

**Кафедра прикладної механіки**

**Академії цивільного захисту України**

**І.В. Міщенко, С.О. Вамболь, Т.М. Курська**

**МЕТРОЛОГІЯ  
ТА  
СТАНДАРТИЗАЦІЯ**

**Конспект лекцій**

**Харків 2006**

Схвалено для використання у  
навчально-виховному процесі  
Протокол від 20.03.2006 р. № 27  
засідання кафедри прикладної  
механіки АЦЗУ

**Укладачі:** / І.В. Міщенко, С.О. Вамболь, Т.М. Курська

**Рецензенти:** Жовдак В.О. – професор кафедри „Динаміка та міцність машин” Національного технічного університету „ХПІ”, доктор технічних наук, професор;

Іванова К.П. – провідний науковий співробітник НЦ-1 Національного наукового центру „Інститут метрології”, кандидат фізико-математичних наук.

**Метрологія та стандартизація. Конспект лекцій / І.В. Міщенко та інш. – Харків: АЦЗУ, 2006. – 137 с.**

Викладено питання метрології та стандартизації. Наведено теоретичний матеріал та приклади розв’язання задач, які мають практичне значення. В конспекті лекцій розглянуто такі розділи курсу: основні визначення метрології, Міжнародна система одиниць, операції вимірювання та засоби їхньої реалізації, класифікація та характеристики засобів вимірювання, похибки вимірювань, методи обробки результатів вимірювань, критерії згоди, основні поняття про взаємозамінність та стандартизацію, система допусків і посадок, взаємозамінність гладких циліндричних з’єднань, нарізних з’єднань, відхилення геометричних параметрів деталей, законодавча база метрології та стандартизації.

Для курсантів, студентів і слухачів відповідно до програми вищої освіти у напрямі „Пожежна безпека”. Може бути корисним під час аудиторних занять та для самостійної роботи.

Відповідальний за випуск І.В. Міщенко

## ВСТУП

Конспект лекцій, призначений для курсантів, студентів і слухачів відповідно до програми вищої освіти у напрямі „Пожежна безпека”, повністю обіймає усі розділи навчальної програми курсу „Метрологія та стандартизація”, надаючи можливість ознайомитися й опрацювати теми, що винесені на аудиторні заняття та для самостійної роботи. У ньому безпосередньо відбитий досвід роботи кафедри прикладної механіки Академії цивільного захисту України при викладанні цієї дисципліни.

В конспекті лекцій розглянуто такі розділи курсу: основні визначення метрології, Міжнародна система одиниць, операції вимірювання та засоби їхньої реалізації, класифікація та характеристики засобів вимірювання, похибки вимірювань, методи обробки результатів вимірювань, критерії згоди, основні поняття про взаємозамінність та стандартизацію, система допусків і посадок, взаємозамінність гладких циліндричних з'єднань, нарізних з'єднань, відхилення геометричних параметрів деталей, законодавча база метрології та стандартизації.

Викладання лекційного курсу доповнюється багатьма ілюстраціями та рішенням задач і прикладів, що дозволяє більш поглиблено засвоїти теоретичні положення та поняття метрології та стандартизації.

Основна увага в першій частині курсу лекцій, присвячених метрології, приділяється вимірюванням, похибкам вимірювань, пов'язаних з недосконалістю засобів та методів вимірювань, проблемам обробки результатів, отриманих при проведенні різних дослідів і експериментів, особливо у випадку непрямих вимірювань.

В другій частині курсу лекцій, присвячених взаємозамінності та стандартизації, ретельно розглянуті поняття допусків, посадок гладких циліндричних з'єднань, нарізних з'єднань, їхні особливості.

Автори сподіваються, що конспект лекцій виявиться корисним і допоможе курсантам, студентам і слухачам оволодіти поняттями метрології та стандартизації, навчитися грамотно проводити різноманітні вимірювання й обробляти отримані результати – те, що необхідно при вивченні будь-якої технічної дисципліни та в практичній діяльності фахівців.

## ЛЕКЦІЯ 1. ПРЕДМЕТ І ЗАДАЧІ МЕТРОЛОГІЇ. РОЗВИТОК МЕТРОЛОГІЇ В ІСТОРИЧНОМУ АСПЕКТІ. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ. МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ.

Термін *метрологія* походить від грецьких слів: *μετρον* - міра і *λογος* - учення, слово. У сучасному розумінні це *наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їхньої єдності і способах досягнення необхідної точності*. Встановлення одиниць вимірювання фізичних величин, їхнє відтворення за допомогою еталонів і розробка методів вимірювань складають предмет метрології.

До основних напрямків метрології відносяться:

- 1) загальна теорія вимірювань;
- 2) одиниці фізичних величин та їхні системи;
- 3) методи і засоби вимірювань;
- 4) методи визначення точності вимірювань;
- 5) основи забезпечення єдності вимірювань і однаковості засобів вимірювання;
- 6) еталони та зразкові засоби вимірювань;
- 7) методи передачі розмірів одиниць від еталонів і зразкових засобів вимірювань робочим засобам вимірювань.

Частина з зазначених напрямків мають науковий характер. Решта відноситься до законодавчої метрології.

Початковий (свого роду доісторичний) етап становлення метрології характеризується використанням кількісно невизначених сурогатів мір: частин людського тіла, умовних одиниць, зв'язаних з фізичними (силовими, голосовими) здібностями людини, рахункових одиниць тощо. З числа цих сурогатів мір можна виділити частини людського тіла, як деякі подоби речовинних, кількісно визначених мір, хоча і тут були присутні моменти суб'єктивізму, але в меншому ступені, чим в інших з зазначених мір.

Відоме виречення давньогрецького філософа Протагора: «*μητρων χρηματων μετρον εστι ο ανθρωμος*» - «Людина є міра всіх речей». Цей вираз, що неодноразово підлягав надалі критичному розгляду, має безпосереднє відношення і до метрології в її становленні й історичному розвитку.

Найперші одиниці мір походили з частин людського тіла і навколишньої природи. Споконвічно застосовували індивідуальні примітивні міри - моя ступня, мій лікоть - останній, наприклад, дорівнював відстані між ліктем людини і кінцем його середнього пальця. Ця одиниця вимірювання, що з'явилася, як видно, ще в 30 столітті до н.е., була найбільше точно визначена в Стародавньому Єгипті, використовувалася при будівлі пірамід.

Пізніше вона була досліджена І.Ньютоном, що визначив довжину давньоєгипетського «священного» ліктя. Цю міру можна було віднести до загальнообов'язкових мір, тобто усереднених за згодою або за адміністративним наказом і до їхньої реалізації в матеріальній формі.

У всіх народів використовувалися частини людського тіла як міри довжини, про що чітко свідчать уже самі назви: фут — ступня (грец. *μουζ*, лат. *pes*, франц. *pied*, англ. *foot*, нім. *Fuß*), дюйм (довжина другого суглоба великого пальця руки) — палець (грец. *δακτυλοζ*, лат. *digitus*, голл. *duim*, франц. *pouce*, англ. *inch*, нім. *Daumen*) та ін.

Для вимірювання об'єму або маси найчастіше використовувалися зерна або інші доступні предмети. Наприклад, карат — одиниця, що й донині використовується для вимірювання маси дорогоцінних каменів і дорівнює 0,2 г, походить від арабського слова *carob*, що означає стручок ріжкового дерева, насіння якого служили в далекій давнині мірою ваги. Багато мір, що використовувалися в Західній цивілізації, спочатку виникли у Вавілоні й інших цивілізаціях Середнього Сходу. Через торгівлю й інші контакти ці міри проникли в Древні Грецію і Рим. Після завоювання римлянами Галлії і Британії, ці міри проникали й в інші частини світу. У цих умовах місцеві міри й одиниці (якщо вони встигли виникнути), зіштовхуючись з «іноземними», неминуче повинні були зазнати якісь зміни. Метрологія знає різні варіанти цього процесу — від повної заміни місцевих мір загальноприйнятими іноземними (так відбулося з мірами країн, що стали колоніями) до встановлення бар'єрів, що перепиняють вхід «чужим» мірам і одиницям. В Азії, зокрема в Китаї і Японії, розвивалися свої системи мір, що ніколи не використовувалися за їхніми межами.

У Середньовіччі починалися спроби встановити уніфіковані стандарти мір. Цього вимагав розвиток торговельних і економічних зв'язків; при проведенні різних ярмарків, що збирали торговців із усього світу, точні стандарти були життєво необхідні. Трійські міри ваги, наприклад, виникли при проведенні ярмарків у Труа, Франція (*Troyes, France*). Однак в основному торговці продовжували використовувати свої власні міри при проведенні місцевих торговельних операцій. Кожне німецьке місто, кожна провінція Італії, кожен кантон у Швейцарії мали свої власні міри. Але і ці місцеві міри були численними. Так, у кантоні Валліс вживалося одночасно 8 різних фунтів і 31 міра для рідин. У Німеччині використовувалися лікті від 55 до 83 див, як міру об'єму рідких і сипучих тіл — шеффель від 23 до 200 л. Тільки в Бадені в 1810 р. мали місце 112 різних ліктів, 92 одиниці площі, 65 мір об'єму рідких і сипучих тіл, 163 міри зерна і 80 фунтів.

Багато вчених різних країн прагнули перетворити хаотичну сукупність одиниць вимірювань у єдину і стійку систему одиниць, похідну від природних мір і поділену на кратні та частинні величини. Це було

необхідно для кількісного розуміння фізичних величин і математичного формулювання законів природи. Спроба зробити це була здійснена у Франції наприкінці XVIII ст., але чому саме Франція саме в ті часи стала колискою метричної системи?

У XVIII ст. тільки в одній Англії міри були однаковими (слід зазначити, що цей процес уніфікації мір був започаткований ще підписанням 15 червня 1215 р. королем Англії Джоном Безземельним (1167-1216) (**JOHN OF ENGLAND Lackland**) Великої Хартії вільностей (**Magna Carta**)) в інших же європейських державах у цій галузі панував хаос, але ніде різноманіття і плутанина мір не відчувалися так сильно, як у Франції напередодні буржуазної революції.

У числі феодальних прав було право сеньйора мати в межах своїх володінь власні міри і ваги, а також самому перевіряти їх. Зловживання, пов'язані з цим правом, і перешкоди для торгівлі у формі всіляких зборів і внутрішніх митниць викликали обурення зростаючої молоді буржуазії. Вже в XVII — XVIII ст. з'явилися численні проекти реформи мір. Автори проектів керувалися тим, що «для створення істинно філософської системи мір, гідної освіченого століття, не можна допускати нічого, що не спиралося б на міцні підстави, що не зв'язано найтіснішим чином із предметами незмінними, нічого, що могло б згодом залежати від людей і від подій: треба звернутися до самої природи, почерпнувши основу системи мір у її надрах, і зуміти знайти в неї способи перевірки (формулювання Ван Свіндена 1799 р.)». Вони вказували на два факти — сталість довжини секундного маятника і сталість розмірів Землі.

Вчені Гюйгенс (1670 р.), Пікар (1671 р.), Пудловський і Бураттіні (1675 р.), Лакондамин (1747 р.), Міллер (1790 р.), а також Талейран (1790 р.) і президент США Джефферсон (1792 р.) пропонували обрати мірою довжини довжину секундного маятника у визначеному місці на Землі (але тоді еталон довжини залежав би від прискорення вільного падіння, а воно на різних широтах через форму Землі різне – на екваторі  $9,780 \text{ м/с}^2$ , на полюсах  $9,833 \text{ м/с}^2$ ).

Французький астроном Габріель Мутон у 1670 р. запропонував геометричні міри довжини, основною одиницею в яких служить міліара — довжина однієї хвилини земного меридіана, а всього її підрозділи — центурія, декурія, вірга, віргула, децима, центезима, мілезима — виводяться шляхом послідовного ділення на десять. Міліара під назвою морської милі (1852 м) застосовується в мореплаванні дотепер.

Національні збори Франції 8 травня 1790 р. прийняли декрет, що схвалив пропозицію Талейрана прийняти за одиницю довжини довжину секундного маятника на широті 45 град. і доручили виконання необхідних робіт Академії наук. Комісії Академії наук, до складу яких входили такі великі вчені, як Лавуазьє, Лагранж і Лаплас, висловилися за

десяткову систему підрозділів і за одиницю довжини, рівну  $1/10000000$  чверті Паризького меридіана.

Вимірювання дуги Паризького меридіана між Дюнкерком і Барселоною проводилося Мешеном і Делабром у 1792 — 1798 р. у розпал Французької революції. Конвент скасував Академію наук, «тому що при розумному уряді не повинні існувати ніякі паразитичні установи», однак визнав, що реформа мір і ваг «як одне з найбільших благодіянь революції повинна бути доведена Республікою до кінця». Успіх реформи Делабр цілком приписував революційному поривові, яким був охоплений весь народ.

У законі від 18 жерміналя III року Республіки (7 квітня 1795 р.) в одному з пунктів декрету говорилося: «Як можуть друзі рівності терпіти строкатість і незручність мір, що зберігають ще пам'ять про ганебне феодалське рабство?». Закон пропонував громадянам «дати докази своєї відданості єдності і неподільності республіки, користуючись уже тепер новими мірами у своїх розрахунках і угодах». Зупинившись на десятковій системі підрозділу одиниць, діячі реформи послідовно проводили її у розподілі доби, і в розподілі окружності.

Декрет, прийнятий 24 листопаду 1793 р., увів літочислення з 22 вересня 1792 р. — із дня установаження Французької республіки. Рік поділявся на 12 рівних місяців по 30 днів у кожному, наприкінці року додавалося 5 або 6 додаткових днів. Кожен місяць поділявся на 3 декади. Доба поділялася на 10 годин, кожна година — на 100 хвилин, кожна хвилина на 100 секунд. Республіканський календар проіснував 14 років — до 1806 р., але новий розподіл доби було припинено через два роки — у 1795 р.

Запропонований в 1782 р. Лагранжем розподіл прямого кута на 100 градусів (інакше «гонів»), граду — на 100 хвилин, хвилини — на 100 секунд дійшло до наших днів, тому що існують у невеликій кількості кутомірні прилади із сотенним розподілом, а також таблиці тригонометричних функцій кутів, виражених у градах. Цікаво відзначити, що довжина нової хвилини земного меридіана, так звана метрична миля, дорівнює одному кілометрові.

Закон від 18 жерміналя III року Республіки ввів наступні міри:

метр — одиниця довжини, що дорівнює  $1/10000000$  чверті меридіана;  
ар — одиниця площі, що дорівнює площі квадрата зі стороною 10 м;

стер — одиниця об'єму, що дорівнює об'ємові куба зі стороною 1 м;

літр — одиниця ємності для рідких і сипучих тіл, що дорівнює об'ємові куба зі стороною 0,1 м;

грам — одиниця маси, що дорівнює масі води, яка заповнює при  $0^{\circ}\text{C}$  куб з ребром 0,01 м.

Водночас були введені десяткові приставки до цих одиниць: мірія (10000, у даний час не вживається), кіло, гекто, дека, деци, санти і мілі.

Десяткова система утворення кратних і частинних одиниць; установлення тісного зв'язку між одиницями довжини, площі, об'єму і маси; визначення розміру одиниці довжини залежно від розміру земної кулі — такі три найбільш характерні риси метричних одиниць вимірювань.

9 червня 1798 р. по закінченні вимірювання дуги меридіана з ініціативи Талейрана, міністра закордонних справ Директорії, відбувся перший в історії Міжнародний науковий конгрес із представників Франції, Італії, Іспанії, Данії і Голландії для розгляду отриманих результатів. 22 червня 1799 р. в Архів Республіки були урочисто здані прототипи метра і кілограма.

На порозі XIX в. відбулася знаменна в історії метрології подія: законом від 19 фримера VIII року Республіки (10 грудня 1799 р.) тимчасове визначення довжини метра (1 м = 3 фута 11,44 ліній) було замінено остаточним (1 м = 3 фута 11,298 ліній) і був передбачений випуск медалі, «щоб передати пам'яті потомства час, коли система мір була доведена до досконалості, і операцію, що послужила їй основою, коли була легалізована і уведена у Франції (в якості обов'язкової) метрична система мір, призначена, за думкою її творців, «на усі часи, для всіх народів (*a tous les temps, pour tous les peuples*)». Однак, незважаючи на свої великі переваги, ця система не відразу була впроваджена навіть у Франції. Наполеон відносився до метричної реформи осудливо, тому що вважав, що «треба було зробити загальною для всіх провінцій систему мір і ваг м. Парижа, котру можна було б... ввести у вживання у всій Франції менш чим у рік». У 1812 р. він увів «повсякденні міри», розмір яких був зв'язаний з розмірами метричних одиниць, але ділення їх відповідали 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/3, 1/6 і 1/12 часткам. Назви повсякденних мір були старими, дометричними, що внесло значну плутанину.

Наполеон Бонапарт декретом від 12 лютого 1812 р. зв'язав метр із туазом і тим порушив десятковий принцип ділення. У 30-х роках у Франції фактично застосовувалися дві системи мір: заснована на туазі і заснована на метрі. «У Франції, — писав Е.Х.Ленц у 1839 р. — прийняті дві міри: паризький фут ..., 6 футів складають туаз (*toise*); метр (*metre*)». Лише законом від 4 липня 1837 р. метрична система мір у її первісному виді була оголошена обов'язковою для уживання у Франції з 1 січня 1840 р. Тільки після цього поширення системи за межі Франції стало скільки-небудь реальним.

## СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ

Вибір одиниць, необхідних для вимірювань усіх фізичних величин, можна зробити двома шляхами. По-перше, можна скласти набір одиниць, установлюючи кожну одиницю незалежно від всіх інших. По-друге, можна утворити систему одиниць, установлюючи незалежно тільки одиниці невеликого числа величин — так звані основні одиниці, відносячи



всі інші до розряду похідних, розмір яких закономірно зв'язаний з розмірами основних одиниць. При сучасному рівні розвитку науки і техніки другий спосіб є єдино прийнятним. Історично в хронологічному порядку найбільш відомими системами були Система Гаусса, Система Британської Асоціації, Система МКГСС, Природна система одиниць Планка, Система МТС, Міжнародна система одиниця — **Le Systeme International d'Unites**, скорочено **SI**.

Метрична система із самого початку була задумана як міжнародна. Її одиниці не збігалися ні з якими національними одиницями, а найменування одиниць і десяткових приставок були утворені від слів «мертвих» мов (латинської і давньогрецької). Метрична система мір була першою системою зв'язаних між собою одиниць довжини, об'єму, маси, площі.

Метрична система порівняно швидко поширилася в багатьох країнах світу, але необхідні були десятиліття, щоб вона була поставлена на міцну основу.

До середини дев'ятнадцятого століття у світі устоялося, принаймні, п'ять основних, можна сказати, домінуючих, досить різнорідних метричних систем (Великобританії, Німеччини, Іспанії, Росії і Франції). Таке положення справ істотно ускладнювало торговельні відносини і, нерідко, приводило як до локальних, так і до глобальних конфліктів. Усе частіше й частіше прогресивна наукова громадськість докладала зусиль для усунення сформованого положення. Стало необхідним складання міжнародної угоди про міри і ваги, а також про одиниці в метрології.

У 1870 р. у Парижі за пропозицією Петербурзької Академії наук була організована міжнародна комісія, що у 1872 р. прийняла рішення про відмовлення від визначення метра як однієї сорокамільйонної частки меридіана, „через те, що... доведено, що довжина існуючого метра помітно відрізняється від його теоретичного визначення... ". Указувалося, що для виготовлення міжнародного метра за основу повинний бути прийнятий "архівний метр у тім стані, у якому він знаходиться". Фактично здійснювався перехід від одиниць довжини і маси, заснованих на природних еталонах, до одиниць, що базуються на умовних матеріальних еталонах, і створенні платино-іридієвих прототипів. 20 травня 1875 р. на дипломатичній конференції, що проходила в Парижі, за участю 20 держав була підписана представниками 17 країн Метрична конвенція, що визначила принципи подальшого розвитку метрології в усім світі.

Згодом, 6 жовтня 1921 р., у місті Севр (Франція) була укладена Міжнародна конвенція, що вносить зміни в підписану 20 травня 1875 р. Метричну конвенцію і доданий до неї Статут. Сфера діяльності конвенції не обмежується одиницями довжини і маси, а містить у собі й одиниці електричних, магнітних, оптичних величин та ін.

Метрична конвенція є першою міжнародною угодою по науковій діяльності, і її особливе значення полягає в наступному.

По-перше, метрична конвенція створила умови для розширення і зміцнення співробітництва в справі уніфікації одиниць на основі метричної системи мір, а також в інших сферах - виробництві, торгівлі, культурному обміні.

По-друге, на основі метричної конвенції була створена перша міжнародна метрологічна установа - Міжнародне бюро мір і ваг. В той час це була перша науково-дослідна установа, що існує на внески країн, які підписали конвенцію та вели дослідження зі спільно розроблених програм.

По-третє, конвенція послужила могутнім поштовхом до поширення й удосконалювання метричної системи мір і всієї метрології. За минулий час виконано багато робіт з підвищення точності вимірювань, використанню нових досягнень фізики для відтворення одиниць, забезпеченню міжнародної єдності вимірювань, уніфікації термінології і символіки.

Поряд з величезним міжнародним значенням, метрична конвенція вплинула на постановку та вирішення національних метрологічних задач, сприяючи розвитку метрології і тим самим науково-технічному прогресові в окремих країнах.

В даний час до метричної конвенції належать 48 держав-членів, однак практично всі країни світу офіційно повідомили, що вони використовують метричну систему.

Метрична конвенція стала першою офіційною міжнародною домовленістю в області метрології, спрямованої на забезпечення єдності одиниць вимірювання й еталонів.

У 1954 р. X Генеральна конференція по мірах і вагам затвердила резолюцію, відповідно до якої встановлювалися основні одиниці практичної системи одиниць, що повинні охоплювати всі галузі науки і техніки, бути основою для утворення похідних одиниць, забезпечувати зручність для практичних вимірювань і відтворюватися за допомогою установок і еталонів з найвищою точністю.

У жовтні 1960 року в Парижі відбулася XI Генеральна конференція по мірах і вагам. Конференція прийняла нові визначення таких основних одиниць як метр і секунда і затвердила нову систему одиниць - SI. У серпні 1961 року в Радянському Союзі була введена "Міжнародна система одиниць", що російською скорочено позначалася буквами СИ. Подальші уточнення SI перетерпіла в 1983 р. і з тих пір залишається без змін.

