delta_{\text{lim}} \quad (3.9)$$

Однак цей метод економічно не завжди доцільний.

Для встановлення єдиних вимог при виборі засобів вимірювання регламентуються (ГОСТ 8.051-81) межі припустимих похибок  $\Delta_{\text{вим}}$  при вимірюванні лінійних розмірів до 500 мм. При виборі інструменту слід дотримуватись умов:  $\Delta_{\text{lim}} \leq \Delta_{\text{вим}}$ .

***Технічно обґрунтований вибір засобів вимірювання за точністю при вимірюванні або контролі параметрів здійснюється за наявності наступних вихідних даних:***

- оптимального переліку контрольованих параметрів виробу;
- значень допустимих відхилень для кожного контрольованого параметра та допустимих значень похибки виміру для вимірюваних параметрів;
- допустимих значень ймовірностей помилкової та невиявленої відмови (браку контролю) на кожен із контрольованих параметрів, значень довірчих ймовірностей для вимірюваних параметрів;
- законів розподілу відхилень вимірюваних (контрольованих) параметрів та похибок виміру, що виникають при застосуванні засобів вимірювання (контролю) параметрів;
- умов вимірювання, що враховують механічні навантаження (вібрації, удари, лінійні прискорення), кліматичні впливи (температура, вологість, атмосферний тиск, сонячна радіація), наявність або відсутність руйнівного середовища, в якому експлуатуються засоби вимірювання або їх елементи (агресивні гази та рідини, висока температура, висока напруга, електричні та магнітні поля, перешкоди).

*Масштаб виробництва* також впливає вибір засобів вимірювання. У одиничному та дрібносерійному виробництві доцільно використовувати універсальні засоби вимірювання, у масовому – спеціальні засоби вимірювання та калібри.

*Конструктивні особливості* (габарити, форма, маса) деталей також визначають певні обмеження щодо вибору засобів вимірювання. Так,

масивні деталі контролюються переносними вимірювальними приладами, а деталі невеликих розмірів – стаціонарними.

*Економічні фактори*, що впливають на вибір засобів вимірювання, включають вартість засобів вимірювання, тривалість їх роботи до відновлення та ремонту, час на встановлення та вимірювання, що відповідає кваліфікації оператора.

### **Питання для самоперевірки**

1. Дайте пояснення основного рівняння вимірювання.
2. Що розуміють під розмірністю вимірюваної величини?
3. Назвіть основні характерні ознаки поняття вимірювання.
4. Що уявляє собою вимірювальний процес?
5. З яких етапів складається процедура вимірювання?
6. Яку роль у сучасній метрології відіграють вимірювальні інформаційні технології?
7. Дайте характеристику основних відмінних ознак інформаційно-вимірювальних систем.
8. За якими ознаками класифікують види вимірювання?
9. Які метрологічні вимірювання розрізняють за призначенням? Дайте їхню коротку характеристику.
10. Якими є методи вимірювання за способом отримання інформації?
11. Які метрологічні вимірювання розрізняють за характером зміни вимірюваної величини?
12. Що розуміють під одноразовим та багаторазовим вимірюванням?
13. Які види вимірювання Вам відомі за характером вираження результату вимірювання?
14. Що означає поняття «метод вимірювання»?
15. За якими ознаками класифікують методи метрологічного вимірювання? Коротко охарактеризуйте кожну групу.
16. Дайте визначення засобів вимірювання, вкажіть їхні основні класифікаційні групи.
17. Які види еталонів розрізняють у вимірюванні?

18. Які еталони внесено до Реєстру засобів вимірювання в Україні та які одиниці вимірювання вони відтворюють?

19. Що розуміють під нормованими метрологічними характеристиками засобу вимірювання?

20. Які характеристики входять до номенклатури нормованих метрологічних характеристик засобу вимірювання за відповідним ДСТУ?

21. Дайте визначення точності засобу вимірювання.

22. Що є метою повірки засобів вимірювання?

23. Чим відрізняються державна та відомча повірка засобів вимірювання?

24. Дайте коротку характеристику основних видів повірки.

25. Яку мету та складові частини має повірювальна схема?

26. Що розуміють під похибкою та точністю виміру?

27. Які фактори впливають на результат вимірювання?

28. Які основні класифікаційні ознаки похибок виміру?

29. Чим відрізняються систематичні та випадкові складові похибки виміру? Які причини їх появи та методи запобігання або зменшення?

30. Що є грубими похибками?

31. Як визначають абсолютні, відносні та зведені похибки виміру?

32. Якими характеристиками визначається якість вимірювального процесу?

33. Як визначають достовірність, збіжність та відтворність виміру?

34. Що розуміють під стабільністю вимірювального процесу?

35. Якою є особливість вимірювального процесу у машинобудуванні?

36. Які універсальні та спеціальні технічні засоби є найпоширенішими у ашинобудуванні?

37. Якими факторами визначається технічно обґрунтований вибір вимірювального засобу у машинобудуванні?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бичківський Р. В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація : підручник / Р. В. Бичківський, П. Г. Столярчук, П. Р. Гамула; за ред. Р. В. Бичківського. – Львів : Видавн. нац. ун-ту Львівська політехніка, 2002.
2. Боженко Л. І. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні : навч. посібник / Л. І. Боженко. – Львів : Світ, 2003.
3. Чинков В. М. Основи метрології та вимірювальної техніки : навч. посібник / В. М. Чинков. – Харків : НТУ «ХП», 2005.
4. Тарасова В. В. Метрологія, стандартизація і сертифікація : підручник / В. В. Тарасова, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак. – Київ : Центр навчальної літератури, 2006.
5. Ступин А. Б. Метрология : учеб. пособие / А. Б. Ступин, Д. Г. Гольцев, А. Ф. Удовиченко, Н. А. Котляр. – Донецк : ДонНУ, 2009.
6. Васілевський О. М. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : навч. посібник / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010.
7. Метрологічне забезпечення контролю якості продукції: монографія / В. У. Ігнаткін, Ю. М. Туз, К. М. Левківський, О. В. Томашевський; за ред. В. У. Ігнаткіна. – Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2017.
8. Стандартизація, метрологія та контроль якості продукції : навч. посібник для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І. Ю. Троснікова, А. В. Мініцький, Є. Г. Биба, П. І. Лобода. – Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2021.
9. Воробець М. М. Стандартизація, сертифікація, метрологія та управління якістю : навч. посібник / М. М. Воробець, І. В. Кондрачук. – Чернівці : Чернівец. нац. ун-т ім. Юрія Федьковича, 2022.

Навчальне видання

ФЕДОРОВИЧ Володимир Олексійович  
ПУПАНЬ Лариса Іванівна  
ОСТРОВЕРХ Євген Володимирович

## МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Навчальний посібник

для студентів спеціальності «Прикладна механіка»  
денної, заочної та дистанційної форм навчання

Роботу до видання рекомендував Олександр Шелковий

В авторській редакції

План 2022 р., поз.91

Підп. до друку 2022 р. Гарнітура Таймс

---

Видавничий центр НТУ «ХП», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002  
Свідоцтво про державну реєстрацію № 5478 від 21.08.2017 р.

---

Самостійне електронне видання