Законодавчий характер метрології обумовлює стандартизацію її термінів і визначень. Даючи характеристику метрологічним поняттям і термінам, необхідно ясно усвідомлювати, що ж загалом представляють собою слова «поняття» і «термін», тому що строго визначеного

формулювання цих слів дотепер немає. У той же час у філософських роботах, словниках, енциклопедіях надаються їхні визначення.

**Поняття** — відображення у свідомості загальних, істотних сторін предмета. Поняття передаються шляхом слів або сполучень слів. Є й інше визначення: поняття — форма мислення, що відбиває істотні властивості, зв'язки і відносини предметів і явищ.

**Термін** — слово або словосполучення, що точно позначає визначене поняття або його співвідношення з іншими поняттями в науці, техніці або іншій області. Термін має також і інше визначення — це слово або сполучення слів, уживаних з відтінком спеціального наукового значення.

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

**Одиниця фізичної величини** — фізична величина, якій по визначенню надано значення, що дорівнює одиниці.

Одиниці фізичної величини представляють собою допоміжний апарат, який застосовується при вивченні об'єктів природи. Принципово можна представити нескінченну безліч одиниць фізичних величин. Але практика висуває вимогу єдності вимірювань, яку можна забезпечити при будь-якій системі одиниць, причому для зіставлення результатів вимірювань без перерахувань (при переході від однієї системи одиниць до іншої) необхідно, щоб результати вимірювань виражалися в узаконених одиницях.

**Єдність вимірювань** — стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі із заданою ймовірністю та не виходять за встановлені границі. Як ясно з визначення, це поняття містить не тільки виконання умови єдності використовуваних одиниць фізичних величин, але і значення похибки вимірювань, відомих із заданою ймовірністю.

Навіщо потрібна Міжнародна система вимірювань фізичних величин і як вона побудована? Одиниці підрозділяються на основні і похідні. Всі основні одиниці SI узяті з природи, це природні еталони. В даний час SI містить у своїй основі сім основних (еталонних) одиниць і дві додаткові.

Раніше одиниці вимірювань визначалися зразковими, еталонними тілами, що зберігалися в Міжнародному бюро мір і ваг у Парижі і дуже точними їхніми копіями, що зберігалися в національних палатах. У Росії ці еталони зберігалися в палаті мір і ваг у Санкт-Петербурзі. Але з часом, по мірі розвитку наших уявлень про природу переглядалися й еталони фізичних величин.

1. Фізична величина – довжина (*length*), позначення  $L$ , одиниця фізичної величини – метр (*meter*), скорочені позначення - м і  $m$ .

Так спочатку в 1791 році при введенні метричної системи метр був визначений як одна десятиміліонна частина чверті паризького меридіана. У 1799 році на основі вимірювань частини дуги меридіана був виконаний еталон метра у вигляді платинової кінцевої міри. У 1889 році I Генеральна конференція по мірах і вагам затвердила платиноіридієвий штриховий еталон метра як міжнародний прототип метра.

У 1872 р. одиниця довжини втратила характер природної одиниці. Однак ще в 1827 р., у рік торжества хвильової теорії світла, французький фізик Бабіну запропонував як одиницю довжини "довжину хвилі світла натрію, що відповідає жовтій лінії, яка виділяється спектроскопом".

Максвелл у 1870 р., геніально передбачаючи шляхи наукового прогресу, запропонував одиницею довжини вважати довжину деякої визначеної світлової хвилі у вакуумі; одиницею часу — період коливань тієї ж світлової хвилі, що визначає одиницю довжини; одиницею маси — масу окремої молекули конкретної речовини. Програма, намічена Максвеллом, але дотепер ще не цілком перетворена в життя, почала здійснюватися в 1892 —1893 р., коли Майкельсон у Бенуа уперше визначив відношення довжини метра до довжини хвилі червоної лінії в спектрі кадмію. З огляду на те, що ніяке удосконалення платиноіридієвого прототипу метра не дозволяє підвищити його точність вище досягнутої в 0,1 мкм, і, маючи можливість вибрати довжину хвилі випромінювання атома як природний еталон довжини, що дає точність відтворення майже на два порядки більше, XI Генеральна конференція по мірах і вагам у 1960 р. прийняла визначення метра через довжину помаранчевої лінії в спектрі кріптонію:

**метр** є довжина, яка дорівнює 1 650 763,73 довжин хвиль у вакуумі випромінювання, що відповідає переходові між рівнями  $2p_{10}$   $5d_5$  атома кріптонію 86. Випромінювання кріптонію-86 одержують, пропускаючи електричний струм через трубку з розрідженим кріптоном (тиск декілька мілібар); його помаранчеве випромінювання з довжиною хвилі  $6057,8021 \cdot 10^{-10}$  м виділяють зі спектра призмою. Щоб випромінювання було більш однорідним (монохроматичним), при розряді підтримують строго визначену силу струму, а трубку з кріптоном, що світиться, поміщають у судину з рідким азотом при температурі 73,3 К (-199,8°C). Однак за рішенням, прийнятим XVII Генеральною конференцією по мірах і вагам у 1983 р., затверджене нове визначення метра, що дозволяє не тільки обійтися без проміжних еталонів, але і значно збільшити точність вимірювань.

Сучасне визначення: **Метр** дорівнює відстані, що проходить плоска електромагнітна хвиля у вакуумі за  $1/299792458$  частку секунди.

2. Фізична величина – маса (**mass**), позначення  $M$ , одиниця фізичної величини – кілограм (**kilogram**), скорочені позначення - кг і  $kg$ . Одиниця вимірювання маси, зафіксована I Генеральною конференцією по мірах і вагам у 1889 р., не зазнала з тих пір змін.

Сучасне визначення одиниці маси – **Кілограм дорівнює масі міжнародного прототипу кілограма – платиноіридієвого циліндра висотою 39 мм і діаметром 39 мм.**

Найбільш складною задачею в даний час є застосування природного еталона кілограма, тому що це єдиний еталон, отриманий з фізичного прототипу (а не з природної величини або явища). Однак немає сумніву, що при сучасних темпах наукового прогресу і ця задача буде незабаром вирішена.

3. Фізична величина – час (**time**), позначення  $T$ , одиниця фізичної величини – секунда (**second**), скорочені позначення - с і  $s$ .

У XVIII столітті секунда визначалася як  $1/86400$  частина середньої сонячної доби, однак виявилось, що обертання Землі зазнає нерегулярні коливання. З 1872 року по 1903 рік середня тривалість доби збільшилася на 0,007 секунди, з 1903 по 1934 рік вона зменшилася на 0,005 секунди, а потім почала знову зростати. Таким чином, середня доба може бути визначена лише з точністю до  $10^{-7}$ , що недостатньо для використання її як еталона при розвитку сучасної техніки.

XI Генеральна конференція по мірах і вагам запропонувала зв'язувати визначення секунди не з обертанням Землі навколо своєї осі, як робилося раніше, а з рухом Землі по орбіті навколо Сонця. Як еталон часу приймається тривалість тропічного року, тобто проміжок часу між двома послідовними весняними рівноденнями. Відповідно до нового визначення, секунда є  $1/31556925,9747$  частиною тропічного року для 1900 року січня 0 у 12 годин ефемеридного часу. Ефемеридним часом називається час, по якому обчислюють ефемериди – координати небесних тіл, які установлені за результатами астрономічних спостережень і не залежать від коливань швидкості обертання Землі.

Однак це визначення теж проіснувало нетривалий час. Подальше збільшення точності вимірювань часових процесів змусило вчених перейти до більш стабільного і точно обмірюваного атомного еталону часу, що і було зафіксовано XIII Генеральною конференцією по мірах і вагам у 1967-1968 р.

Сучасне визначення одиниці часу - **Секунда дорівнює  $9192631770$  періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію 133.**

Створення молекулярного аміачного еталона й атомного цезієвого еталона секунди свідчить про наближення до введення природного еталона, не зв'язаного з рухом земної кулі.

4. Фізична величина – сила електричного струму (**electric current**), позначення  $I$ , одиниця фізичної величини – ампер (**ampere**), скорочені позначення - А и  $A$ . Одиниця вимірювання прийнята ІХ Генеральною конференцією по мірах і вагам у 1948 р.

Сучасне визначення одиниці сили електричного струму – **Ампер** дорівнює силі струму, що не змінюється, який при проходженні по двох рівнобіжних провідниках нескінченної довжини і мізерно малої площини кругового поперечного переріза, розташованих у вакуумі на відстані 1 м один від іншого, викликав би на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, яка дорівнює  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

5. Фізична величина – термодинамічна температура (**temperature**), позначення  $\Theta$ , одиниця фізичної величини – кельвін (**kelvin**), скорочені позначення - К и  $K$ . Одиниця вимірювання прийнята ХІІІ Генеральною конференцією по мірах і вагам у 1967 р.

Сучасне визначення одиниці термодинамічної температури – **Кельвін** дорівнює  $1/273,16$  частини термодинамічної температури потрійної точки води.

6. Фізична величина – сила світла (**luminous intensity**), позначення  $J$ , одиниця фізичної величини – кандела (**candela**), скорочені позначення - кд і  $cd$ .

А от одиниця сили світла в російській системі SI навіть змінила свою назву. Раніше (до 1970 р.) вона називалася *свіча* – і визначалася як значення одиниці сили світла, що випромінюється чорним тілом перпендикулярно поверхні площею  $1/60$  см<sup>2</sup> при температурі затвердіння платини 2042,5 К і при нормальному тиску 101325 Па. Нове визначення прийняте ХVІ Генеральною конференцією по мірах і вагам у 1979 р.

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

7. Фізична величина – кількість речовини (**amount of substance**), позначення  $N$ , одиниця фізичної величини – моль (**mole**), скорочені позначення - моль і  $mol$ .

На сесії Міжнародного комітету мір і ваг у жовтні 1969 р. і на ХІV Генеральній конференції по мірах і вагам у жовтні 1971 р. було вирішено включити до складу основних одиниць SI сьому одиницю – моль як одиницю кількості речовини.

Сучасне визначення одиниці кількості речовини – **Моль** дорівнює кількості речовини системи, що містить стільки ж структурних елементів, скільки міститься атомів у вуглеці 12 масою 0,012 кг.

Поряд із сьомою основними одиницями SI прийнято ще користуватися двома додатковими одиницями, досить корисними для рішення

фізичних задач, але приналежних скоріше до такої науки як геометрія, чим фізика. Мова йде про радіан і стерадіан.

Фізична величина – плоский кут (**plane angle**), позначення  $\Omega$ , одиниця фізичної величини – радіан (**radian**), скорочені позначення – рад і *rad*.

Одиниця плоского кута – **Радіан** дорівнює кутові між двома радіусами окружності, довжина дуги між якими дорівнює радіусу.

Фізична величина – тілесний кут (**solid angle**), позначення  $\Omega$ , одиниця фізичної величини – стерадіан (**steradian**), скорочені позначення – ср і *sr*.

Одиниця тілесного кута – **Стерадіан** дорівнює тілесному куту з вершиною в центрі сфери, що вирізує на поверхні сфери площину, що дорівнює площині квадрата зі стороною, рівною радіусу сфери.

Похідні одиниці SI утворюються на підставі законів, що встановлюють зв'язок між фізичними величинами, або на підставі прийнятих визначень відповідних величин. У загальному випадку для кожної фізичної величини її розмірність може бути записана з використанням величин, одиниці яких попередньо встановлені. Для системи SI таких величин (основних) сім : у механіці це довжина ( $L$ ), маса ( $M$ ), час ( $T$ ); вивчення термодинаміки приводить до необхідності використання температури ( $\Theta$ ); в електродинаміці і фотометрії використовують силу електричного струму ( $I$ ), силу світла ( $J$ ); в області фізичної хімії і молекулярної фізики - кількість речовини ( $N$ ). Вираз, що відображає залежність даної похідної величини від основних величин, у якому коефіцієнт пропорційності прийнятий рівним одиниці, називається **розмірністю** фізичної величини. Вона є собою добутком основних величин, зведених у відповідні ступені, що показують, у скільки разів збільшується або зменшується значення похідної величини при зміні значень основних величин. Для розмірності величин уведене позначення **dim** (скорочено від англ. **dimension** – розмірність, розмір). Таким чином, формула розмірності похідної одиниці має вигляд

$$[z] = \dim z = L^\alpha M^\beta T^\gamma \Theta^\varepsilon I^\eta J^\lambda N^\zeta, \quad (1.1)$$

де  $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \eta, \lambda, \zeta$  – показники ступеня, що називаються розмірностями похідних величин щодо відповідних основних одиниць. Якщо фізична величина не залежить від жодної з основних величин, то вона називається безрозмірною величиною. Для того, щоб одержати формулу розмірності якої-небудь похідної одиниці, треба у визначальне рівняння підставити розмірності всіх одиниць фізичних величин, що входять у нього і зробити необхідні математичні операції. Приведемо приклади встановлення розмірності деяких похідних величин.

**ПРИКЛАД 1. Сила  $F$  (вага  $G$ )** уводиться на основі другого закону Ньютона

$$F = ma,$$

де  $m$  - маса тіла,  $a$  - прискорення. Припускаючи в цьому співвідношенні  $m = 1$  кг,  $a = 1$  м/с<sup>2</sup>, одержимо: 1 одиниця сили = (1 кг)•(1 м/с<sup>2</sup>) = 1 кг•м/с<sup>2</sup>. Розмір одиниці дорівнює (1 кг)•(1 м):(1 с)<sup>2</sup>. Найменування цієї одиниці «ньютон» і «*newton*», скорочені позначення Н и *N*. Ньютон — сила, що надає тілу з масою 1 кг прискорення 1 м/с<sup>2</sup> у напрямку дії сили. Розмірність одиниці сили (***unit of force or gravity***)

$$[F] = [m] \cdot [a] = LMT^{-2}.$$

**ПРИКЛАД 2. Тиск  $P$  і механічне напруження ( $\sigma$  - нормальне,  $\tau$  - дотичне)** визначаються зі співвідношення

$$P = \frac{F}{S},$$

де  $F$  - сила,  $S$  - площа, на яку діє сила. Припускаючи в співвідношенні  $F = 1$  Н,  $S = 1$  м<sup>2</sup>, одержимо: 1 одиниця тиску (напруження) = (1 Н):(1 м<sup>2</sup>) = 1 Н/м<sup>2</sup>. Розмір одиниці дорівнює (1 Н):(1 м)<sup>2</sup>. Найменування цієї одиниці «ньютон на квадратний метр» (або «паскаль» і «*pascal*»), а скорочені позначення Н/м<sup>2</sup>, або Па, і *N/m<sup>2</sup>*, або *Pa*. Ньютон на квадратний метр — тиск (напруження), викликаний дією сили 1 Н, рівномірно розподіленої по поверхні площею 1 м<sup>2</sup>. Розмірність одиниці тиску (напруження) (***unit of pressure or stress***)

$$[P] = \frac{[F]}{[S]} = L^{-1}MT^{-2}.$$

**ПРИКЛАД 3. Електричний опір  $R$**  визначається з рівняння

$$R = \frac{U}{I},$$

де  $U$  - електрична напруга,  $I$  - сила струму. Припускаючи в цьому співвідношенні  $U = 1$  В,  $I = 1$  А, одержимо: 1 одиниця електричного опору = (1 В):(1 А). Розмір цієї одиниці (1 В):(1 А). Найменування цієї одиниці «ом» і «*ohm*», скорочені позначення Ом і  $\Omega$ . Ом — опір провідника, між кінцями якого при силі струму 1 А виникає напруга 1 В. Розмірність одиниці електричного опору (***unit of electric resistance or impedance***)

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = L^2MT^{-3}I^{-2}.$$



#### ПРИКЛАД 4. Освітленість $E$ визначається з рівняння

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

де  $\Phi$  - світловий потік,  $S$  - освітлювана площа. Припускаючи  $\Phi = 1$  лм,  $S = 1 \text{ м}^2$ , одержимо: 1 одиниця освітленості =  $(1 \text{ лм}) \cdot (1 \text{ м}^2)$ . Розмір цієї одиниці  $(1 \text{ лм}) \cdot (1 \text{ м})^2$ . Найменування цієї одиниці «люкс» і «**lux**», скорочені позначення лк і *lx*. Люкс – освітленість, створювана світловим потоком у 1 лм, рівномірно розподіленим по площі  $1 \text{ м}^2$ . Розмірність одиниці освітленості (**unit of illuminance**)

$$[E] = \frac{[\Phi]}{[S]} = L^{-2} J \Omega.$$

Використовується також одиниця освітленості «фот» і «**phot**», скорочені позначення ф і *ph*:  $1 \text{ ф} = 10^4 \text{ лк}$ .

Окремо варто виділити позасистемні одиниці (по відношенню до одиниць SI) фізичних величин, тобто не вхідні в прийняту систему одиниць, і які можна розділити на наступні групи:

- 1) допускаються нарівні з одиницями SI (наприклад, для часу – хвилина, година, доба; для площі – гектар; для об'єму – літр);
- 2) допускаються до застосування в спеціальних областях (наприклад, у фізиці й астрономії для сили – дина, для кінематичної в'язкості – стокс);
- 3) допускаються тимчасово (наприклад, для тиску – кілограм-сила на квадратний сантиметр; для потужності – кінська сила);
- 4) застарілі (неприпустимі) (для довжини – сажень, верста; для площі – десятина; для об'єму – відро, бочка).

Розмір похідних одиниць звичайно виражається через розмір основних або інших похідних одиниць, що уже визначені. Розмірність похідних одиниць завжди виражається через розмірність основних одиниць. Найменування одиниць представляють їхні словесні позначення. Якщо похідна одиниця має загальноприйняте і розповсюджене в міжнародному масштабі найменування, то приводиться воно (наприклад, ньютон, джоуль, ват, кулон, ом та ін.). Якщо розмір похідної одиниці визначається як частка від ділення розміру однієї одиниці на розмір іншої, найменування одиниці записується через уведення прийменника «на».

У випадку, коли розмір похідної одиниці виражається як частка від ділення будь-якої одиниці на одиницю часу, що є характеристикою протікання явища в часі, найменування одиниці записується через прийменник «у».

Якщо частка від ділення на одиницю часу не є величиною, що характеризує протікання процесу в часі, то застосовується прийменник

«на». Прикладом цього є найменування одиниці кінематичної в'язкості — «квадратний метр на секунду».

Через прийменник «на» записується також найменування одиниць, розмір яких виражається часткою від ділення розміру будь-якої одиниці на квадрат розміру одиниці часу. Наприклад, одиниця прискорення, що має розмір  $(1 \text{ м}):(1 \text{ с}^2)$ , називається «метр на секунду в квадраті».

Якщо в розмір якої-небудь складної похідної одиниці входить добуток однієї одиниці на іншу, найменування цих одиниць включається в найменування похідної одиниці і записується через дефіс. Наприклад, одиниця динамічної в'язкості, що має розмір  $(1 \text{ Н}) \bullet (1 \text{ с}):(1 \text{ м}^2)$ , називається «ньютон-секунда на квадратний метр».

У найменуваннях похідних одиниць, утворених як добуток одиниць, відмінюється тільки останнє найменування і прикметник, який відноситься до нього, «квадратний» або «кубічний». При відмінюванні найменувань одиниць, що містять знаменник, змінюється тільки частина, що відповідає чисельникові.

Прикметники «квадратний» або «кубічний» застосовуються в найменуваннях одиниць площі або об'єму (квадратний сантиметр, кубічний міліметр), а також у тих випадках, коли одиниця площі або об'єму входить у похідну одиницю іншої величини (одиниця тиску і напруження — ньютон на квадратний метр, одиниця об'ємної витрати — кубічний метр за секунду).

У тих випадках, коли другий або третій ступінь довжини не є площею або об'ємом, то в найменуванні одиниці замість слів «квадратний» або «кубічний» рекомендується застосовувати вираження «у квадраті», «у третьому ступені».

Крапка, як знак скорочення, застосовується тільки в тому випадку, коли скорочуються слова, що входять у найменування одиниці, але самі не є найменуваннями одиниць, Наприклад: мм рт. ст. (міліметр ртутного стовпа), к.с. (кінська сила).

Допускається представлення одиниці у виді добутку скорочених позначень одиниць, зведених у додатні та від'ємні ступені. Позначення одиниць по відмінках і числам не змінюються.

Правилам запису скорочених позначень найменувань одиниць потрібно надавати серйозного значення. У деяких випадках, здавалося б, незначний відступ від цих правил може привести до грубих помилок. Особливо часто такі помилки виникають при записі скорочених найменувань складних одиниць.

Згідно з цими правилами, обов'язково потрібно ставити знак множення (крапку) у скороченому позначенні одиниці, що виражається через добуток інших одиниць. Наприклад, запис «Н•м» означає «ньютон-метр», у той час як «нм» читається як «нанометр». Якщо складна одиниця виражається через відношення інших одиниць, у скороченому

позначенні потрібно застосовувати знаки ділення «/». У тих випадках, коли як знак ділення використовується коса риска, а знаменник складається з декількох співмножників, потрібно весь знаменник узяти в дужки. Це виключає виникнення різних тлумачень змісту скороченого позначення одиниці. Наприклад, одиниця коефіцієнта теплопровідності записується у вигляді «1 Вт/(м•К)». Запис у вигляді «1 Вт/м•К» приводить до помилкового розуміння зазначеного запису.

Велике практичне значення має також і дотримання наступних правил. Позначення одиниць у рядок з формулами, що виражають залежності між величинами, не пишуться, а містяться тільки в рядок з числовими значеннями величин.

У випадку наявності десяткового дробу в числовому значенні величини позначення одиниці потрібно поміщати після всіх цифр, наприклад: 728,05 м (728,05 *m*); —250,27°С; 5,758° (5°45'28,8").

Якщо необхідно вказати значення фізичних величин з допусками або перелічити декілька їхніх значень, варто приводити позначення одиниці не після кожного значення, а один раз і без дужок.

Завершуючи тему похідних одиниць, треба нагадати, що іменні величини – ньютон, ватт, джоуль та ін. (на честь видатних вчених) – у скороченому вигляді записуються з великої літери – Н, Вт, Дж.

Кратні та часткові одиниці вимірювань утворюються від вихідної одиниці множенням або діленням на ступінь числа 10.

Найменування приставки (позначення)					Множник	Найменування множника
Українське		Російське		Лат		
йотта	-	йотта	І	Y	$10^{24} = 1000000000000000000000000$	септильйон
зетта	-	зетта	З	Z	$10^{21} = 100000000000000000000000$	секстильйон
екса	Э	екса	Э	E	$10^{18} = 10000000000000000000000$	квінтильйон
пета	П	пета	П	P	$10^{15} = 1000000000000000000000$	квадрильйон
тера	Т	тера	Т	T	$10^{12} = 1000000000000000000000$	трильйон
гіга	Г	гига	Г	G	$10^9 = 1000000000$	мільярд
мега	М	мега	М	M	$10^6 = 1000000$	мільйон
мірія	ма	мириа	ма	ma	$10^4 = 10000$	міріад
кіло	до	кило	до	k	$10^3 = 1000$	тисяча
гекто	г	гекто	г	h	$10^2 = 100$	сто
дека	так	дека	так	da	$10^1 = 10$	десять
					$10^0 = 1$	одиниця
деци	д	деци	д	d	$10^{-1} = 0,1$	одна десята
санти	с	санти	с	c	$10^{-2} = 0,01$	одна сота
мілі	м	милли	м	m	$10^{-3} = 0,001$	одна тисячна
мірію	мо	мирио	мо	mo	$10^{-4} = 0,0001$	одна мириадная
мікро	мк	микро	мк	μ	$10^{-6} = 0,000001$	одна мільйонна
нано	н	нано	н	n	$10^{-9} = 0,000000001$	одна мільярдна
піко	п	пико	п	p	$10^{-12} = 0,000000000001$	одна трильйонна
фемто	ф	фемто	ф	f	$10^{-15} = 0,000000000000001$	одна квадрильйонна
атто	а	атто	а	a	$10^{-18} = 0,000000000000000001$	одна квінтильйонна
цепто, зепто	-	цепто, зепто	з	z	$10^{-21} = 0,000000000000000000001$	одна секстильйонна
йокто	-	йокто	і	y	$10^{-24} = 0,00000000000000000000001$	одна септильйонна

Перші приставки були введені в 1793-1795 р. у Франції водночас з першими кроками по створенню метричної системи мір. Було прийнято для кратних одиниць найменування приставок брати з грецької мови (**кіло, гекто, дека**), для часткових – з латинського (**деци, санти, мілі**). В наступні роки число кратних і часткових приставок збільшилося; найменування приставок були запозичені і з інших мов. У 1975 р. були прийняті ще дві приставки – **пета** і **екса**. Останніми (на сьогоднішній день) були прийняті приставки **йотта, зетта** (кратні одиниці) і **целто, йокто** (часткові одиниці), які можна вважати специфічними та для використання в основному в різних галузях науки. Приставки **міріа** і **міріо** вийшли з уживання.

екса	Від грец. <b>hex</b> - шість, що відповідає шести розрядам по $10^3$
пета	Від грец. <b>peta</b> - п'ять, що відповідає п'ятьом розрядам по $10^3$
тера	Від грец. <b>tera, teratos</b> – величезний, дивовижний
гіга	Від грец. <b>gigas, gigantos</b> – велетень
мега	Від грец. <b>megas</b> – великий
міріа	Від грец. <b>myrias</b> , род. відминик <b>myriados</b> – десять тисяч
кіло	Від грец. <b>chiloi</b> – тисяча, або фран. <b>kilo</b> - тисяча
гекто	Від грец. <b>hekaton</b> – сто
дека	Від грец. <b>deka</b> – десять
деци	Від латин. <b>decem</b> – десять
санти	Від латин. <b>centum</b> – сто
мілі	Від латин. <b>mille</b> – тисяча
міріо	Від грец. <b>myrias</b> , род. відминик <b>myriados</b> – десять тисяч
мікро	Від грец. <b>mikros</b> – малий, маленький
нано	Від грец. <b>nanos</b> – карлик
піко	Від італ. <b>piccolo</b> – невеликий, дрібний, або исп. <b>pico</b> – мала величина
фемто	Від датск. <b>femten</b> - п'ятнадцять
атто	Від датск. <b>atten</b> - вісімнадцять

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що є основними напрямками метрології?
2. Що є основною причиною переходу до метричної системи одиниць?
3. Які принципи покладено в основу метричної системи?
4. Дайте визначення поняттям фізична величина, одиниця фізичної величини.
5. Які фізичні величини, їхні одиниці є основними в системі SI?
6. Яка різниця між основною та похідною фізичною величиною?
7. Поясніть формулу розмірностей похідної фізичної величини.
8. Як визначаються розмірності похідної фізичної величини?
9. Які існують правила написання розмірностей похідної фізичної величини?
10. Назвіть десяткові кратні та частинні приставки системи SI.

## **ЛЕКЦІЯ 2. ОПЕРАЦІЇ ВИМІРЮВАНЬ І СПОСОБИ ЇХНЬОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ. КЛАСИФІКАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ. МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ.**

У процесі практичної діяльності людині доводиться порівнювати між собою розміри фізичних величин. Ці порівняння для різних фізичних величин можуть здійснюватися чотирма різними способами, по чотирьох різних шкалах: найменувань, порядку, інтервалів і відносин.

### ***Порівняння за шкалою найменувань.***

Це найпростіша з усіх шкал. У ній числа виступають у ролі ярликів і служать для виявлення і розрізнення досліджуваних об'єктів. Числа, що складають шкалу найменувань, дозволяється змінювати місцями. У цій шкалі немає відносин за принципом «більше - менше», тому існує думка, що застосування даної шкали не можна вважати вимірюванням як таким. При використанні даної шкали можуть здійснюватися деякі математичні операції, наприклад, її числа не можна додавати і віднімати, але можна підрахувати, скільки разів (як часто) зустрічається те або інше число.

### ***Порівняння за шкалою порядку.***

Це порівняння розмірів фізичних величин за принципом «більше - менше», без з'ясування, на скільки або в скільки разів один розмір більше іншого. Розташовані в порядку зростання (ранжиру) різні розміри однієї і тієї ж фізичної величини утворюють шкалу порядку.

Визначені точки на шкалі порядку фіксуються як опорні (реперні), що виражаються, як правило, у балах. По реперних шкалах порівнюються, наприклад, інтенсивність землетрусів, сила морського хвилювання, рівень знань, чутливість фотоплівки тощо.

Недолік шкали порядку - невизначеність інтервалів між реперними точками. Тому з балами не можна робити математичних операцій (додавати, віднімати, поділяти, множити).

### ***Порівняння за шкалою інтервалів.***

Шкала інтервалів відрізняється від шкали порядку тим, що вона складена з рівних, строго визначених інтервалів.

Прикладом шкали інтервалів є шкала часу, шкала температури. У першому випадку час порівнюється по шкалі, яка розбита на інтервали, що дорівнюють періодові обертання Землі навколо Сонця (літочислення). Ці інтервали поділяються на більш дрібні (доба), що дорівнюють періодові обертання Землі навколо своєї осі. Доба поділяється на години, години - на хвилини, хвилини - на секунди тощо.

При порівнянні температур користуються шкалами, які одержані шляхом пропорційного ділення інтервалу між двома реперними точками. Так, у температурній шкалі Цельсія один градус є сотою частиною інтервалу між температурою танення льоду, прийнятої за початок

відліку, і температурою кипіння води. Структура шкали інтервалів не змінюється при лінійному перетворенні у вигляді  $x' = ax + b$ ,  $a > 0$ . Це перетворення зміщає початок на  $b$  одиниць і змінює одиницю перетворення в  $a$  рази. Як приклад розглянемо перетворення

$$^{\circ}C = \frac{5}{9} (^{\circ}F - 32) \text{ і } ^{\circ}F = \frac{9}{5} ^{\circ}C + 32,$$

де  $^{\circ}C$  - температура в градусах Цельсія,  $^{\circ}F$  - температура за Фаренгейтом. Відповідно зазначені перетворення переводять шкалу Фаренгейта в шкалу Цельсія і навпаки.

По шкалі інтервалів можна вже судити не тільки про те, що один розмір більше іншого, але і про те, на скільки більше, тобто для шкали інтервалів визначені такі математичні дії як додавання і вирахування.

Таким чином, для шкали інтервалів відомим є масштаб шкали, а початок відліку може бути обрано довільно, тому недоліком шкал інтервалів є те, що по них неможливо визначити відношення між різними розмірами.

#### ***Порівняння за шкалою відносин.***

У шкалах відносин у якості однієї з реперних точок приймають таку, у якій розмір фізичної величини дорівнює нулеві. Прикладом може служити температурна шкала Кельвіна  $K = ^{\circ}C + 273,15$ , що є абсолютною шкалою Цельсія. У ній за початок відліку прийнята температура, при якій припиняється тепловий рух молекул. За таким самим принципом побудована температурна шкала Ренкіна  $^{\circ}R = ^{\circ}F + 460$ , що є абсолютною шкалою Фаренгейта.

Шкала відносин є найбільш досконалою з усіх розглянутих шкал. На ній визначене найбільше число математичних операцій: додавання, вирахування, ділення, множення.

Отже, від порівняння розмірів фізичних величин за шкалою порядку, ми перейшли до порівняння їх за шкалами інтервалів і відносин, що припускають розбивку шкали на деякі ***одиничні інтервали***.

У результаті порівняння за шкалами інтервалів і відносин ми одержуємо *оцінку* розміру фізичної величини у виді деякого числа прийнятих для неї одиниць, що зветься *значенням* фізичної величини.

***Вимірювання фізичної величини - сукупність операцій по застосуванню технічного засобу, який зберігає одиницю фізичної величини, що полягають у порівнянні (у явному або неявному вигляді) вимірюваної величини з її одиницею з метою одержання значення цієї величини (або інформації про неї) у формі, найбільш зручної для використання.***

Згідно з Законом України „Про метрологію та метрологічну діяльність” ***вимірювання – відображення фізичних величин їх значеннями***

за допомогою експерименту та обчислень, із застосуванням спеціальних технічних засобів.

Таким чином, сутність вимірювання складається в порівнянні двох фізичних величин: **вимірюваної**, котра виражає цікавлячу нас особливість досліджуваного об'єкта і **відомої**, котра властива спеціально створеному об'єктові, що називається **мірою** (Рис. 2.1). Операція порівняння здійснюється за допомогою засобу вимірювання. У результаті вимірювання одержують одне значення відліку  $q$ , що використовується для одержання єдиного значення  $Q$  засобу вимірювань, що має ту ж розмірність, що і вимірювана величина, і зв'язані залежністю

$$Q = q[Q], \quad (2.1)$$

де  $Q$  — вимірювана фізична величина,  $q$  - числове значення величини,  $[Q]$  - одиниця вимірювання. Це основне рівняння вимірювання.

### Властивості об'єкта

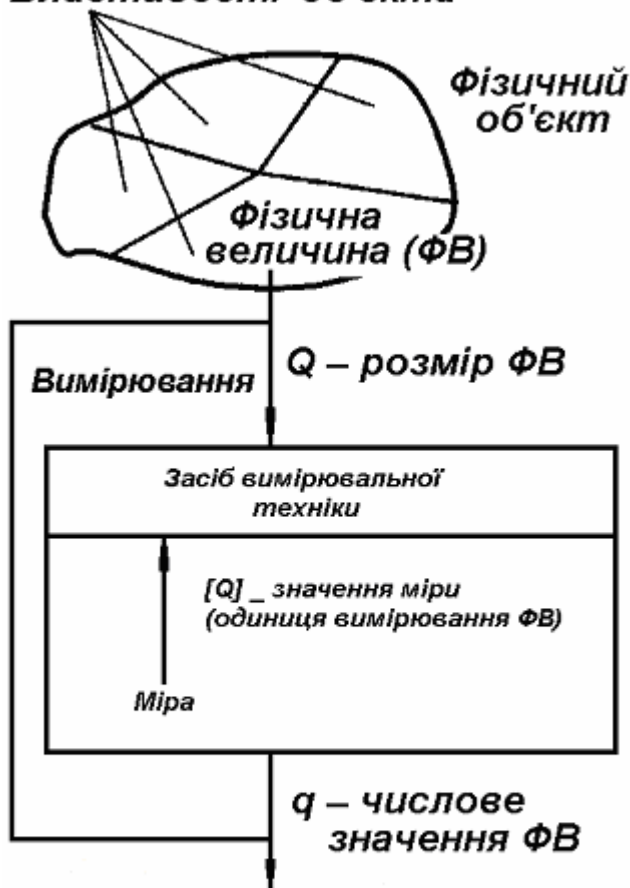


Рисунок 2.1.

Так, у найпростішому випадку, прикладаючи лінійку з розподілами до якої-небудь деталі, порівнюють її розмір з одиницею, збереженою лінійкою, і, зробивши відлік, одержують **значення величини** (довжини, висоти, товщини й інших параметрів деталі). За допомогою вимірювального приладу порівнюють розмір величини, перетвореної в переміщення покажчика, з одиницею, збереженою шкалою цього приладу. У вимірювальному каналі вимірювальної системи також виконується порівняння зі збереженою одиницею, при цьому нерідко воно може відбуватися в закодованому вигляді.

Приведене визначення поняття вимірювання задовольняє загальному рівнянню вимірювань, що має істотне значення в справі упорядкування системи понять у метрології. У

ньому врахована технічна сторона (сукупність операцій), розкрита метрологічна суть вимірювання (порівняння з одиницею) і показаний

гносеологічний аспект (одержання значення величини **або** інформації про нього).

Однак, щоб назвати вимірюваннями фізичної величини зазначену у визначенні сукупність операцій, необхідно створити ряд умов. Такими умовами є:

- можливість виділення вимірюваної величини серед інших величин;
- можливість встановлення одиниці, необхідної для вимірювання виділеної величини;
- можливість матеріалізації (відтворення або збереження) встановленої одиниці технічним засобом;
- можливість збереження незмінним розміру одиниці (у межах установленої точності) як мінімум на термін, необхідний для вимірювань.

Від терміна «вимірювання» походить термін «вимірювати», яким широко користуються на практиці. Усе-таки нерідко застосовуються невірні терміни, такі як «міряти», «обміряти», «заміряти», «проміряти», що не вписуються в систему метрологічних термінів. Їх застосовувати не слід.

Не слід також застосовувати такі вираження як «вимірювання значення» (наприклад, миттєвого значення напруги або його середнього квадратичного значення), тому що значення величини - це вже результат вимірювання.

Вимірювання традиційно розділяються за багатьма класифікаційними ознаками. Розглянемо одну з багатьох серед існуючих різновидів класифікації за найбільш істотними традиційними ознаками (Рис. 2.2).

Класифікація по **вимірюваних фізичних величинах** — найбільш громіздка, оскільки в даний час їх існує більш 2000. Найбільше детально розроблена класифікація такого роду містить п'ять ступіней: **області, види, галузі, підвиди і різновиди**.

**Області вимірювань** відповідають розділам фізики (механіка, оптика, електрика і т.д.).

**Види вимірювань** визначаються безпосередньо вимірюваними величинами (вимірювання температури, швидкості, обсягу, маси і т.п.).

**Галузі** розмежовують види по діапазонах вимірювань (наприклад, низькі, високі, середні температури, частоти, потужності і т.д.).

**Підвиди** розмежовують види вимірювань у залежності від особливостей об'єкта досліджень (наприклад, вимірювання відстаней в астрономії, під водою, товщини плівок, шорсткості і т.д.).

**Різновиди** - поділ підвидів на підмножини в залежності від вимірюваного параметра. Наприклад, для вимірювання напруги електричного струму розрізняють вимірювання постійних і перемінних напруг.



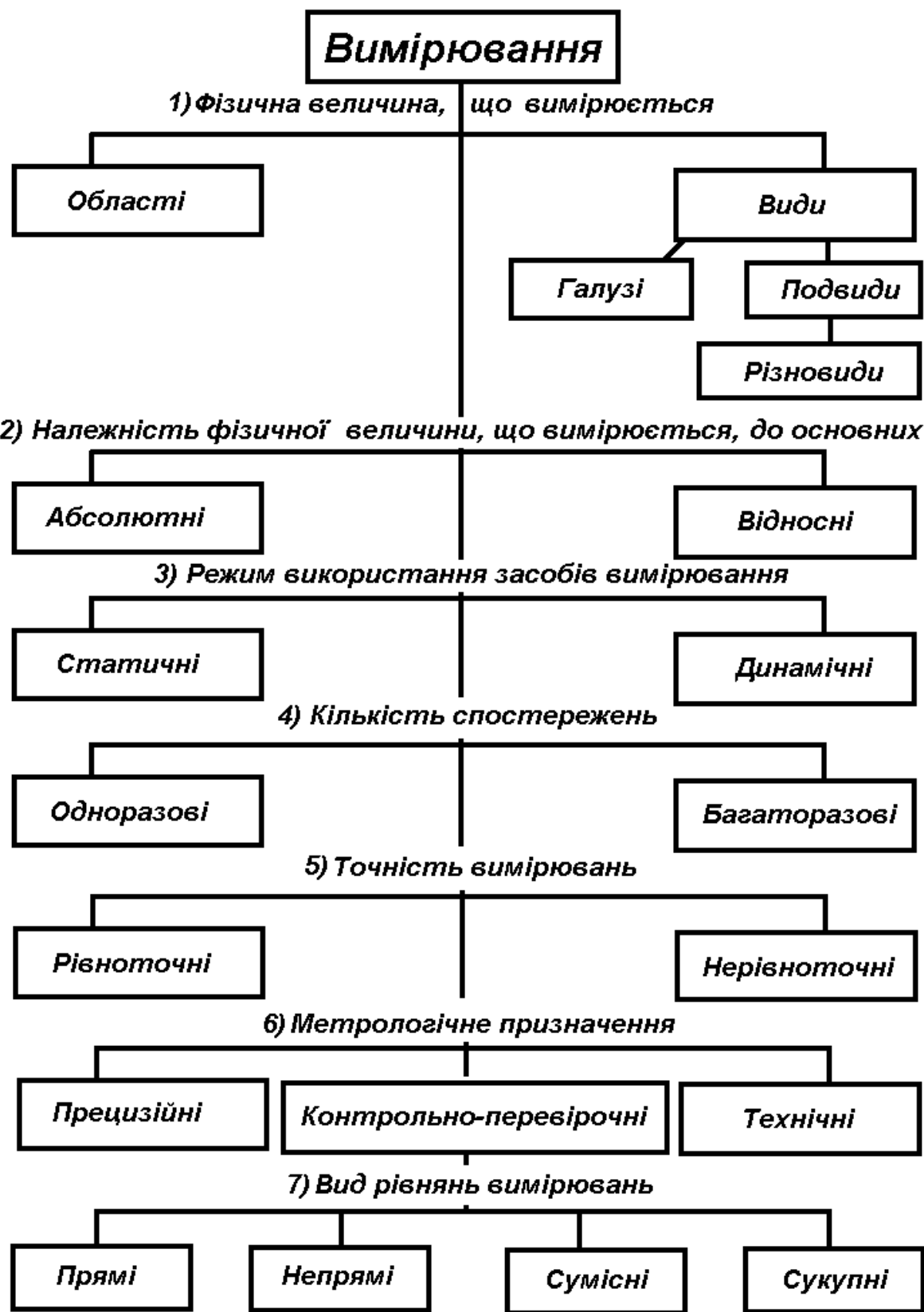


Рисунок 2.2

Вимірювання можуть бути класифіковані:

- по вираженню результату вимірювань — абсолютні, відносні;
- стосовно зміни вимірюваної величини (режимові використання засобів вимірювання) - статичні, динамічні;
- по числу вимірювань у ряді вимірювань — одноразові, багаторазові;
- по характеристиці точності - рівноточні, нерівноточні;
- по метрологічному призначенню - технічні, метрологічні;
- по загальних прийомах одержання результатів вимірювань - прямі, непрямі, спільні, сукупні.

Розглянемо більш докладно приведену класифікацію.

**Абсолютне вимірювання** - вимірювання, засноване на прямих вимірюваннях однієї або декількох основних величин і (або) використанні значень фізичних констант.

**ПРИКЛАД.** Вимірювання сили  $F$  засновано на вимірюванні основної величини - маси ( $m$ ) і використанні фізичної постійної  $g$  (у точці земної поверхні вимірювання маси).

Примітки:

1. У літературі зустрічаються поняття «абсолютні одиниці», «абсолютні вимірювання». Слово «абсолютні» приписувалося розглянутим одиницям або вимірюванням фізичних величин у тому випадку, якщо вони ґрунтувалися відповідно на основних одиницях (метри, кілограмі, секунді) або основних величинах (довжині, масі, часу). Серед одиниць SI немає абсолютних одиниць, тому зараз відпала необхідність у застосуванні поняття «абсолютне вимірювання» у первісному значенні.

2. Поняття «абсолютне вимірювання» застосовується як протилежне поняттю «відносне вимірювання» і розглядається як вимірювання величини в її одиницях. У такому розумінні це поняття знаходить усе більше і більше застосування.

3. У міжнародному словнику для вираження поняття «абсолютне вимірювання» у первісному його значенні застосовується термін «фундаментальний метод вимірювання» і розглядається як «метод вимірювань, у якому значення вимірюваної величини визначається шляхом вимірювання відповідних основних величин».

**Відносне вимірювання** - вимірювання відносини величини до однойменної величини, що грає роль одиниці, або зміни величини стосовно однойменної величини, прийнятої за вихідну

**ПРИКЛАДИ.**

1. Вимірювання відносини різних довжин хвиль коливань, що відповідають різним джерелам випромінювань, у результаті якого може бути отримане число (коефіцієнт), що характеризує це відношення.

2. Вимірювання активності радіонукліда в джерелі стосовно активності радіонукліда в однотипному джерелі, атестованому як зразкова міра активності.

**Статичне вимірювання** - вимірювання фізичної величини, прийнятої відповідно до конкретної вимірювальної задачі за незмінну протягом часу вимірювання.

#### **ПРИКЛАДИ.**

1. Вимірювання довжини деталі при нормальній температурі.
2. Вимірювання розмірів земельної ділянки.

**Динамічне вимірювання** - вимірювання фізичної величини, що змінюється по розмірі, і, якщо необхідно, її зміни в часі.

По кількості спостережень при вимірюванні розрізняють вимірювання з *одноразовими* і *багаторазовими спостереженнями*. Багаторазові спостереження, як буде показано далі, дають можливість підвищити точність вимірювання за рахунок застосування статистичних методів обробки даних.

**Одноразове вимірювання** - вимірювання, виконане один раз.

У багатьох випадках на практиці виконуються саме одноразові вимірювання, наприклад, вимірювання конкретного моменту часу по годиннику, звичайно, проводиться один раз, тобто виконується одноразове вимірювання.

Для більшої впевненості в одержуваному результаті й оцінки похибки одного вимірювання недостатньо, тому виконується два - три і більш вимірювань однієї і тієї ж величини. У цьому випадку може бути допущене вираження „дворазове **вимірювання**“, „триразове **вимірювання**“ тощо.

**Багаторазове вимірювання** - вимірювання того самого розміру фізичної величини, результат якого отриманий з декількох наступних один за одним вимірювань, тобто, що складається з ряду одноразових вимірювань.

При багаторазових вимірюваннях виникає питання, починаючи з якого числа вимірювань можна вважати вимірювання саме такими. Строгої відповіді немає. Приймають  $N > 4$ , при цьому число  $N$  називають обсягом вибірки. Цю вибірку аналізують і по отриманих результатах описують усю генеральну сукупність або якісь її характеристики з тією або іншою вірогідністю. По обсягу вибірки можуть бути дуже малими ( $N < 10$ ), для яких можна визначити тільки числові параметри розподілу, малими ( $10 < N < 30$ ) і великими ( $N > 30$ ). Обсяг  $N > 250$  уже не приводить до підвищення вірогідності оцінки. У залежності від величини  $N$  існують різні методи обробки отриманих результатів вимірювань, що буде розглянуто у наступних лекціях.

**Рівноточні вимірювання** - ряд вимірювань (серія наступних один за одним вимірювань фізичної величини) якої-небудь величини,

виконаних однаковими за точністю засобами вимірювань і в тих самих умовах. Перш ніж обробляти ряд вимірювань, необхідно переконатися в тім, що усі вимірювання цього ряду є рівноточними.

**Нерівноточні вимірювання** - ряд вимірювань якої-небудь величини, виконаних трохи різними за точністю засобами вимірювань і (або) у трохи різних умовах. Нерівноточні вимірювання проводять з метою одержання результату вимірювань тільки в тому випадку, коли неможливо одержати ряд рівноточних вимірювань.

У залежності від точності, що досягається, вимірювання поділяють на **прецизійні** вимірювання, **контрольно-перевірочні** і **технічні** вимірювання.

Перший випадок (прецизійні вимірювання) відноситься до вимірювань при метрологічних дослідженнях, особливо відповідальних вимірюваннях, у яких вимірювання проводяться найбільш точно з урахуванням індивідуальних властивостей застосованих засобів вимірювальної техніки і результатів додаткових вимірювань, виконаних для контролю умов вимірювань. У цьому випадку здійснюється апостеріорна (тобто після) оцінка точності вимірювань.

Контрольно-перевірочні вимірювання відносяться до групи вимірювань, для яких виробляється наближена апостеріорна оцінка точності.

Технічні вимірювання - найбільш розповсюджений вид вимірювань, ці вимірювання здійснюються з найменшою точністю, обробка експериментальних даних мінімальна, а точність вимірювань оцінюється апіорно (тобто до), у рамках атестації методики виконання вимірювань.

Найважливішою ознакою класифікації є поділ вимірювань у залежності від рівняння вимірювань на **прямі, непрямі, спільні** та **сукупні** (для цих видів вимірювань нижче будуть розглянуті способи обробки їхніх результатів). Даний поділ обумовлений прийомами одержання результатів вимірювань. Кожна категорія вимірювань зв'язана з визначеним способом обробки експериментальних даних для визначення результату вимірювання й оцінювання його похибок.

**Пряме вимірювання** - вимірювання, проведене прямим методом, при якому шукане значення фізичної величини одержують безпосередньо.

При прямих вимірюваннях об'єкт дослідження приводять у взаємодію з засобами вимірювань і за показниками останнього відраховують значення вимірюваної величини. Іноді показання приладу множать на коефіцієнт, вводять відповідні виправлення тощо.

До прямих вимірювань можна віднести вимірювання маси за допомогою ваг і гир; сили — за допомогою динамометра; електричної напруги — вольтметром та ін.

У прямих вимірюваннях процедура вимірювання може супроводжуватися низкою додаткових операцій (зняття показань барометра, термометра й інших приладів, а також проводити обчислення по декількох формулах). Але разом з тим, це будуть прямі вимірювання, тому що додаткові процедури вимірювання не носять самостійного характеру, а необхідні лише для уточнення результату, зниження похибки вимірювання.

**Непряме вимірювання** - вимірювання, проведене непрямим методом, при якому шукане значення фізичної величини визначають на підставі результатів прямих вимірювань інших фізичних величин, функціонально зв'язаних із шуканою величиною, наприклад:

1. Визначення висоти предмета  $h$  за значеннями відстані  $l$  до нього і вертикального кута  $\alpha$ , отриманим з вимірювань і зв'язаним рівнянням  $h = l \cdot \operatorname{tg} \alpha$

2. Визначення щільності  $\rho$  однорідного тіла циліндричної форми за значеннями маси  $m$ , висоти  $h$  і діаметра циліндра  $d$ , отриманим з вимірювань і зв'язаним рівнянням  $\rho = \frac{4m}{\pi d^2 \cdot h}$

Термін «пряме вимірювання» виник як протилежний термінові «непряме вимірювання». Строго говорячи, вимірювання завжди пряме і розглядається як порівняння величини з її одиницею. У цьому випадку краще застосовувати термін «прямий метод вимірювань».

При непрямих вимірюваннях шукане значення вимірюваної величини знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною та величинами — аргументами. У загальному випадку цю залежність можна представити у вигляді функції.

По вигляду функціональної залежності розрізняють непрямі вимірювання з лінійною залежністю між вимірюваною величиною і вимірюваними аргументами; непрямі вимірювання з нелінійною залежністю між цими величинами і непрямі вимірювання з залежністю між величинами змішаного типу.

**Сукупні вимірювання** – проведені одночасно вимірювання декількох однойменних величин, при яких (вимірюваннях) шукані значення величин визначають шляхом рішення системи рівнянь, одержаних при вимірюваннях різних сполучень цих величин. Для визначення значень шуканих величин число рівнянь повинне бути не менш числа шуканих величин.

**Спільні вимірювання** – проведені одночасно вимірювання двох або декількох неоднойменних величин для визначення залежності між ними, наприклад:

1. На підставі низки одночасних вимірювань збільшень довжини зразка в залежності від змін його температури (отриманих шляхом вимірювань) визначають коефіцієнт лінійного розширення зразка.
2. Вимірювання, при якому електричний опір резистора при температурі  $+20^{\circ}\text{C}$  і його температурні коефіцієнти знаходять за даними прямих вимірювань опору, що виконуються при різних температурах

$$R = R_{20} + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2$$

Це рівняння виражає температурну залежність резистора. Вимірюючи одночасно опір резистора  $R$  і його температуру  $t$ , одержують кілька рівнянь, з яких знаходять опір резистора  $R_{20}$  при температурі  $+20^{\circ}\text{C}$  і температурні коефіцієнти  $\alpha$  і  $\beta$ .

Спільні і сукупні вимірювання за способами знаходження шуканих значень вимірюваних величин дуже близькі; і в тім, і в іншому випадку їх знаходять шляхом рішення системи рівнянь, коефіцієнти в яких й окремі члени отримані в результаті вимірювань, звичайно прямих. Відмінність же полягає в тому, що при сукупних вимірюваннях одночасно вимірюють кілька однойменних величин, а при спільних — різнойменних.

Будь-яке вимірювання містить у собі три основних етапи.

1. **Підготовка до вимірювання**, змістом якого є;

а) постановка вимірювальної задачі;

б) вибір методу і засобів вимірювальної техніки, їхнє розміщення;

в) забезпечення необхідних умов проведення експерименту.

При цьому під **методом вимірювань** розуміють послідовність операцій з використанням засобів вимірювальної техніки для одержання результату вимірювання. У технічних вимірюваннях використовують методи вимірювань: безпосередньої оцінки, порівняння з мірою, протиставлення, диференціальний, нульовий, метод заміщення, а також збігів.

**Метод безпосередньої оцінки** полягає в тім, що значення величини визначають безпосередньо по відліковому пристрою вимірювального приладу прямої дії. До таких приладів відносяться: амперметри, вольтметри, ваттметри, витратоміри, тягоміри, динамометри, манометри, циферблатні ваги і т.п.

**Метод порівняння з мірою** полягає в тому, що вимірювану величину порівнюють з величиною, відтвореною мірою. При даному методі вимірювану величину визначають шляхом безпосереднього порівняння з мірою даної величини, наприклад, вимірювання маси на вагах зі зрівноважуванням гирями.

**Метод протиставлення** — величина, що вимірюється, і величина, відтворена мірою, одночасно впливають на прилад порівняння, за допомогою якого встановлюється співвідношення між цими величинами.

Наприклад, вимірювання маси на рівноплечих вагах із розташуванням вимірюваної маси та її гир, що врівноважують, на двох чашах ваг.

**Диференціальний метод** - на вимірювальний прилад впливає різниця вимірюваної величини і відомої величини, відтвореною мірою. Цей метод дозволяє одержувати результати вимірювань високої точності. Наприклад, вимірювання, виконані при перевірці мір довжини порівнянням зі зразковою мірою на компараторі.

**Нульовий метод** — результуючий ефект впливу величин на прилад порівняння доводять до нуля. Зважування вантажів на вагах — характерний приклад нульового методу вимірювань.

**Метод заміщення**— величину, що вимірюється, заміщають відомою величиною, відтвореною мірою. Наприклад, зважування з почерговим приміщенням вимірюваної маси і гир на ту саму чашу ваг.

**Метод збігів** — різницю між вимірюваною величиною і величиною, відтвореною мірою, вимірюють, використовуючи збіг оцінок шкал або періодичних сигналів. Прикладом може служити вимірювання довжини штангенциркулем: спостерігають збіг оцінок на шкалах штангенциркуля і ноніуса. Метод збігів застосовується також при прийомі сигналів часу.

Метод вимірювання не варто плутати з **принципом вимірювання**, під яким розуміють сукупність фізичних явищ, на яких засновані вимірювання, наприклад, вимірювання температури з використанням термоелектричного ефекту.

2. **Вимірювальний експеримент**, що містить в собі три операції:

- а) вимірювальне перетворення;
- б) відтворення вимірюваної величини одиничного розміру;
- в) порівняння вимірюваної величини з одиницею вимірювання.

3. **Обробка експериментальних даних**, у результаті якої одержують значення вимірюваної величини й оцінку погрішності вимірювань із заданою імовірністю.

Конкретна реалізація зазначених етапів залежить від виду вимірювання.

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення поняттю вимірювання.
2. Наведіть і поясніть основне рівняння вимірювання.
3. Які існують шкали порівняння при вимірюванні?
4. За якими принципами чи ознаками класифікують вимірювання?
5. Чим відрізняються прямі та непрямі вимірювання?
6. Які основні етапи складають вимірювання?
7. Які методи вимірювання застосовують на практиці?
8. Дайте класифікацію методів вимірювання.

### ЛЕКЦІЯ 3. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ТА ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КЛАСИ ТОЧНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ.

Для проведення вимірювань потрібні спеціальні технічні засоби.

**Засоби вимірювальної техніки** - узагальнююче поняття, що охоплює технічні засоби, спеціально призначені для вимірювань. До засобів вимірювальної техніки відносять засоби вимірювань і їхні сукупності, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні приналежності, вимірювальні пристрої. Поняття «вимірювальна техніка», що вводилося раніше та охоплювало не тільки засоби вимірювань, але і діяльність по їхній розробці, виготовленню і застосуванню, на практиці не прижилося.

**Засіб вимірювань** - технічний засіб (або їхній комплекс), призначений для вимірювань, що має нормовані метрологічні характеристики, що відтворює і (або) зберігає одиницю фізичної величини, розмір якої приймається незмінним (у межах установленої похибки) протягом відомого інтервалу часу, або, іншими словами, **засіб вимірювань** – технічний засіб, який використовується при вимірюванні, що має нормовані метрологічні характеристики. Метрологічними називаються характеристики, що впливають на результат і похибку вимірювання. Вони входять до складу технічних характеристик, що визначають інші властивості засобів вимірювань (діапазони частот, габаритні розміри, вид елементів живлення).

Під **нормуванням** метрологічних характеристик розуміється кількісне завдання визначених номінальних значень і припустимих відхилень від цих значень. Нормування метрологічних характеристик дозволяє оцінити похибку вимірювання, досягти взаємозамінності засобів вимірювань, забезпечити можливість порівняння засобів вимірювань між собою й оцінку похибок вимірювальних систем і установок на основі метрологічних характеристик засобів вимірювань, що входять до їхнього складу. Саме нормування метрологічних характеристик відрізняє засіб вимірювань від інших подібних технічних засобів (наприклад, вимірювальний трансформатор від силового трансформатора).

За метрологічним призначенням засоби вимірювань підрозділяються на:

\* **робочі засоби вимірювань**, призначені для вимірювань, не зв'язаних з передачею розміру одиниці іншим засобам вимірювань. До робочих засобів вимірювань відносять засоби вимірювань, які застосовуються в наукових цілях, при контролі параметрів продукції і технологічних процесів; в астрономії і геодезії; на різних видах транспорту;



у медицині, техніці безпеки й охороні навколишнього середовища; при пошуку корисних копалин і обліку різних видів сировини; у сільському господарстві, спорті й інших видах діяльності, де необхідно одержати значення тієї або іншої фізичної величини;

\* **метрологічні засоби вимірювань**, призначені для забезпечення єдності вимірювань у країні, до яких відносять еталони, зразкові засоби вимірювань, перевірочні установки, засоби порівняння (компаратори й ін.), стандартні зразки.

За визначенням, **еталон** – засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення та/або зберігання одиниці вимірювання одного чи декількох значень, а також передачу розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки.

Еталони (можна побудувати певний ланцюг **еталон – державний еталон – первинний еталон – вторинний еталон – вихідний еталон – робочий еталон**) встановлюються за рекомендацією міжнародних конгресів, потім на основі цих рекомендацій виготовляються з гранично можливою точністю і зберігаються в особливих умовах, що забезпечують їхню незмінність протягом тривалого часу. Еталони, як правило, для безпосередніх вимірювань фізичних величин не застосовуються, а використовуються для перевірки так званих робочих еталонів. Останні, у свою чергу, служать для перевірки зразкових мір і вимірювальних приладів, по яких звіряються робочі міри і вимірювальні прилади, призначені вже для практичних цілей вимірювання.

За конструктивним виконанням засоби вимірювань підрозділяються на:

- 1) міри;
- 2) вимірювальні прилади,
- 3) вимірювальні установки;
- 4) вимірювальні системи;
- 5) вимірювальні комплекси.

**Міра** - засіб вимірювань, призначений для відтворення та/або збереження фізичної величини одного або декількох заданих розмірів, значення яких виражені у встановлених одиницях і відомі з необхідною точністю. Зберігаючи те або інше відоме значення фізичної величини, міра тим самим зберігає одиницю цієї величини, унаслідок чого при порівнянні з нею розміру вимірюваної величини одержують її значення в цих же одиницях. Інакше кажучи, міра виступає як носій одиниці фізичної величини і є основою для вимірювання.

Міри підрозділяють на **однозначні, багатозначні, набори мір, магазини мір**. **Однозначна міра** - міра, що відтворює фізичну величину одного розміру. **Багатозначна міра** - міра, що відтворює фізичну величину різних розмірів. **Набір мір** - комплект мір різного розміру однієї і тієї ж фізичної величини, необхідний для застосування на практиці

як окремо, так і в різних сполученнях. **Магазин мір** - набір мір, конструктивно об'єднаних у єдиний пристрій, у якому є пристосування для їхнього з'єднання в різних комбінаціях. Окремо визначають **калібр** - міру, призначену для порівняння з нею розмірів, форми і розташування поверхонь деталей виробів з метою визначення їхньої придатності (контролю).

**Вимірювальний прилад** — засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступної для безпосереднього сприйняття спостерігачем. Вимірювальні прилади класифікуються по різних ознаках. Наприклад, вимірювальні прилади можна побудувати на основі аналогової схемотехніки або цифрової. Відповідно їх поділяють на аналогові і цифрові. Ряд приладів, що випускаються промисловістю, допускають тільки відлічування показань. Ці прилади називаються такими, що показують. Вимірювальні прилади, у яких передбачена реєстрація показань, зветься такими, що реєструють.

**Вимірювальний перетворювач** — засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручної для передачі, подальшого перетворення, обробки та збереження, але той (інформації), що не підлягає безпосередньому сприйняттю спостерігачем. Первинним називають перетворювач, що є першим у вимірювальному ланцюзі, до нього безпосередньо підводиться вимірювана величина. Передавальний вимірювальний перетворювач призначено для дистанційної передачі сигналу вимірювальної інформації, масштабний — для вимірювання величини в задане число разів.

**Вимірювальна установка** — сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань (мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів) і допоміжних пристроїв, призначена для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручної для безпосереднього сприйняття спостерігачем, і розташована в одному місці.

**Вимірювальна система** — сукупність засобів вимірювань (мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів) і допоміжних пристроїв, з'єднаних між собою каналами зв'язку, призначена для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручної для автоматичної обробки, передачі і використання в автоматичних системах керування.

За рівнем автоматизації розрізняють:

\* **неавтоматичний засіб вимірювань** - засіб вимірювань, що не має пристроїв для автоматичного виконання вимірювань і обробки їхніх результатів

\* **автоматизований засіб вимірювань** - засіб вимірювань, що робить в автоматичному режимі одну або частину вимірювальних операцій. Автоматизований засіб вимірювань може проводити в автоматичному режимі або вимірювання та реєстрацію даних, або їхню обробку, або вироблення регулюючого сигналу, або передачу даних на відстань.

\* **автоматичний засіб вимірювань** - засіб вимірювань, що робить в автоматичному режимі вимірювання та всі операції, зв'язані з обробкою результатів вимірювань, їхньою реєстрацією, передачею даних або виробленням керуючого сигналу.

За рівнем стандартизації розрізняють

\* **стандартизований засіб вимірювань** - засіб вимірювань, виготовлений відповідно до вимог державного або галузевого стандарту. Звичайно, технічні характеристики стандартизованого засобу вимірювань відповідають технічним характеристикам установленого типу засобу вимірювань, отриманим на підставі державних іспитів. Засоби вимірювань, внесені до Державного реєстру засобів вимірювань, як правило, відносяться до числа стандартизованих.

\* **нестандартизований засіб вимірювань** - унікальний засіб вимірювань, призначений для спеціальної вимірювальної задачі, у стандартизації вимог до якого немає необхідності. Нестандартизовані засоби вимірювань не підлягають державним іспитам, а підлягають метрологічній атестації.

Стосовно вимірюваної фізичної величини розрізняють:

\* **основний засіб вимірювань** - засіб вимірювань тієї фізичної величини, значення якого необхідно одержати відповідно до вимірювальної задачі.

\* **допоміжний засіб вимірювань** - засіб вимірювань тієї фізичної величини, вплив якого на основний засіб вимірювань або об'єкт вимірювань необхідно врахувати для одержання результатів вимірювань необхідної точності.

Найбільш численною групою засобів вимірювань є вимірювальні прилади і перетворювачі, що узагальнено називаються вимірювальними пристроями. У силу великої різноманітності їх класифікують за різними ознаками:

- за використовуваними фізичними процесами вимірювальні пристрої розділяють на механічні, електромеханічні, електронні, оптикоелектронні тощо;
- за фізичною природою вимірюваної величини розрізняють вольтметри, амперметри, термометри, манометри, рівнеміри, вологоміри тощо;
- за видами вимірюваної величини або сигналу вимірювальної інформації, а також за способом обробки сигналу прилади поділяються на аналогові і цифрові. В аналогових приладах показання є безперервною функцією вимірюваної величини, тобто можуть так само, як і вимірювана величина, приймати нескінченну безліч значень. При цьому залежно від часу показання можуть бути як безперервною, так і дискретною (переривчастою) функцією вимірюваної величини, тобто розрізняють прилади **безперервної** і **дискретної** дії.

У **цифровому** приладі безперервна за розміром і в часі величина перетворюється в дискретну, квантується, кодується і цифровий код відображається на цифровому відліковому пристрої. У результаті показання цифрового приладу є дискретними за часом та квантованими за розміром, тобто можуть приймати лише кінцеве число значень.

Зовнішньою ознакою аналогових або цифрових приладів є наявність аналогового або цифрового пристрою, що показує або реєструє. Відповідно, прилади прийнято також розділяти на ті, що показують і допускають тільки відлічування показань, і ті, що реєструють, у яких передбачена автоматична реєстрація показань. Серед останніх, у свою чергу, розрізняють самописні і друкуючі. У самописних приладах (які є аналоговими) показання вимірюваних значень величини записуються у виді графіка осцилограми, що показує зміну значення величини в часі. У друкуючих приладах (які є цифровими) результати вимірювань друкуються в цифровій формі.

**Аналогові пристрої** електронних приладів, що показують, звичайно представляють електромеханічний перетворювач і аналоговий відліковий пристрій. Останній складається зі шкали, проградуєваної за допомогою міри і граючої роль міри при вимірюванні, і покажчика, що робить лінійне або кутове переміщення. Як покажчик використовуються або стрілка, або промінь світла.

Роль пристрою, що показує, може виконувати й електронно-променева трубка (ЕПТ), що має досить малу інерційність та дозволяє спостерігати високочастотні процеси (до сотень мегагерц, до наносекунд імпульси).

Як аналогово-реєстраційні пристрої в діапазоні частот до 10 Гц використовуються самописи, що містять електромеханічний перетворювач, який забезпечує переміщення записуючого вузла зі спеціальним пером. Запис здійснюється спеціальними чорнилами (пастами) на папері, що рухається перпендикулярно напрямкові переміщення пера. У деяких випадках використовуються термо-, електро-, і хімоутливі папери. У діапазоні до 20 Кгц застосовують світлопроменеві осцилографи, у яких запис здійснюється за допомогою спеціальних гальванометрів променем світла на фотопапері або фотоплівці, а також ультрафіолетовим променем на спеціальному папері, що самовиявляється на світлі. Гарна точність, чутливість, багатоканальність (до 10 і більш), малі габаритні розміри є причиною широкого застосування цих приладів. Для реєстрації більш високочастотних процесів використовують електронно-променеві осцилографи з фотографуванням процесу з екрана ЕПТ.

Для реєстрації одноразових процесів застосовують також спеціальні запам'ятовуючі ЕПТ, що дозволяють зберігати зображення десятки годин.

**Цифровий відліковий пристрій** зазвичай складається з цифрових знакових індикаторів, що забезпечують відтворення десяткових цифр, і алфавітних індикаторів, що дозволяють вказати одиницю вимірюваної величини. Для довгострокового збереження інформації використовуються також різні види запам'ятовуючих пристроїв.

Цифровий відліковий або пристрій, що реєструє, ніяк не обмежує точність цифрового приладу, тому що цифровий код без якої-небудь похибки може бути зображений на цифровому відліковому пристрої.

Точність аналогових приладів обмежується похибками вимірювальних перетворювачів, що створюють переміщення покажчика, похибками шкали й особистими (суб'єктивними) похибками, внесеними оператором (через кінцеву товщину покажчика, довжини розподілу шкали і вирішуючої здатності ока, через паралакс, через похибку інтерполяції при положенні покажчика між відмітками розподілів шкали). У результаті похибка аналогових приладів складає звичайно 0,5 %. У той же час похибку цифрових приладів удається зменшити до  $10^{-6}$  %, а при вимірюванні частотно-часових параметрів ще менше.

Однак не завжди цифровий відліковий пристрій або пристрій, що реєструє, краще аналогового. При великій кількості одночасно вимірюваних величин (контроль складного об'єкта) показання аналогових приладів сприймаються легше, тому що незалежно від цифр на шкалі просторове положення покажчика і характер його переміщення або осцилограма реєструємого процесу дозволяє більш оперативно проводити аналіз контрольованого процесу.

Підтвердженням більшої інформативності аналогово-відлікових пристроїв є розробка для деяких цифрових приладів шкали у виді розташованих у лінію світлодіодів, керованих цифровою схемою. Ця шкала сприймається оператором як аналогова, хоча прилад є цілком цифровим.

Поряд з точністю важливою характеристикою є швидкодія вимірювального пристрою, що характеризується числом вимірювань (перетворень) в одиницю часу або часом одного вимірювання. При вимірюванні величин, що змінюються в часі, підвищення швидкодії відіграє важливу роль. У загальному випадку підвищення швидкодії вимірювального приладу обмежується швидкістю використовуваної елементної бази.

Для приладів, що показують, звичайно не потрібно високої швидкодії в силу обмеженості можливостей оператора при прийомі інформації.

Для реєстраційних приладів, а також вимірювальних перетворювачів, вимога швидкодії є істотною, особливо, коли обробка інформації здійснюється за допомогою обчислювальної техніки. У цьому випадку цифрові вимірювальні пристрої забезпечують більшу швидкість, тому

що цифровий код може безпосередньо, без участі оператора вводиться в комп'ютер. Виключення складають електронні осцилографи, що дозволяють спостерігати та проводити аналіз форми процесів, які настільки швидко протікають, що перетворення їх у цифровий код пов'язано з більшою похибкою, або взагалі неможливо через обмежену швидкість цифрових засобів вимірювань (рівнобіжна обробка). На жаль, це приводить до ускладнення приладу. До недоліків цифрових приладів відносять їх порівняно високу вартість.

За структурним принципом розрізняють вимірювальні пристрої прямої дії (перетворення); у якому реалізується метод безпосередньої оцінки, і вимірювальні пристрої, робота яких заснована на методі порівняння.

За структурними ознаками вимірювальні пристрої також можна класифікувати по числу каналів і по часовій послідовності перетворень вхідних сигналів. У залежності від числа вхідних сигналів, що несуть інформацію про вимірювану величину, вимірювальні пристрої бувають з одним (наприклад – вольтметр), двома (фазометр) і більш входами, тобто відповідно одно-, дво- і багатоканальними. У залежності від часової послідовності перетворень вхідних сигналів (якщо їх більш ніж 2) розрізняють вимірювальні пристрої з *одночасним* (рівнобіжним) і *послідовним* перетворенням. При послідовному перетворенні сигнали обробляються по черзі, причому за цикл вимірювання кожен сигнал через вхідний перемикаючий пристрій (комутатор) подається на вхід перетворювача один раз. Різновидом послідовного перетворювача є періодичний пристрій, коли за час одного циклу вимірювання сигнали переключаються багаторазово. Послідовне перетворення дозволяє зменшити апаратні витрати за рахунок переходу від багатоканальної структури до одноканальної з вхідним комутатором. Крім того, одноканальна структура вимірювального пристрою дозволяє зменшити деякі похибки, що зазвичай викликані неідентичністю характеристик різних каналів.

За точністю вимірювальні пристрої поділяють на *зразкові*, що використовуються для перевірки інших вимірювальних пристроїв і затверджені в якості зразкових, і *робочі*, що використовуються безпосередньо в практичних вимірюваннях, не зв'язаних з передачею розміру одиниць.

За частотним діапазоном вимірювальні пристрої поділяють на низькочастотні (НЧ), високочастотні (ВЧ) і надвисокочастотні (НВЧ), за шириною смуги частот – на широкосмугові та вибіркові (селективні).

За місцем використання вимірювальні пристрої поділяють на лабораторні і виробничі, котрі різко відрізняються за умовами експлуатації, по технічних і метрологічних характеристиках.

Доповнимо класифікацію вимірювальних перетворювачів. Їхнє різноманіття визначається розходженням необхідних видів перетворювачів.

Перетворювачі *фізичного роду* сигналу використовуються тоді, коли вимірювана величина незручна для безпосереднього вимірювання. Так, багато неелектричних величин попередньо перетворюються в електричні (механічне переміщення або кутове обертання - в електричну величину) або одні електричні величини в інші (опір у напругу). Назва таких перетворювачів визначається або принципом дії, або родом вхідного і вихідного сигналів (наприклад, термоелектричний перетворювач, перетворювач напруга-частота)

*Функціональні* перетворювачі забезпечують необхідну залежність між інформативними параметрами вхідного і вихідного сигналів. Такі перетворювачі називають: що диференціює, інтегруючий, підсумовуючий, що логарифмує і т.п.

Узгодження за рівнем (розмірові) вхідного сигналу здійснюється за допомогою *масштабних* перетворювачів. До них відносяться: дільник, підсилювач, трансформатор струму (напруги).

Узгодження за опором забезпечується за допомогою погоджувачих перетворювачів (погоджувачий трансформатор, емітерний повторювач).

За місцем включення в загальний ланцюг перетворювачі поділяють на *первинні*, до яких підводиться вимірювана величина, *проміжні* і *передавальні*, призначені для дистанційної передачі сигналів.

За видом характеристики перетворення перетворювачі поділяють на *лінійні* і *нелінійні*.

Для кожного виду засобів вимірювань (ЗВ), виходячи з їхньої специфіки і призначення, нормується визначений комплекс метрологічних характеристик, що вказується в нормативно-технічній документації на ЗВ. У цей комплекс повинні включатися такі характеристики, що дозволяють визначити похибку даного ЗВ у відомих робочих умовах його застосування. Загальний перелік основних нормованих метрологічних характеристик ЗВ, форми їхнього представлення та способи нормування встановлені в стандарті. У нього входять:

- \* межі вимірювань, межі шкали;
- \* ціна розподілу рівномірної шкали аналогового приладу або багатозначної міри, при нерівномірній шкалі – мінімальна ціна розподілу;
- \* вихідний код, число розрядів коду, номінальна ціна одиниці найменшого розряду цифрових ЗВ;
- \* номінальне значення однозначної міри, номінальна статична характеристика перетворення вимірювального перетворювача;
- \* похибка ЗВ;
- \* варіація показань приладу або вихідного сигналу перетворювача;
- \* повний вхідний опір вимірювального пристрою;
- \* повний вихідний опір вимірювального перетворювача або міри;

- \* неінформативні параметри вихідного сигналу вимірювального перетворювача або міри;
- \* динамічні характеристики ЗВ;
- \* функції впливу;
- \* найбільші припустимі зміни метрологічних характеристик ЗВ в робочих умовах застосування.

Нормування метрологічних характеристик необхідно для рішення наступних задач:

- \* додання всієї сукупності однотипних ЗВ необхідних однакових властивостей і зменшення їхньої номенклатури;
- \* забезпечення можливості оцінки інструментальних похибок і порівняння ЗВ по точності;
- \* забезпечення можливості оцінки похибки вимірювальних систем по похибках окремих ЗВ. Похибки, властиві конкретним екземплярам ЗВ, установлюються тільки для зразкових ЗВ при їхній атестації.

Розглянемо вказані характеристики, а також низку важливих понять, пов'язаних з ними.

На Рис. 3.1. показаний відліковий пристрій аналогового приладу.

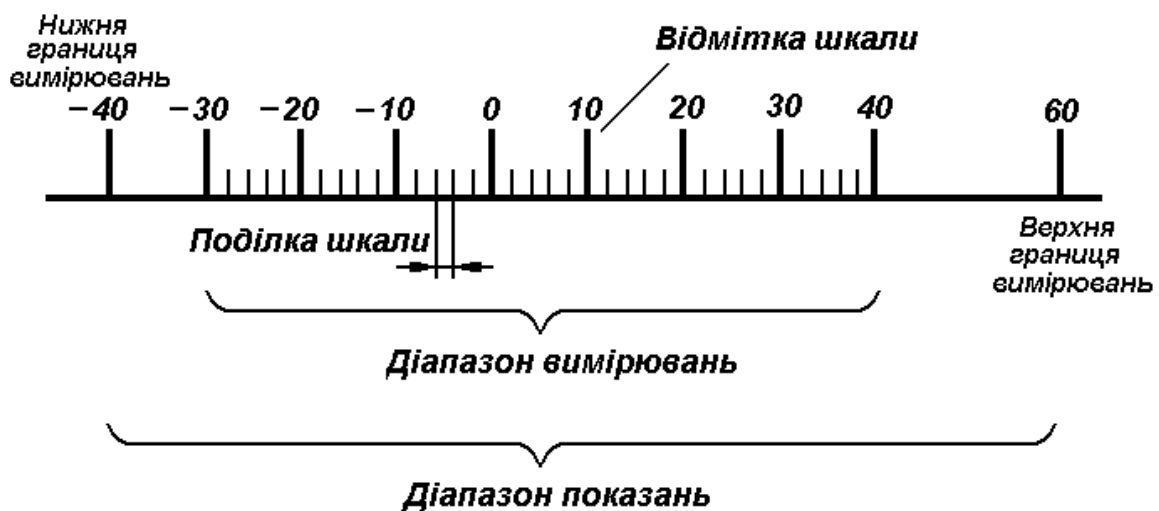


Рисунок 3.1

**Поділка шкали** – проміжок між двома сусідніми відмітками шкали.

**Довжина поділки шкали** – відстань між осями двох сусідніх відміток.

**Ціна поділки шкали** – різниця значень величини, що відповідають двом сусіднім відміткам шкали.

**Відліком** називається число, визначене по відліковому пристрою.



**Показання приладу** – значення величини, що визначається по відліковому пристрою і виражене в прийнятих одиницях цієї величини. У багатограничних приладах, де та ж сама шкала використовується для вимірювань на різних границях вимірювання, показання приладу дорівнює відлікові, помноженому на ціну поділки для відповідної границі вимірювання. У деяких випадках показання визначається за допомогою відліку по прикладеній до приладу **градуйованій характеристиці** – залежності між відліком і значенням величини на вході приладу, представленої у виді таблиці, графіка або формули.

**Діапазон показань** – область значень шкали, обмежена кінцевим (найбільшим) і початковим (найменшим) значеннями фізичної величини, зазначеними на шкалі.

**Діапазон вимірювань** – область значень вимірюваної величини, для якої нормована похибка засобу вимірювань.

**Границя вимірювань** – найбільше або найменше значення діапазону вимірювань. Діапазон показань і діапазон вимірювань можуть не збігатися (Рис. 3.1).

Шкали бувають **рівномірними** та **нерівномірними**. Рівномірна шкала на відміну від нерівномірної – шкала з поділками постійної довжини і з постійною ціною поділки.

Відліковий пристрій цифрового приладу характеризується числом десяткових розрядів і ціною (поділки) одиниці молодшого розряду, що, мабуть, не може бути менше кроку квантування. Цифровий відліковий пристрій еквівалентний рівномірній шкалі, тому що однаковому збільшенню цифрового коду відповідає однакове збільшення показань. Тому наявність нелінійності перетворення вимірюваної величини в код приводить до похибки цифрового приладу. Відповідно до перетворювачів цифрових приладів висувається вимога високої лінійності. У той же час в аналоговому приладі нелінійна залежність переміщення покажчика від зміни вимірюваної величини може бути врахована уведенням відповідної нелінійності (нерівномірності) шкали.

Вхідний і вихідний сигнали ЗВ характеризуються інформативними і неінформативними параметрами. **Інформативний параметр** вхідного сигналу є самою вимірюваною величиною або величиною, функціонально зв'язаною з вимірюваною. **Неінформативний параметр** не зв'язаний функціонально з вимірюваною величиною, але впливає на метрологічні характеристики ЗВ (зокрема, на похибку). Наприклад, при вимірюванні амплітуди напруги інформативним параметром є амплітуда сигналу, а неінформативним – його частота. Вихідний сигнал перетворювача також може бути охарактеризований інформативними і неінформативними параметрами.

На метрологічні характеристики ЗВ сильно впливають зовнішні фізичні впливи (кліматичні, механічні, електромагнітні) і зміни параметрів джерел живлення – **величини, що впливають**.

За умовами застосування ЗВ, розрізняють нормальні і робочі умови. Вони відрізняються діапазоном зміни неінформативних параметрів вхідного сигналу і величин, що впливають.

Умови експлуатації ЗВ обумовлюють у відповідних стандартах і поділяють на групи, що розрізняються значеннями величин, що впливають.

**Функція впливу** – залежність зміни метрологічної характеристики ЗВ від зміни величини, що впливає, або неінформативного параметра вхідного сигналу в межах робочих умов експлуатації. Функція впливу може нормуватися у виді формули, графіка або таблиці.

Поряд з умовами застосування для всіх ЗВ задаються граничні умови транспортування і збереження, що не змінюють метрологічні властивості ЗВ після його повернення в робочі умови.

**Похибка приладу** характеризує відмінність його показань від справжнього або дійсного значення вимірюваної величини.

**Похибка перетворювача** визначається відмінністю номінальної (тобто приписуваної перетворювачеві) характеристики перетворення або коефіцієнта перетворення від їхнього справжнього значення.

**Похибка міри** характеризує відмінність номінального значення міри від справжнього значення відтвореної нею величини.

За способом вираження розрізняють **абсолютну, відносну і приведену** похибки приладу.

Різниця  $\Delta x$  між показаннями приладу  $x_{np}$  і справжнім значенням  $A$  вимірюваної величини називається **абсолютною похибкою приладу**:

$$\Delta x = x_{np} - A, \quad (3.1)$$

яка виражається в тих же одиницях, що і вимірювана величина.

Абсолютна похибка, узятя зі зворотним знаком, називається **виправленням вимірювального приладу**.

Але оскільки справжнє значення  $A$  вимірюваної величини невідомо, те невідомі і похибки вимірювання, тому доводиться у формулу (3.1) замість справжнього значення підставляти так зване дійсне значення.

**Дійсним значенням** фізичної величини - називається її значення, знайдене експериментально, та настільки наближене до справжнього, що для даної мети воно може бути використане замість нього. На практиці приймають також показання більш точного, зразкового приладу.

**Відносна похибка приладу  $\delta$**  - відношення абсолютної похибки приладу до справжнього значення вимірюваної величини. Визначається, як правило, у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta x}{A} = \frac{x_{np} - A}{A} \text{ або } \delta = \frac{\Delta x}{A} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

**Приведена похибка приладу  $\gamma$**  - відношення абсолютної похибки приладу до деякого нормованого значення  $X_n$

$$\gamma = \frac{x_{np} - A}{X_n} \cdot 100\% . \quad (3.3)$$

Відповідно до стандартів  $X_n$  приймається рівним:

- більшої з границь вимірювань або більшому з модулів границь вимірювань для ЗВ з рівномірною або ступеневою шкалою, якщо нульова відмітка знаходиться на краю або поза діапазоном вимірювань;
- арифметичній сумі модулів границь вимірювань, якщо нульова відмітка знаходиться усередині діапазону вимірювань;
- установленому номінальному значенню для ЗВ з установленим номінальним значенням вимірюваної величини;
- усій довжині шкали для приладів з істотно нерівномірною шкалою, при цьому абсолютні похибки також виражають в одиницях довжини.

В усіх інших випадках нормоване значення встановлюється стандартами для відповідних видів ЗВ.

**Точність ЗВ** – якість, що відбиває близькість до нуля його похибки. Наприклад, при похибці приладу  $\delta = 10^{-4}$  (0,01 %) точність –  $10^4$ . Виникнення похибки ЗВ зумовлюється низкою причин, у тому числі наближеним розрахунком характеристик, відмінністю параметрів елементів і вузлів приладу від необхідних розрахункових значень, старінням елементів і вузлів, паразитними параметрами елементів, внутрішніми шумами, зміною величин, що впливають, і неінформативних параметрів вхідного сигналу тощо. Похибки ЗВ оцінюються при його перевірці - визначенні метрологічною організацією похибок ЗВ і встановленні його придатності до застосування. Оскільки похибка у часі може змінюватися, перевірку проводять з визначеною періодичністю.

**Основна похибка вимірювального приладу:** - похибка, що виникає при нормальному використанні приладу. Її можна представити у вигляді суми похибок - аддитивної і мультиплікативної.

$$\Delta = a + bx \quad (3.4)$$

де  $a$  – аддитивная (від англ. **to add** – додавати) похибка;  $b$  – мультиплікативна (від англ. **to multiply** – множити) похибка;  $x$  – поточне значення вимірювань.

**Аддитивна похибка** – не залежить від чутливості приладу і є постійною для всього діапазону вимірювань (Рис. 3.2.а)

**Мультиплікативна похибка** – залежить від чутливості приладу і змінюється пропорційно поточному значенню вхідної величини (Рис. 3.2.б).

Граничні значення абсолютних похибок  $\Delta_{\max}$  можуть бути як додатними, так і від’ємними, але однаковими за модулем -  $|\Delta_{\max}| = |a| + |bx|$ . Інтерпретація сказаного приведена на Рис. 3.2.

У вимірювальних приладах, як правило, нормується основна приведена похибка у всьому діапазоні вимірювань, що називається **класом точності приладу** та відображає відносну похибку. Відповідно до стандартів класи точності вибирають з ряду:  $1 \cdot 10^n$ ;  $1.5 \cdot 10^n$ ;  $2 \cdot 10^n$ ;  $2.5 \cdot 10^n$ ;  $4 \cdot 10^n$ ;  $5 \cdot 10^n$ ;  $6 \cdot 10^n$ , де  $n = 1, 0, -1, -2, -3, \dots$ .

У цифрових вимірювальних приладах похибка визначається з виразу:

$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{X_{\max}}{x} \right| - 1 \right) \right] \quad (3.5)$$

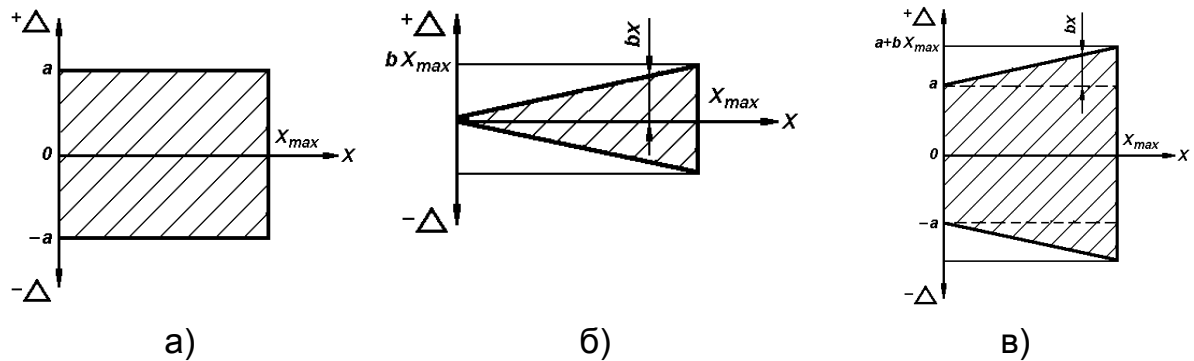


Рисунок 3.2.

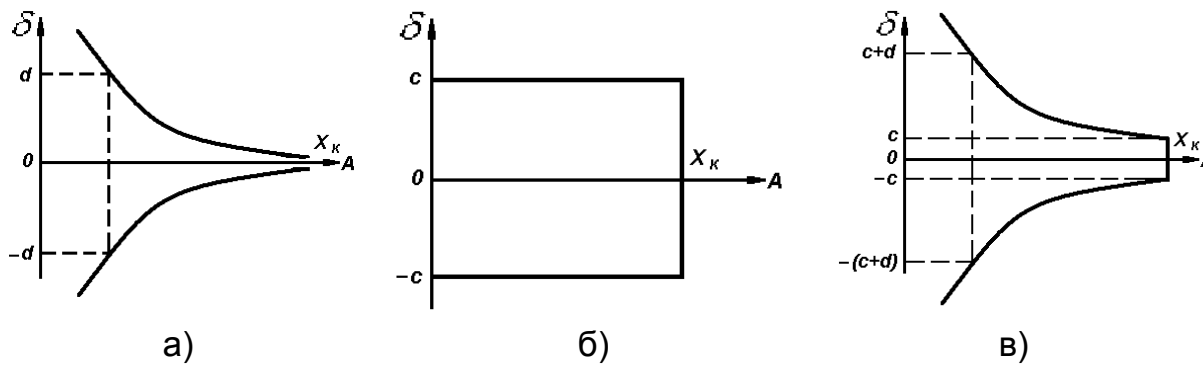


Рисунок 3.3.

де  $X_{\max}$  – кінцеве значення діапазону вимірювання,  $x$  – поточне значення вимірюваної величини,  $c$  і  $d$  – складові похибки, приведені на шкалі або в паспорті цифрового приладу. Це вираження отримане з формули (3.2) наступним перетворенням:

$$\delta = \frac{a+bx}{x} = \frac{a}{x} + b = b + \left( \frac{a}{X_{\max}} - \frac{a}{X_{\max}} \right) + \frac{a}{x} = \left( b + \frac{a}{X_{\max}} \right) + \frac{a}{X_{\max}} \left( \frac{X_{\max}}{x} - 1 \right) = c + d \left( \frac{X_{\max}}{x} - 1 \right),$$

де  $c = b + (a / X_{\max})$ ,  $d = a / X_{\max}$ .

Неважко помітити, що  $\delta = \pm c$  при  $x = X_{\max}$ , що показано на Рис. 3.3.

На Рис. 3.3.б приведений графік відносної похибки  $\delta$ , що відповідає абсолютній похибці  $\Delta = bx$  (границя відносної похибки залишається незмінною у всьому діапазоні вимірювань), а на Рис. 3.3.в – графік відносної похибки  $\delta$ , що відповідає абсолютній похибці  $\Delta = a + bx$  (границя відносної похибки змінюється за гіперболічним законом). Тоді  $c$  можна трактувати як коефіцієнт, який чисельно дорівнює відносній похибці на верхній границі вимірювань, а  $d$  - як коефіцієнт, який чисельно дорівнює похибці на нижній границі вимірювань, вираженої у відсотках від верхньої границі.

Якщо клас точності для приладу не зазначений, то абсолютна похибка приймається рівній половині ціни поділки. Виключення складають прилади:

- с ноніусом (наприклад, штангенциркуль),
- с фіксованим кроком стрілки (наприклад, секундомір),
- цифрові прилади.

Абсолютна похибка приладів з ноніусом дорівнює точності ноніуса.

Абсолютна похибка приладів з фіксованим кроком стрілки дорівнює ціні поділки. Аналогічно враховується і похибка цифрових приладів.

Як уже було сказано вище, залежно від умов застосування ЗВ похибки поділяються на **основну** (при нормальних умовах) і **додаткову** (при робочих умовах).

**Основною** похибкою називається похибка, що існує при так званих нормальних умовах, які зазначені в нормативних документах, що регламентують правила випробувань й експлуатації даного засобу вимірювання. Нормальну область значень задають границями змін величин, що впливають, а також їх номінальними значеннями (Табл. 3.1.). **Додаткова** похибка виникає при відхиленні умов випробувань й експлуатації засобу вимірювання від нормальних.

Таблиця 3.1.

Величина, що впливає	Номінальне значення величини, що впливає
1. Температура для усіх видів вимірювань	20°C (293 K)
2. Тиск навколишнього повітря для вимірювання іонізуючих випромінювань, теплофізичних, температурних, магнітних, електричних вимірювань, вимірювань тисків і параметрів рухів	100 кПа (750 мм рт. ст.)
3. Тиск повітря для лінійних, кутових вимірювань, вимірювань маси, сили світла	101,3 кПа (760 мм рт. ст.)
4. Відносна вологість повітря для лінійних, кутових вимірювань, вимірювань маси	58%
5. Відносна вологість повітря для вимірювань електричного опору	55%
6. Відносна вологість повітря для вимірювань температури, сили, твердості, перемінного електричного струму, параметрів руху	65%
7. Відносна вологість повітря для усіх вимірювань, крім зазначених у пп. 4, 5, 6	60 %
8. Густина повітря	1,2 кг/м <sup>3</sup>

Наприклад, для генератора визначеного типу встановлені нормальні температурні умови +10...+35° С. У цьому температурному діапазоні гарантується основна похибка приладу, зазначена в його паспорті. Однак прилад може працювати й у більш широкому діапазоні температур, наприклад від 0 до +40° С. Цей діапазон, називаний робочим, ширше нормального. Умови експлуатації ЗВ обумовлюють у відповідних

стандартах і поділяють на групи, що розрізняються значеннями величин, що впливають.

Залежно від поводження вимірюваної величини в часі розрізняють **статичну** і **динамічну** похибки, а також похибку у динамічному режимі.

Статична похибка ЗВ ( $\Delta_{ct}$ ) – похибка ЗВ, який використовується для вимірювання постійної величини (наприклад, амплітуди періодичного сигналу). Похибка у динамічному режимі ( $\Delta_{дин}$ ) – похибка ЗВ, який використовується для вимірювання перемінної в часі величини.

**ПРИКЛАД 1.** Вольтметром, верхня межа якого  $U_{zp} = 250$  В, і клас точності 1,5 (тобто  $\gamma = 1,5\%$ ), проведено вимірювання напруги  $U = 50$  В. Запишіть результат вимірювання.

Розв'язання. Абсолютна допустима похибка вимірювання  $\Delta U = U_{zp} \cdot 1,5\% = 250 \cdot 0,015 = 4$  В, тому результат вимірювання  $U = (50 \pm 4)$  В.

**ПРИКЛАД 2.** Розшифруйте позначення класу точності вольтметра 2/0,2. Розв'язання. Це означає, що відносна похибка при вимірюванні становить

$$\delta = \pm \left[ 2 \pm 0,2 \left( \frac{U_{zp}}{U} - 1 \right) \right].$$

**ПРИКЛАД 3.** Порівняйте похибки вимірювання тиску 100 кПа манометрами класу точності 0,2 зі шкалою, що має границю вимірювання 600 кПа, та класу точності 1,0 зі шкалою, що має границю вимірювання 100 кПа.

Розв'язання. В першому випадку  $\gamma = 0,2\%$ , що для верхньої границі 600 кПа становить  $\Delta P = 1,2$  кПа. Для другого -  $\gamma = 1,0\%$ , що для верхньої границі 100 кПа становить  $\Delta P = 1,0$  кПа. Тому остаточно результати вимірювань відповідно записуються так:  $P = (100 \pm 1,2)$  кПа,  $P = (100 \pm 1,0)$  кПа. Тому другий засіб за цих умов є більш точним.

**УВАГА !** Можна зробити два висновки:

- 1) При вимірюванні завжди слід прагнути, щоб стрілка знаходилась в правій частині приладів, тобто для підвищення точності слід обирати таку межу вимірювань, для якої покажчик встановиться в правій частині шкали якомога ближче до граничної відмітки, тільки тоді дійсна похибка буде найближчою до приведеної;
- 2) При вимірюванні, коли стрілка вимірювального приладу знаходиться не в правій частині шкали приладу, відносна похибка

вимірювань може бути більше приведеної, тобто клас точності приладу ще не говорить про точність вимірювання досліджуваної величини.

**ПРИКЛАД 4.** Маємо 2 вольтметри класу точності 0,02/0,02 зі шкалами 1 В і 10 В. Напруга, що вимірюється  $U = 0,8$  В. Визначить відносні похибки в обох випадках.

Розв'язання. За формулою  $\delta = \pm \left[ 0,02 + 0,02 \left( \frac{U_{zp}}{U_{вим}} - 1 \right) \right] (\%)$  визначаємо

$$\delta = \pm \left[ 0,02 + 0,02 \left( \frac{1}{0,8} - 1 \right) \right] = \pm 0,025\% \quad \text{та}$$

$$\delta = \pm \left[ 0,02 + 0,02 \left( \frac{10}{0,8} - 1 \right) \right] = \pm 0,25\%.$$

Тому в першому випадку відносна похибка буде в 10 разів менше.

**ПРИКЛАД 5.** Мікроамперметр на  $I_{max} = 100$  мкА має шкалу у 200 поділок. Визначити ціну поділки шкали та можливу похибку в поділках шкали, якщо клас точності 1,0.

Розв'язання.  $C = \frac{I_{max}}{200} = \frac{100}{200} = 0,5$  мкА.  $\Delta = \gamma \cdot I_{max} = 0,01 \cdot 100 = 1$  мкА. Тому похибка = 2 поділки.

**ПРИКЛАД 6.** При визначенні класу точності ватметра, який розрахований на 750 Вт, отримали такі дані: 47 Вт при потужності 50 Вт, 115 Вт – при 100 Вт, 204 Вт – при 200 Вт, 413 Вт – при 400 Вт, 728 Вт – при 750 Вт. Який клас точності приладу ?

Розв'язання. Визначимо максимальну похибку (за модулем) для усіх вимірювань: 3 Вт, 15 Вт, 4 Вт, 13 Вт, 22 Вт. Звідси

$$\gamma = \frac{22}{750} = 0,029.$$

Це умовно відповідає класу точності 2,9, якого не існує

взагалі. Найближчий менший клас точності 2,5, найближчий більший – 4,0. Тому визначаємо, що запропонований прилад 4-го класу точності.

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке засіб вимірювання?
2. Яка існує класифікація засобів вимірювання?
3. Охарактеризуйте аналогові та цифрові засоби вимірювання.
4. Дайте визначення елементам шкали засобу вимірювання.



5. Дайте визначення абсолютній, відносній та приведеній похибкам засобу вимірювання.
6. Поясніть графіки похибок вимірювання.
7. Що таке клас точності засобу вимірювання?
8. Яка різниця між основною та додатковою похибками засобу вимірювання?

## ЛЕКЦІЯ 4. ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ. ПОХИБКИ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ. СИСТЕМАТИЧНІ ТА ВИПАДКОВІ ПОХИБКИ.

При аналізі вимірювань варто чітко розмежовувати два поняття: справжні значення фізичних величин і їхні емпіричні прояви - результати вимірювань.

**Справжні значення** фізичних величин - це значення, що ідеальним образом відбивають властивості даного об'єкта як у кількісному, так і в якісному відношенні. Вони не залежать від засобів нашого пізнання і є абсолютною істиною.

**Результати вимірювань**, навпроти, є продуктами нашого пізнання. Представляючи собою наближені оцінки значень величин, знайдені шляхом вимірювань, вони залежать не тільки від них, але ще і від методу вимірювань, від технічних засобів, за допомогою яких проводяться виміри, і від властивостей органів почуттів спостерігача, що здійснює вимірювання.

За аналогією з аналізом похибки засобу вимірювань різниця  $\Delta x$  між результатами вимірювань  $x_{\text{вим}}$  і справжнім значенням  $A$  вимірюваної величини називається **абсолютною похибкою вимірювань**:

$$\Delta x = x_{\text{вим}} - A, \quad (4.1)$$

яка виражається в тих же одиницях, що і вимірювана величина.

**Відносна похибка вимірювань**  $\delta$  - відношення абсолютної похибки вимірювань до справжнього значення вимірюваної величини. Визначається, як правило, у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta x}{A} = \frac{x_{\text{вим}} - A}{A} \text{ або } \delta = \frac{\Delta x}{A} \cdot 100\%. \quad (4.2)$$

Точність результатів вимірювань якої-небудь величини  $x$  характеризується абсолютною похибкою, а якість результатів – відносною похибкою.

Але оскільки справжнє значення  $A$  вимірюваної величини невідомо, то невідомі і похибки вимірювань, тому доводиться у формулу (4.1) замість справжнього значення підставляти так назване дійсне значення.

**Дійсним значенням** фізичної величини - називається її значення, знайдене експериментально і настільки наближене до справжнього, що для даної мети воно може бути використане замість нього. На практиці приймають також результати вимірювань, отримані при використанні більш точного, зразкового приладу.

Причинами виникнення похибок є: недосконалість методів вимірювань, технічних засобів, застосовуваних при вимірюваннях, і органів почуттів спостерігача. В окрему групу варто об'єднати причини, зв'язані з впливом умов проведення вимірювань. Останні виявляються подвійно. З одного боку, усі фізичні величини, що грають яку-небудь роль при проведенні вимірювань, у тому чи іншому ступені залежать один від одного. Тому зі зміною зовнішніх умов змінюються справжні значення вимірюваних величин. З іншого боку, умови проведення вимірювань впливають і на характеристики засобів вимірювань і фізіологічні властивості органів почуттів спостерігача і за допомогою них стають джерелом похибок вимірювань.

Описані причини виникнення похибок визначаються сукупністю великої кількості факторів, під впливом яких складається сумарна похибка вимірювань. Їх можна об'єднати в дві основні групи.

1. Фактори, що постійно або закономірно змінюються в процесі вимірювального експерименту, наприклад плавні зміни величин, що впливають, або похибки застосовуваних при вимірюваннях зразкових мір. Складові сумарної похибки, обумовлені дією факторів цієї групи, називаються **систематичними похибками вимірювань**. Їхня відмінна риса в тім, що вони залишаються постійними або закономірно змінюються при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Доти, поки систематичні похибки більше випадкових, їх найчастіше можна обчислити або виключити з результатів вимірювань належною постановкою досліду.

2. Фактори, що виявляються досить нерегулярно і настільки ж зненацька зникають або виявляються з інтенсивністю, що важко передбачати. До них відносяться, наприклад, перекося елементів приладів у їхніх напрямних, нерегулярні зміни моментів тертя в опорах, малі флуктуації величин, що впливають, зміни уваги операторів тощо.

Частка, або складова, сумарної похибки вимірювань (4.1), обумовлена дією факторів цієї групи, називається **випадковою похибкою вимірювань**. Її основна особливість у тім, що вона випадково (за знаком і значенням) змінюється при повторних вимірюваннях (проведених з однаковою старанністю) однієї і тієї ж величини. Це визначення погоджується з визначенням випадкової події в теорії імовірності, що називається випадковою, якщо в результаті даного випробування вона може відбутися, а може і не відбутися.

**Випадкова подія** — подія, що при наявності сукупності деяких умов може або відбутися, або не відбутися. **Достовірна** подія — подія, що обов'язково відбудеться при наявності цих умов. Імовірністю події  $E$  називають відношення числа сприятливих їй випадків (результатів)  $M$  до загального числа випадків  $N$ , що виключають один одного:  $P(E) = M / N$ . Імовірність достовірної події дорівнює одиниці,

неможливої події — нулеві, а випадкової події — числу, укладеному між нулем і одиницею ( $0 < P(E) < 1$ ). Таким чином, для довільної випадкової події справедлива нерівність  $0 \leq P(E) \leq 1$ . **Випадкова величина**  $X$  — величина, що спостерігається, значення якої залежить від випадкових причин і тому наперед невідомо. Випадкові величини можуть бути дискретними (наприклад, число бракованих деталей у партії й ін.) або безперервними (наприклад, відхилення розміру деталі від номіналу, висота мікропрофілю в даній точці й ін.). Повний набір усіх можливих значень випадкової величини  $X$  називається **генеральною сукупністю**.

При створенні вимірювальної апаратури й організації процесу вимірювань в цілому інтенсивність прояву більшості факторів даної групи вдається звести до загального рівня, так що усі вони впливають більш-менш однаково на формування випадкової похибки. Однак деякі з них, наприклад раптове спадання напруги в мережі електроживлення, можуть проявитися зненацька сильно, у результаті чого похибка прийме розміри, що явно виходять за границі, обумовлені ходом експерименту в цілому. Такі похибки в складі випадкової похибки називаються **грубими**. До них тісно примикають **промахи** - похибки, що залежать від спостерігача і зв'язані з неправильним поводженням із засобами вимірювань, невірним відліком показань або помилками при записі результатів.

Таким чином, ми маємо два типи похибок вимірювань:

- систематичні похибки, що залишаються постійними або закономірно змінюються при повторних вимірюваннях;
- випадкові (у тому числі грубі похибки і промахи), що змінюються випадковим чином при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини.

У більшості випадків вимірюється не безпосередньо цікавляча нас величина, а інша (або інші), що залежить від неї тим або іншим способом. При таких вимірюваннях необхідно вміти обчислювати похибки вимірювань.

Аналіз похибок непрямих вимірювань у більшості випадків полягає в розрахунку числових характеристик похибки вимірюваної величини по заданих характеристиках похибок вимірювань аргументів (основна задача теорії похибок). Нехай задана диференційована функція

$$u = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (4.3)$$

і нехай  $|\Delta x_i|$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) - абсолютні похибки аргументів функції. Тоді абсолютна похибка функції

$$|\Delta u| = |f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n + \Delta x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_n)|. \quad (4.4)$$

Звичайно на практиці  $|\Delta x_i|$  - малі величини, добутками, квадратами і вищими ступенями яких можна зневажити. Тому записуємо:

$$|\Delta u| \approx |df(x_1, x_2, \dots, x_n)| = \left| \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right| \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \cdot |\Delta x_i|. \quad (4.5)$$

Звідси, позначаючи через  $\Delta_{x_i}$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) граничні абсолютні похибки аргументів  $x_i$  і через  $\Delta_U$  - граничну похибку функції  $u$ , для малих  $\Delta x_i$  одержимо

$$\Delta_U = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \cdot \Delta_{x_i}. \quad (4.6)$$

Для відносної похибки функції  $u$  будемо мати оцінку

$$\delta = \frac{\Delta_U}{u} \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} / u \right| \cdot |\Delta x_i| = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial}{\partial x_i} \ln f(x_1, x_2, \dots, x_n) \right| \cdot |\Delta x_i|. \quad (4.7)$$

Отже, за граничну відносну похибку функції  $u$  можна прийняти

$$\delta_U = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial}{\partial x_i} \ln u \right| \cdot \Delta_{x_i} = d[\ln f(x_1, x_2, \dots, x_n)]. \quad (4.8)$$

З отриманих співвідношень випливає такий висновок: при визначенні якої-небудь величини, що потребує вимірювань декількох допоміжних величин:

- 1) максимальне значення абсолютної помилки результату дорівнює повному диференціалові функції, що визначає залежність даної величини від вимірюваних (допоміжних) величин, причому при обчисленні диференціала варто брати суму абсолютних значень усіх приватних диференціалів (усі частки помилки складаються);
- 2) максимальне значення відносної помилки результату дорівнює повному диференціалові натурального логарифма функції, що визначає залежність даної величини від вимірюваних (допоміжних) величин, причому при обчисленні диференціала варто брати суму абсолютних значень диференціалів усіх членів логарифма (усі частки помилки складаються).

Застосування даної методики неприпустимо в двох випадках:

- 1) при великих похибках  $\Delta x_i$  і нелінійній функції  $u = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , коли значний внесок у загальну похибку членів, що містять похибки  $\Delta x_i$  в другому та більш високих ступенях;

2) якщо перша похідна дорівнює нулеві, що має місце при екстремальних значеннях функції.

Розглянемо деякі окремі випадки.

\* Похибка суми  $u = x_1 + x_2$ .

За формулою (4.6) гранична абсолютна похибка  $\Delta_U$  суми  $\Delta_U = \Delta_{x_1} + \Delta_{x_2}$ , тобто гранична абсолютна похибка суми дорівнює сумі граничних абсолютних похибок кожного з доданків. Гранична відносна похибка суми

$$\delta_U = \frac{\Delta_{x_1} + \Delta_{x_2}}{A_1 + A_2}, \quad (4.9)$$

де  $A_1$  і  $A_2$  - точні величини доданків  $x_1$  і  $x_2$ . З формули (4.9) випливає, що гранична відносна похибка суми не перевищує найбільшої з граничних відносних похибок доданків.

Отримані співвідношення легко можна узагальнити для випадку  $n > 2$  доданків:

$$\Delta_U = \Delta_{x_1} + \Delta_{x_2} + \dots + \Delta_{x_n} \text{ та } \delta_U = \frac{\Delta_{x_1} + \Delta_{x_2} + \dots + \Delta_{x_n}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}. \quad (4.10)$$

З першого співвідношення випливає, що гранична абсолютна похибка суми не може бути менше граничної абсолютної похибки найменш точного (у сенсі абсолютної похибки) доданка, тобто доданка, що має максимальну абсолютну похибку. Отже, з яким би ступенем точності не були визначені інші доданки, неможливо за їхній рахунок збільшити точність суми.

\* Похибка різниці  $u = x_1 - x_2$ .

За формулою (4.6) гранична абсолютна похибка  $\Delta_U$  різниці  $\Delta_U = \Delta_{x_1} + \Delta_{x_2}$ , тобто гранична абсолютна похибка різниці дорівнює сумі граничних абсолютних похибок зменшуваного та від'ємника.

Гранична відносна похибка різниці

$$\delta_U = \frac{\Delta_{x_1} + \Delta_{x_2}}{A_1 - A_2}, \quad (4.11)$$

де  $A_1$  і  $A_2$  - точні величини чисел  $x_1$  і  $x_2$ . Аналізуючи співвідношення (4.11), необхідно висловити наступне зауваження: якщо наближені числа  $x_1$  і  $x_2$  досить близькі один до одного і мають малі абсолютні похибки, то різниця чисел  $A_1$  і  $A_2$  мала, що робить граничну відносну похибку

в цьому випадку досить великою при малих відносних похибках зменшеного та від'ємника. У цьому випадку відбувається втрата точності.

\* Похибка добутку  $u = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$ .

Використовуючи (4.8), знаходимо

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{x_n}. \quad (4.12)$$

Оцінюючи останній вираз за абсолютною величиною, одержимо:

$$\left| \frac{\Delta u}{u} \right| \leq \left| \frac{\Delta x_1}{x_1} \right| + \left| \frac{\Delta x_2}{x_2} \right| + \dots + \left| \frac{\Delta x_n}{x_n} \right|. \quad (4.13)$$

Якщо  $A_i, (i = 1, 2, \dots, n)$  - точні значення співмножників  $x_i$ , і  $\Delta x_i$  малі в порівнянні з  $x_i$ , то приблизно можна записати:

$$\left| \frac{\Delta x_i}{x_i} \right| \approx \left| \frac{\Delta x_i}{A_i} \right| = \delta_i \quad \text{і} \quad \left| \frac{\Delta u}{u} \right| = \delta, \quad (4.14)$$

де  $\delta_i$  - відносні похибки співмножників,  $\delta$  - відносна похибка добутку. Отже,  $\delta \leq \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n$  і гранична відносна похибка добутку дорівнює сумі граничних відносних похибок співмножників:

$$\delta_U = \delta_{x_1} + \delta_{x_2} + \dots + \delta_{x_n}. \quad (4.15)$$

Знаючи граничну абсолютну похибку добутку, можна визначити його граничну абсолютну похибку  $\Delta_U$

$$\Delta_U = |u| \cdot \delta_U. \quad (4.16)$$

Відзначимо окремий випадок  $u = kx$ , де  $k$  - точний множник, відмінний від нуля. Тоді

$$\delta_U = \delta_x \quad \text{і} \quad \Delta_U = |k| \cdot \Delta_x, \quad (4.17)$$

тобто при множенні наближеного числа на точний множник  $k$  відносна гранична похибка не змінюється, а абсолютна гранична похибка збільшується в  $|k|$  разів. Очевидно, що відносна похибка добутку не може бути менше відносної похибки найменш точного зі співмножників. Тому тут, як і у випадку додавання, не має сенсу зберігати в більш точних співмножниках зайву кількість значущих цифр.

**ПРИКЛАД 1.** При визначенні довжини  $a$  і ширини ділянки  $b$  отримали наступні значення:  $a=404$  м і  $b=298$  м при точних значеннях  $a_{точ}=400$  м і  $b_{точ}=300$  м. Визначити похибки вимірювань площі  $u = a \cdot b$ .

Розв'язання. Абсолютні похибки вимірювань

$$\Delta a = |a - a_{точ}| = |404 - 400| = 4 \text{ м}, \quad \Delta b = |b - b_{точ}| = |298 - 300| = 2 \text{ м},$$

відповідні відносні похибки

$$\delta_a = \frac{4}{400} = 0,01 \text{ і } \delta_b = \frac{2}{300} \approx 0,0067.$$

Згідно з (4.15)

$$\delta_u = \delta_a + \delta_b \approx 0,01 + 0,0067 = 0,0167.$$

Точне значення  $u = 400 \cdot 300 = 120000$  (м<sup>2</sup>),

тоді абсолютна похибка  $\Delta_u = u \cdot \delta_u = 120000 \cdot 0,0167 = 2004$ .

Остаточно запишемо  $u = a \cdot b = 120000 \pm 2004$  (м<sup>2</sup>).

\* Похибка частки  $u = \frac{x_1}{x_2}$ . У цьому випадку  $\ln u = \ln x_1 - \ln x_2$  і за

формулою (4.8) одержимо

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta x_1}{x_1} - \frac{\Delta x_2}{x_2}, \quad \left| \frac{\Delta u}{u} \right| = \left| \frac{\Delta x_1}{x_1} \right| + \left| \frac{\Delta x_2}{x_2} \right|. \quad (4.18)$$

Таким чином, відносна похибка частки не перевищує суми відносних похибок діленого і дільника, і, як наслідок,  $\delta_U = \delta_{x_1} + \delta_{x_2}$ .

\* Похибка ступеня  $u = x^m$  ( $m$  - натуральне число).

У цьому випадку  $\ln u = m \ln x$  і, отже,

$$\left| \frac{\Delta u}{u} \right| = m \cdot \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \text{ і } \delta_U = m \delta_x, \quad (4.19)$$

тобто гранична відносна похибка  $m$ -го ступеня числа в  $m$  разів більше граничної відносної похибки самого числа.

\* Похибка кореня  $u = \sqrt[m]{x}$ , тоді  $u^m = x$ . Звідси

$$\delta_U = \frac{1}{m} \delta_x, \quad (4.20)$$

тобто гранична відносна похибка  $m$ -го кореня числа в  $m$  разів менше граничної відносної похибки підкореневого числа.

\* Похибки функцій  $u = \sin x$  і  $u = \cos x$ .



За формулою (4.6) відповідно одержимо

$$\Delta_U = |\cos x| \cdot \Delta_X \text{ та } \Delta_U = |\sin x| \cdot \Delta_X. \quad (4.21)$$

З цих співвідношень видно, що  $\Delta_U \leq \Delta_X$ .

Як було сказано вище, у процесі вимірювань обидва види похибок виявляються одночасно, і похибка вимірювань можна представити у вигляді суми:

$$\Delta = \Delta_{\text{сист}} + \Delta_{\text{вип}}, \quad (4.22)$$

де  $\Delta_{\text{вип}}$  - випадкова, а  $\Delta_{\text{сист}}$  - систематична похибки.

Для одержання результатів, що мінімально відрізняються від справжніх значень величин, проводять багаторазові спостереження за вимірюваною величиною з наступною математичною обробкою дослідних даних. У загальному випадку похибка є випадковою функцією часу, тому не можна сказати, яке значення вона прийме у визначений момент часу. Можна вказати лише імовірності появи її значень у тому або іншому інтервалі. У серії експериментів, що складаються з ряду багаторазових спостережень, ми одержуємо одну реалізацію цієї функції. При повторенні серії при тих же значеннях величин, що характеризують фактори другої групи, неминуче одержуємо нову реалізацію, що відрізняється від першої.

Виключити випадкові похибки окремих вимірювань неможливо, однак математична теорія випадкових явищ дозволяє зменшити вплив цих похибок на остаточний результат вимірювань. Для цього необхідно зробити не одне, а кілька вимірювань, причому, чим менше значення похибки ми хочемо одержати, тим більше вимірювань необхідно провести.

Допустимо, проведено  $N$  послідовних вимірювань однієї і тієї ж величини  $x$  (без аналізу питання, скільки вимірювань необхідно провести), що дали значення  $x_1, x_2, \dots, x_N$ . Вважаємо, що усі вимірювання виконані тим самим методом з однаковим ступенем старанності, тобто виконана умова рівноточності вимірювань. За найбільш ймовірне значення вимірюваної величини, звичайно, приймають середнє арифметичне значення, обчислене з усього ряду отриманих значень:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j. \quad (4.23)$$

Отримане значення використовується як оцінка для математичного очікування  $m_X$ . Однак знання одного лише середнього значення недостатньо – важливо знати розкид результатів вимірювань щодо цього середнього значення. Середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  визначається з формули для знаходження дисперсії  $\sigma^2$ :

$$\sigma^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (x_j - m_x)^2. \quad (4.24)$$

На жаль, цю формулу неможливо використовувати, тому що кількість вимірювань  $N$  обмежена. Тому як оцінку середнього квадратичного відхилення  $\sigma$  використовують розсіяння (вибіркове середнє квадратичне відхилення)  $S$ , яке визначається за формулою для емпіричної дисперсії  $S^2$ . Для цього обчислюють так звані залишки для кожного проведеного  $j$ -го вимірювання  $x_j - \bar{x}$ , що є відомими величинами:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2 = \frac{N}{N-1} \left[ \frac{\sum_{j=1}^N x_j^2}{N} - \bar{x}^2 \right]. \quad (4.25)$$

З порівняння формул (4.24) і (4.25) одержимо співвідношення

$$\sigma^2 = \frac{N}{N-1} S^2. \quad (4.26)$$

У теорії помилок величина  $S$  називається середньою помилкою, а результат вимірювань вказується як  $\bar{x} \pm S$ . Це, однак не означає, що справжнє значення вимірюваної величини з вірогідністю розташоване в інтервалі  $(\bar{x} - S, \bar{x} + S)$ .

У розглянутому випадку результати були отримані шляхом прямих спостережень. Якщо ж шукану величину потрібно розраховувати по інших вимірюваних величинах, то важливо знати, яким чином середні помилки вимірюваних величин позначаються на розрахунковій величині. Тут можуть бути два основних випадки:

- 1) цікавляча нас величина залежить від однієї вимірюваної величини;
- 2) цікавляча нас величина залежить від декількох вимірюваних величин.

Загальні правила обчислення похибок для обох випадків можуть бути легко виведені за допомогою диференціального числення.

Нехай задана диференційована функція  $u = f(x)$ , і для величини  $x$  відомі  $\bar{x}$  - середнє значення і  $S_x$  - середня помилка. Тоді з достатньою точністю можна написати

$$S_u = \frac{\partial u}{\partial x} \cdot S_x, \quad (4.27)$$

а для величини відносної похибки

$$\frac{S_U}{u} = \frac{\partial u}{\partial x} \cdot \frac{S_x}{u}. \quad (4.28)$$

Дані співвідношення аналогічні отриманим вище (4.6), (4.8).

Розглянемо тепер випадок, коли задана диференційована функція  $n$  змінних  $u = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , і нехай відомі середні значення  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$  і середні помилки  $S_{x_1}, S_{x_2}, \dots, S_{x_n}$ , тобто в загальному виді  $\bar{x}_i$  і  $S_{x_i}$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Тоді можна записати

$$S_U = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \cdot S_{x_i}. \quad (4.29)$$

Часткові похідні необхідно обчислювати в точках, що відповідають точним значенням змінних  $x_i$ , котрі, у силу їхньої невідомості, заміняємо середніми значеннями  $\bar{x}_i$ . З рівняння (4.29) випливає, що

$$S_U^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot S_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot \left( \frac{\partial f}{\partial x_k} \right) \cdot S_{x_i} \cdot S_{x_k}. \quad (4.30)$$

У випадку незалежності змінних  $x_i$  середнє значення добутку  $S_{x_i} \cdot S_{x_k}$  для будь-якої пари змінних дорівнює нулеві, що приводить до остаточної формули для середньої квадратичної помилки  $S_U^2$ :

$$S_U^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot S_{x_i}^2. \quad (4.31)$$

Розглянемо деякі окремі випадки.

\* Похибка суми  $u = x_1 + x_2$  (або різниці  $u = x_1 - x_2$ )

$$S_U^2 = 1 \cdot S_{x_1}^2 + 1 \cdot S_{x_2}^2 = S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2. \quad (4.32)$$

Отримані співвідношення легко можна узагальнити для випадку  $n > 2$  доданків:

$$S_U^2 = S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2 + \dots + S_{x_n}^2. \quad (4.33)$$

Вираження для відносних похибок:

$$\left( \frac{S_U}{u} \right)^2 = \frac{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2}{u^2}. \quad (4.34)$$

Як вже було показано, у випадку різниці  $u = x_1 - x_2$  відносна похибка буде тим більше, чим менше  $|x_1 - x_2|$ . При  $x_1 \rightarrow x_2$  вона зростає до нескінченності. Це означає, що неможливо досягти гарної точності визначення якої-небудь величини, будуючи вимірювання так, що вона визначається як невелика різниця результатів незалежних вимірювань двох величин, які істотно перевищують шукану. На противагу цьому відносна похибка суми не залежить від співвідношення величин  $x_i$ .

\* Похибка добутку  $u = x_1 \cdot x_2$ .

$$S_U^2 = x_2^2 \cdot S_{x_1}^2 + x_1^2 \cdot S_{x_2}^2, \quad (4.35)$$

а відносна похибка

$$\left(\frac{S_U}{u}\right)^2 = \left(\frac{S_{x_1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{S_{x_2}}{x_2}\right)^2. \quad (4.36)$$

Аналогічно обчислюються похибки і для більшого числа співмножників.

\* Похибка частки  $u = \frac{x_1}{x_2}$ .

$$S_U^2 = \frac{1}{x_2^2} \cdot S_{x_1}^2 + \left(\frac{x_1}{x_2^2}\right)^2 \cdot S_{x_2}^2, \quad (4.37)$$

а відносна похибка збігається з відносною похибкою для добутку.

\* Похибка ступеня  $u = x^m$  ( $m$  - натуральне число).

Відповідно до виражень (4.27) і (4.28) одержимо відповідні співвідношення:

$$S_U = mx^{m-1} \cdot S_x, \quad \frac{S_U}{u} = m \cdot \frac{S_x}{x}. \quad (4.38)$$

З закону додавання похибок можна зробити висновок. Середнє арифметичне з ряду вимірювань обтяжено меншою похибкою, ніж результат кожного окремого вимірювання. Доведемо це ствердження.

Нехай  $x_1, x_2, \dots, x_N$  - результати окремих вимірювань, причому кожне з них характеризується однієї і тією же емпіричною дисперсією  $S^2$ . Утворимо величину  $y$ , рівну

$$y = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j = \frac{1}{N} x_1 + \frac{1}{N} x_2 + \dots + \frac{1}{N} x_N. \quad (4.39)$$

Дисперсія цієї величини визначається відповідно до формули (4.31) як

$$S_Y^2 = \frac{S^2}{N^2} + \frac{S^2}{N^2} + \dots + \frac{S^2}{N^2} = \frac{N}{N^2} S^2 = \frac{S^2}{N}. \quad (4.40)$$

Але  $y$ , за визначенням, є середнім арифметичним  $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j$  із усіх величин  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , тому можна написати:

$$S_Y = S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{N}}. \quad (4.41)$$

Середня квадратична похибка середнього арифметичного дорівнює середній квадратичній похибці окремого результату вимірювань. Це фундаментальний закон зростання точності при зростанні числа спостережень. З нього випливає, що, бажаючи підвищити точність вимірювань у 2 рази, ми повинні зробити замість одного – чотири вимірювання, щоб підвищити точність у 3 рази, необхідно зробити дев'ять вимірювань тощо. Зрозуміло, це міркування відноситься лише до вимірювань, при яких точність результату цілком визначається випадковою похибкою.

З закону додавання похибок випливає ще один важливий висновок, що визначає роль кожної з похибок у загальній похибці результату, - значення окремих похибок дуже швидко падає по мірі їхнього зменшення. Наприклад,  $x_1$  і  $x_2$  - два доданки, визначених зі середніми квадратичними похибками  $S_{x_1}$  і  $S_{x_2}$ , причому відомо, що  $S_{x_2}$  в два рази менше, ніж  $S_{x_1}$ . Тоді похибка суми  $u = x_1 + x_2$  буде:

$$S_U^2 = S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2 = S_{x_1}^2 + \frac{1}{4} S_{x_1}^2 = \frac{5}{4} S_{x_1}^2 \text{ та } S_U \approx 1,1 \cdot S_{x_1}. \quad (4.42)$$

Отже, якщо одна з похибок у два рази менше іншої, то загальна похибка зростає за рахунок цієї меншої похибки всього на 10%, що звичайно грає дуже малу роль. Це означає, що якщо ми хочемо підвищити точність вимірювань величини  $u$ , то необхідно в першу чергу прагнути зменшити ту похибку вимірювань, що більше, у даному випадку - похибку вимірювань величини  $x_1$ . Звичайно, якщо складових багато, а не дві, як у прикладі, то і мала похибка може внести помітний вклад у сумарну похибку.

**ПРИКЛАД 2.**  $Z$  - функція незалежних вимірюваних величин  $A$  і  $B$ . Обчислити  $Z$  і середню квадратичну похибку  $S_Z$  по заданим значенням:

$$1. Z = A^2, A = 25 \pm 1.$$

Розв'язання.  $\delta_A = \frac{S_A}{A} = \frac{1}{25} = 0,04$ ,  $\delta_Z = \frac{S_Z}{Z} = 2 \cdot \frac{S_A}{A} = 0,08$ ,  
 $Z = A^2 = 25^2 = 625$ , тому  $S_Z = \delta_Z \cdot Z = 0,08 \cdot 625 = 50$ . Остаточна  
 $Z = 625 \pm 50$ .

$$2. Z = A - 2B, A = 100 \pm 3, B = 45 \pm 2.$$

Розв'язання.  $2B = 90 \pm 4$ ,  $(S_Z)^2 = 3^2 + 4^2 = 25$ , звідки  $S_Z = 5$ .  
 $Z = A - 2B = 100 - 90 = 10$ , тому остаточно  $Z = 10 \pm 5$ . Це наочно показує проблеми, які виникають при визначенні різниці. Відносні похибки становлять для  $A$  - 0,03, для  $B$  - 0,045, а для  $Z$  - 0,5, тобто на порядок більше у порівнянні з попередніми величинами.

$$3. Z = A + B, A = 10000 \pm 1, B = 100 \pm 5.$$

Розв'язання.  $(S_Z)^2 = 1^2 + 5^2 = 26$ , звідки  $S_Z = 5,1$ .  
 $Z = A + B = 10000 + 100 = 10100$ . Відносні похибки становлять для  $A$  - 0,0001, для  $B$  - 0,05, а для  $Z$  - 0,000505, тобто велика відносна похибка другого доданку (у порівнянні з першим) не є перешкодою при отриманні прийнятної величини відносно похибки загальної суми. Це ще раз переконує в тому, що максимальну точність необхідно в подібних ситуаціях отримувати для домінуючих (за величиною) доданків.

$$4. Z = \frac{A}{B} (C^2 + D^{3/2}), A = 0,100 \pm 0,003, B = 1,00 \pm 0,05, C = 50,0 \pm 0,5, D = 100 \pm 8.$$

Розв'язання.

$$\delta_C = \frac{S_C}{C} = \frac{0,5}{50} = 0,01, \quad \delta_{C^2} = 2 \cdot \delta_C = 0,02,$$

$$C^2 = 2500 \pm 0,02 \cdot 2500 = 2500 \pm 50.$$

$$\delta_D = \frac{S_D}{D} = \frac{8}{100} = 0,08, \quad \delta_{D^{3/2}} = \frac{3}{2} \cdot \delta_D = 0,12,$$

$$D^{3/2} = 1000 \pm 0,12 \cdot 1000 = 1000 \pm 120.$$

$$S_{C^2+D^{3/2}} = (50^2 + 120^2)^{1/2} = 130, \quad C^2 + D^{3/2} = 3500 \pm 130, \quad \text{звідки}$$

$$\frac{S_{C^2+D^{3/2}}}{C^2 + D^{3/2}} = \frac{130}{3500} \approx 0,037.$$

$$\left(\frac{S_Z}{Z}\right)^2 = \left(\frac{S_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{S_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{S_{C^2+D^{3/2}}}{C^2+D^{3/2}}\right)^2 = 0,03^2 + 0,05^2 + 0,037^2 = 0,004769$$

$$\text{, а } \frac{S_Z}{Z} = 0,069, S_Z = 350 \cdot 0,069 \approx 24. \quad Z = \frac{A}{B} \left( C^2 + D^{3/2} \right) = 350 \pm 24.$$

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Як класифікуються похибки вимірювань?
2. Як визначаються похибки непрямих вимірювань при систематичних похибках?
3. Як визначаються похибки непрямих вимірювань при випадкових похибках?
4. Як проводиться аналіз отриманих результатів вимірювань однієї величини?
5. Для чого необхідно проводити багаторазові вимірювання величини?

## ЛЕКЦІЯ 5. ОСНОВНІ ПРАВИЛА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ. КРИТЕРІЇ ЗГОДИ

Результати серії вимірювань однієї величини можна наочно представити, побудувавши діаграму, що показувала б, як часто виходили ті або інші значення. Така діаграма називається **гістограма**. При її побудові для отриманих результатів вимірювань величини  $x - x_1, x_2, \dots, x_N$  - визначають мінімальне  $x_{\min}$ , максимальне  $x_{\max}$  значення і розмах  $R = x_{\max} - x_{\min}$ . Отриманий інтервал розбивають на  $m$  інтервалів. Чітких рекомендацій щодо величини  $m$  не існує, однак у залежності від числа вимірювань  $N$  використовують різні співвідношення:  $m = \log_2 N + 1$ ;  $m = 5 \lg N$ ;  $m = 4 \lg N$ ;  $m = 1,9N^{0,4}$ ;  $m = \sqrt{N}$ ;  $m = 5 \lg N - 5$ ;  $m_{\min} = 0,55N^{0,4} \div m_{\max} = 1,25N^{0,4}$ .

Для  $N=100$  кількість інтервалів варіюється від 4 до 12, що залишає право вибору величини  $m$  в кожному конкретному випадку за тими, хто обробляє результати проведених вимірювань.

Після підрахунку кількості значень  $W_1, W_2, \dots, W_m$  ( $W_1 + W_2 + \dots + W_m = N$ ), що потрапили у кожний інтервал, для нього визначають відносну частоту (або частість)  $r_j = W_j / N$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  - імовірність влучення результату окремого вимірювання у визначений інтервал. За допомогою масштабу по кожному інтервалу будують прямокутники, що відображають величини  $r_j$ , та одержують площу гістограми рівної 1.

Як уже було показано вище, можна одержати середнє арифметичне або центр групування відхилень  $\bar{x}$ , вибіркоче середнє квадратичне відхилення від центра групування  $S$ , вибіркочув дисперсію  $S^2$ . Збільшуючи число вимірювань  $N$ , і зменшуючи величину всіх інтервалів, гранично можна одержати гладку криву, що називається **щільністю імовірності** або **щільністю розподілу**. Приймаючи до увагу наступні припущення:

- 1) похибки вимірювань можуть приймати безперервний ряд значень;
- 2) при великому числі вимірювань похибки рівних значень, але різних знаків, зустрічаються однаково часто;
- 3) частота появи похибок зменшується зі збільшенням величини похибок, іншими словами, великі похибки спостерігаються рідше, ніж малі;
- 4) випадкова величина є функцією великого числа незалежних рівнозначних факторів – кожен фактор окремо на результат



вимірювання величини  $x$  впливає незначно і не можна вказати, який саме в більшому ступені;  
 одержимо для випадкової похибки вимірювань закон розподілу Гаусса, або нормальний розподіл, або нормальний закон:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x - m_X)^2}{2\sigma^2}\right\},$$

або

$$f_X(\Delta_X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\Delta_X)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad (5.1)$$

де  $m_X$  - математичне очікування,  $\sigma$  - середнє квадратичне відхилення,  $\sigma^2$  - дисперсія, що визначаються за формулами (4.23-4.25),  $\Delta_X$  - абсолютна похибка. Графік щільності імовірності (5.1) показано на Рис. 5.1. Відзначимо деякі властивості кривої нормального розподілу:

- 1) крива розподілу симетрична щодо вертикалі, що проходить через абсцису  $x = m_X$ ;
- 2) крива розподілу унімодальна (має одну вершину) при  $x = m_X$ , досягаючи в ній максимуму  $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ ;
- 3) при  $|x| \rightarrow \infty$  гілки кривої асимптотично наближаються до осі  $X$ ;
- 4) при зміні значення  $m_X$  крива зміщається уздовж осі  $X$  без зміни форми;
- 5) з ростом значення  $\sigma$  крива стає більш спадаючою, при зменшенні  $\sigma$  ( $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ ) крива стає більш гострою, тобто значення  $x_1, x_2, \dots, x_N$  групуються біля значення  $x = m_X$ .
- 6)

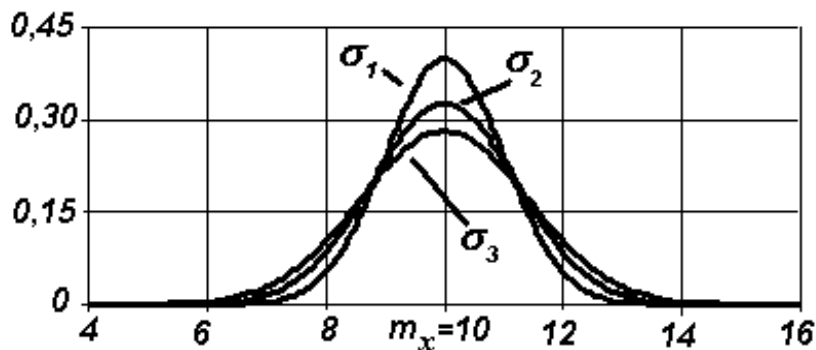


Рисунок 5.1.

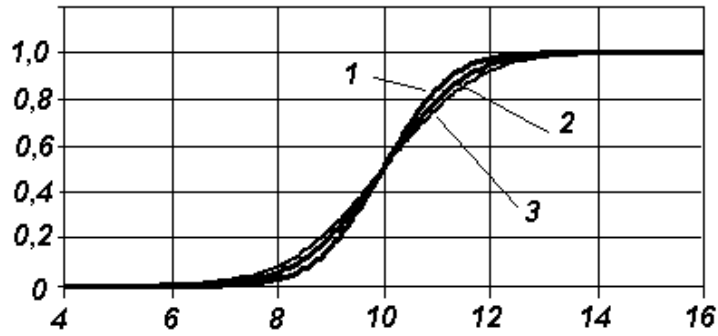


Рисунок 5.2

Як і будь-який інший закон розподілу, функція  $f_X(x)$  є невід'ємною, площа під усією кривою дорівнює одиниці, тобто імовірність влучення випадкової величини в інтервал  $(-\infty, +\infty)$  дорівнює одиниці, що відповідає достовірній події.

Основна особливість, що виділяє нормальний закон серед інших законів, полягає в тому, що він є граничним законом, до якого наближаються інші закони розподілу. Відповідно до центральної граничної теореми теорії імовірності, при досить великому  $N$  сума незалежних випадкових величин  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , які підкоряються яким завгодно законам розподілу, буде мати закон розподілу, близький до нормального. Функція розподілу випадкової величини, що має нормальний розподіл, буде мати вигляд:

$$F_X(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^X \exp\left\{-\frac{(x-m_X)^2}{2\sigma^2}\right\} dx. \quad (5.2)$$

На Рис.5.2 представлені графіки функції розподілу (5.2). **Функція розподілу** – це функція, що визначає імовірність того, що випадкова величина  $x$  прийме значення менше даного значення  $X$ :

$$F_X(X) = P(x < X). \quad (5.3)$$

З визначення випливає, що  $0 \leq F_X(X) \leq 1$ , є функцією монотонно зростаючою,  $F(-\infty) = 0$  і  $F(+\infty) = 1$ . Імовірність того, що значення випадкової величини потрапить в інтервал  $(a, b)$ , дорівнює різниці значень функції розподілу на кінцях інтервалу:

$$P(a \leq X \leq b) = F_X(b) - F_X(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a-m_X}{\sigma}}^{\frac{b-m_X}{\sigma}} \exp(-t^2/2) dt. \quad (5.4)$$

Уводячи функцію

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp(-t^2/2) dt, \quad (5.5)$$

остаточно запишемо вираз (5.4):

$$P(a \leq X \leq b) = \left[ \Phi\left(\frac{b - m_X}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a - m_X}{\sigma}\right) \right]. \quad (5.6)$$

При розрахунках варто враховувати, що функція  $\Phi(z)$  є непарною і  $\Phi(-z) = -\Phi(z)$ . У Табл. 5.1 наведена імовірність того, що випадкова величина виявиться у визначеному інтервалі.

Таблиця 5.1.

Інтервал	$\Phi(z)$	Імовірність
$m_X \pm 0,5\sigma$	0,1915	0,3829
$m_X \pm \frac{2}{3}\sigma$	~0,25	~0,50
$m_X \pm \sigma$	0,3413	0,6827
$m_X \pm 2\sigma$	0,4772	0,9545
$m_X \pm 2,5\sigma$	0,4938	0,9876
$m_X \pm 3\sigma$	0,49865	0,9973
$m_X \pm 4\sigma$	0,499968	0,999936

З таблиці видно, що практично влучення в інтервал  $m_X \pm 3\sigma$  є достовірною подією, що приводить для нормального розподілу до так названого правила «три сигми».

Слід зазначити, що при нормальному розподілі похибок прямих вимірювань, похибки заснованих на них непрямих вимірювань можуть бути розподілені за законом, який відрізняється від нормального. Нехай, наприклад, визначаються діаметри  $d$  шариків підшипника, похибки вимірювання яких розподілені за нормальним законом. Тоді крива розподілу похибок мас шариків  $M$  з урахуванням  $M = \rho \frac{\pi d^3}{6}$  буде відрізнятися від нормального закону. У загальному випадку, якщо відомі  $f_X(x)$  (5.1) і вираз  $y = \varphi(x)$  (монотонна і диференційована функція), то закон розподілу випадкової величини  $Y$  визначається:

$$g_Y(y) = f_X[\varphi(y)] \cdot |\varphi'(y)|. \quad (5.7)$$

У приведенному прикладі для мас шариків підшипника маємо:

$$y = \varphi(x) = \rho \frac{\pi x^3}{6}, \quad x = \psi(y) = \left( \frac{6y}{\rho\pi} \right)^{1/3}, \quad \psi'(y) = \frac{1}{3} \left( \frac{6y}{\rho\pi} \right)^{-2/3} \cdot \frac{6}{\rho\pi}, \quad (5.8)$$

$$g_Y(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \frac{\left[ \left( \frac{6y}{\rho\pi} \right)^{1/3} - m_X \right]^2}{2\sigma^2} \right\} \cdot \frac{1}{3} \left( \frac{6y}{\rho\pi} \right)^{-2/3} \cdot \frac{6}{\rho\pi},$$

тобто у випадку нелінійної залежності  $y = \varphi(x)$  нормальність закону не зберігається і крива розподілу похибок мас шариків буде асиметрична щодо середнього значення маси. Аналогічно похибки моменту інерції шариків або площ їхнього головного перетину будуть розподілені за законом, що у принципі відмінний від нормального. На Рис. 5.3 і 5.5 представлений нормальний розподіл діаметрів шариків підшипників, а на Рис. 5.4 і 5.6 представлені відповідні йому нормальний розподіл (крива 1) і дійсний розподіл (крива 2) площ головного перетину для різних значень  $\sigma$ . Видно, що в першому випадку обидві криві практично збігаються, а в другому відмінність між ними істотна.

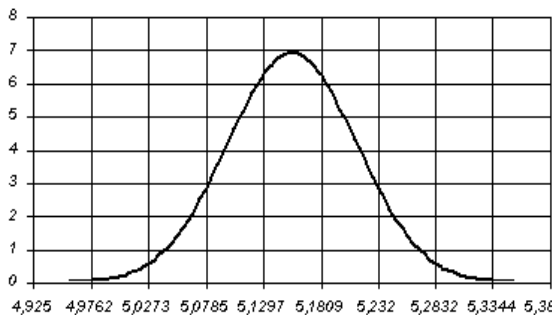


Рисунок 5.3.

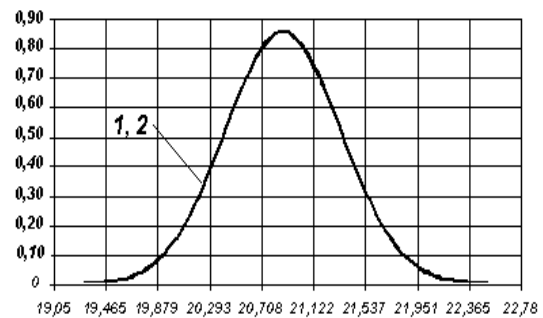


Рисунок 5.4.

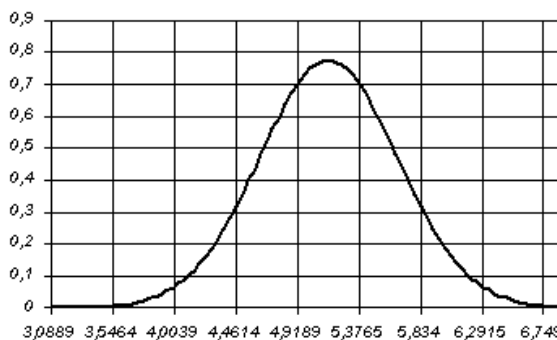


Рисунок 5.5.

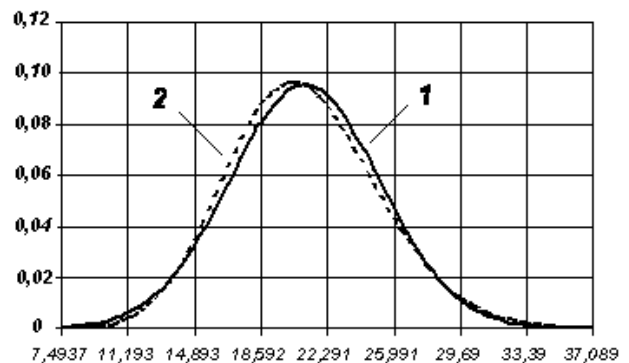


Рисунок 5.6.

## ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ МАЛОМУ ЧИСЛІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Відзначимо, що лінійне перетворення не змінює виду закону розподілу, відбувається перенесення початку координат у нову точку і зміна масштабу зображення кривої розподілу.

Оцінки, отримані при аналізі  $N$  послідовних вимірювань однієї і тієї ж величини  $x$  - середнє арифметичне значення, обчислене з усього ряду вимірюваних значень,  $\bar{x}$  - для математичного очікування  $m_x$  і розсіювання (вибіркове середнє квадратичне відхилення)  $S$  (або емпірична дисперсія  $S^2$ ) - для середнього квадратичного відхилення  $\sigma$  (або дисперсії  $\sigma^2$ ), указують на точку на числовій осі, у якій повинне знаходитися значення невідомого параметра. У ряді задач потрібно не тільки знайти для параметра  $x$  відповідне числове значення, але й оцінити його точність і надійність. Такого роду задачі дуже важливі при малому числі спостережень, тому що точкова оцінка  $\bar{x}$  значною мірою є випадковою і наближена заміна  $x$  на  $\bar{x}$  може привести до серйозних помилок. Нагадаємо, що у теорії помилок величина  $S$  називається середньою помилкою, а результат вимірювання вказується як  $\bar{x} \pm S$ . Це, однак не означає, що справжнє значення вимірюваної величини з вірогідністю розташовано в інтервалі  $(\bar{x} - S, \bar{x} + S)$ .

Для визначення точності оцінки  $\bar{x}$  в математичній статистиці користуються довірчими інтервалами, а у визначенні надійності – довірчими імовірностями.

Нехай для параметра  $m_x$  отримана незміщена оцінка  $\bar{x}$ . Потрібно оцінити можливу при цьому помилку. Задаємо деяку імовірність  $\beta$  (формально знаходиться в інтервалі  $0 < \beta < 1$ , однак на практиці застосовують  $0,9 \leq \beta < 1$ ) і знаходимо таке значення  $\varepsilon > 0$ , для якого

$$P(|\bar{x} - m_x| < \varepsilon) = \beta, \text{ або } P(\bar{x} - \varepsilon < m_x < \bar{x} + \varepsilon) = \beta. \quad (5.9)$$

Рівність означає, що невідоме значення параметра  $m_x$  з імовірністю  $\beta$  знаходиться в інтервалі  $l_\beta(\bar{x} - \varepsilon, \bar{x} + \varepsilon)$ . Помітимо, що тут невідоме значення параметра  $m_x$  є не випадковою величиною, а інтервал  $l_\beta$  є випадковою величиною, тому що розміщення інтервалу на осі залежить від випадкової величини  $\bar{x}$  - центра інтервалу, довжина інтервалу  $2\varepsilon$  теж у загальному випадку є випадковою величиною. Тому в даному випадку імовірність  $\beta$  краще трактувати не як імовірність влучення точки  $m_x$  в інтервал  $l_\beta$ , а як імовірність того, що випадковий інтервал  $l_\beta$  накриватиме

дану точку. Інтервал  $l_\beta$  називається **довірчим інтервалом**, а імовірність  $\beta$  - **довірчою імовірністю**, тобто довірчою імовірністю або надійністю  $\beta$ , що відповідає даному довірчому інтервалові  $l_\beta$  називається імовірність того, що справжнє значення параметра лежить у цьому інтервалі.

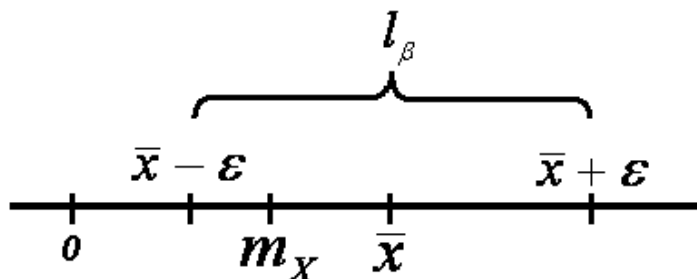


Рисунок 5.7

Для точної побудови довірчого інтервалу необхідно знати закон розподілу випадкової величини  $\bar{x}$ , що у загальному випадку залежить від значень  $x_1, x_2, \dots, x_N$  величини  $x$ . У деяких випадках від випадкової величини  $\bar{x}$  можна перейти до іншої випадкової величини, що є функцією значень  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , які спостерігаються, закон розподілу якої не залежить від невідомих параметрів величини  $x$ , а залежить тільки від числа  $N$  дослідів і від вигляду закону розподілу зазначеної випадкової величини.

Так, наприклад, доведено, що при нормальному розподілі величини  $x$  випадкова величина

$$T = \sqrt{N} \frac{\bar{x} - m_x}{\sqrt{S^2}} \quad (5.10)$$

підкоряється розподілу Стюдента зі  $N - 1$  ступенями волі. Щільність імовірності розподілу Стюдента має вигляд

$$S_{N-1} = \frac{\Gamma\left(\frac{N}{2}\right)}{\sqrt{\pi(N-1)}\Gamma\left(\frac{N-1}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{N-1}\right)^{-\frac{N}{2}}, \quad (5.11)$$

де  $\Gamma(z) = \int_0^\infty u^{z-1} \exp(-u) du$  - гамма-функція. З формули (5.12) видно, що розподіл Стюдента, будучи парною функцією  $t$ , не залежить від  $\bar{x}$  і  $S^2$ , а залежить тільки від числа вимірювань  $N$ .

Розглянемо застосування розподілу Стюдента для побудови довірчого інтервалу для математичного очікування (вважаємо, що  $\bar{x}$  і  $S^2$  відомі). Позначимо через  $\varepsilon_\beta$  половину довжини інтервалу, симетричного відносно  $\bar{x}$ , тоді маємо:

$$P(|\bar{x} - m_x| < \varepsilon_\beta) = \beta. \quad (5.12)$$

Перейдемо в лівій частині рівняння (5.12) від випадкової величини  $\bar{x}$  до випадкової величини  $T$ , розподіленої за законом Стюдента. Для цього помножимо обох частин нерівності  $(|\bar{x} - m_x| < \varepsilon_\beta)$  на додатну величину

$\frac{\sqrt{N}}{\sqrt{S^2}}$  й одержимо:

$$P\left(\frac{\sqrt{N} \cdot |\bar{x} - m_x|}{\sqrt{S^2}} < \frac{\varepsilon_\beta}{\sqrt{\frac{S^2}{N}}}\right) = \beta, \text{ або } P\left(|T| < \frac{\varepsilon_\beta}{\sqrt{\frac{S^2}{N}}}\right) = \beta \quad (5.13)$$

з урахуванням позначення (5.10). Використовуючи властивість парності функції  $S_{N-1}(t)$ , одержимо, що імовірність  $\beta$  здійснення нерівності

$|T| < t_\beta = \frac{\varepsilon_\beta}{\sqrt{\frac{S^2}{N}}}$  дорівнює:

$$P(|T| < t_\beta) = 2 \int_0^{t_\beta} S_{N-1}(t) dt = \beta. \quad (5.14)$$

Отримане рівняння визначає величину  $t_\beta$  залежно від довірчої імовірності  $\beta$ . Існує готова таблиця, за допомогою якої по довірчій імовірності  $\beta$  і числу ступенів волі  $N - 1$  знаходять величину  $t_\beta$ . Далі за формулою

$$\varepsilon_\beta = t_\beta \sqrt{\frac{S^2}{N}} \quad (5.15)$$

знаходять половину ширини довірчого інтервалу  $l_\beta$ . Отже, сам інтервал

$$l_\beta = \left( \bar{x} - t_\beta \sqrt{\frac{S^2}{N}}, \bar{x} + t_\beta \sqrt{\frac{S^2}{N}} \right). \quad (5.16)$$

**ПРИКЛАД.** Проведено  $N = 10$  незалежних дослідів над випадковою величиною  $x$ , яка розподілена нормально з невідомими  $m_x$  та  $\sigma^2$ . Результати дослідів представлені у вигляді статистичного ряду:

$j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_j$	2,5	2	-2,3	1,9	-2,1	2,4	2,3	-2,5	1,5	-1,7

Визначити оцінку  $\bar{x}$  для математичного очікування та побудувати довірчий інтервал, який відповідає довірчій імовірності  $\beta = 0,95$ .

Розв'язання. Маємо

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j = 0,4; S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2 = \frac{N}{N-1} \left[ \frac{\sum_{j=1}^N x_j^2}{N} - \bar{x}^2 \right] \approx 4,933.$$

За таблицею для  $N - 1 = 9$  та  $\beta = 0,95$  знаходимо  $t_\beta = 2,26$ , звідки

$$\varepsilon_\beta = t_\beta \sqrt{\frac{S^2}{N}} \approx 1,58. \quad \text{Остаточний довірчий інтервал буде}$$

$$l_\beta = (-1,18 \ ; \ 1,98).$$

## ПОНЯТТЯ ПРО КРИТЕРІЇ ЗГОДИ

У багатьох випадках на практиці на підставі тих або інших даних робиться припущення про вигляд закону розподілу цікавлячої нас випадкової величини  $x$ . Однак для остаточного рішення питання про вигляд закону розподілу в подібних випадках вважається доцільним перевірити, наскільки зроблене припущення погоджується з дослідом. При цьому через обмежене число спостережень дослідний закон розподілу звичайно буде якоюсь мірою відрізнятися від передбачуваного, навіть якщо припущення про закон розподілу зроблено правильно. У зв'язку з цим виникає необхідність вирішувати наступну задачу: чи є розбіжність між дослідним законом розподілу і передбачуваним законом розподілу наслідком обмеженого числа спостережень, або вона є істотною і пов'язана з тим, що дійсний розподіл випадкової величини відрізняється від передбачуваного. Для вирішення поставленої задачі служать так звані «критерії згоди».

Ідея застосування критеріїв згоди полягає в наступному.

Нехай, наприклад, на підставі даного статистичного матеріалу ми маємо перевірити гіпотезу  $H_0$ , що полягає в тому, що випадкова величина  $x$  має функцію розподілу  $F_x(x)$ .

Для того щоб прийняти або спростувати гіпотезу  $H_0$ , будемо розглядати випадкову величину  $y$ , що характеризує ступінь розбіжності те-



оретичного і статистичного розподілів. Величину  $y$  можна вибирати різними способами. Наприклад, у якості  $y$  можна взяти максимальне відхилення статистичної функції розподілу  $F_x^*(x)$  від теоретичної  $F_x(x)$ . Очевидно, закон розподілу випадкової величини  $y$  залежить від закону розподілу випадкової величини  $x$ , яку досліджували, і від кількості дослідів  $N$ .

Припустимо, що закон розподілу випадкової величини нам відомий.

Нехай у результаті проведених  $N$  вимірювань випадкової величини  $x$  величина  $y$  прийняла деяке значення  $\bar{y}$ . Запитується, чи можна пояснити прийняте значення  $y = \bar{y}$  випадковими причинами або ж це значення занадто велике і вказує на наявність істотної різниці між теоретичним і статистичним розподілами, тобто непридатність гіпотези  $H_0$ ? Для відповіді на це питання припустимо, що вірна гіпотеза  $H_0$ , і обчислимо імовірність того, що випадкова величина  $y$  за рахунок випадкових причин, зв'язаних з обмеженим обсягом дослідного матеріалу, прийме значення не менше, ніж значення  $\bar{y}$ , що спостерігається, тобто обчислимо імовірність  $P(\bar{y} > y)$ . Якщо ця імовірність мала, то гіпотезу  $H_0$  варто спростувати як малоправдоподібну, а якщо ж ця імовірність значна, то експериментальні дані не суперечать гіпотезі  $H_0$ .

Для обчислення імовірності  $P(\bar{y} > y)$  необхідно знати закон розподілу випадкової величини  $y$ , що, як ми уже відзначали, залежить від закону розподілу випадкової величини  $x$  (функції розподілу  $F_x(x)$ ) і від числа вимірювань  $N$ . Виявляється, що при деяких способах вибору випадкової величини  $y$  її закон розподілу при досить великому  $N$  практично не залежить від закону розподілу випадкової величини  $x$ . Саме такими мірами розбіжності і користуються в математичній статистиці як **критерії згоди**.

Найбільш простим критерієм перевірки гіпотези про вигляд закону розподілу є **критерій Колмогорова**, що представляє собою максимальне значення абсолютної величини різниці між статистичною функцією розподілу  $F_x^*(x)$  і відповідною теоретичною функцією розподілу  $F_x(x)$ , тобто

$$D = \max |F_x^*(x) - F_x(x)|. \quad (5.17)$$

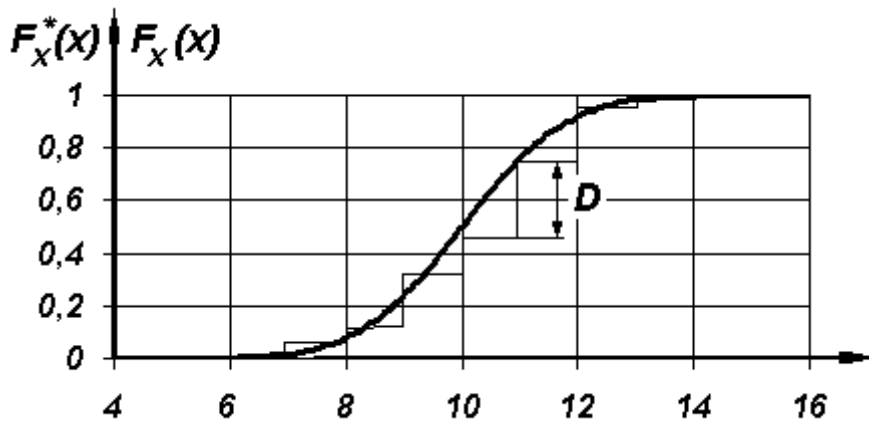


Рисунок 5.8

Колмогоров довів, що який би вигляд не мала безперервна функція розподілу  $F_X(x)$  при необмеженому зростанні числа незалежних спостережень  $N$ , імовірність нерівності  $D\sqrt{N} \geq \lambda$  наближається до границі

$$P(\lambda) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k \exp(-2k^2 \lambda^2). \quad (5.18)$$

Для імовірності  $P(\lambda)$  складена Таблиця 5.2.

Таблиця 5.2.

$\lambda$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
$P(\lambda)$	1	0,997	0,964	0,864	0,711	0,544	0,393	0,27	0,178
$\lambda$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
$P(\lambda)$	0,112	0,068	0,04	0,022	0,012	0,006	0,003	0,001	0,001

Схема застосування критерію Колмогорова наступна:

- 1) за результатами  $N$  зроблених вимірювань будується статистична функція розподілу  $F_X^*(x)$ ;
- 2) на цьому ж графіку будується передбачувана теоретична функція розподілу  $F_X(x)$ ;
- 3) визначається максимальна величина модуля різниці їхніх ординат (див. Рис. 5.8);
- 4) обчислюється величина  $\lambda = D\sqrt{N}$ ;
- 5) по вищевказаній таблиці знаходиться імовірність  $P(\lambda)$ , що відповідає тому, що за рахунок випадкових причин максимальна розбіжність між  $F_X(x)$  і  $F_X^*(x)$  буде не менше, ніж спостерігається фактично.

Якщо імовірність  $P(\lambda)$  дуже мала, гіпотеза не приймається, при порівняно великій імовірності  $P(\lambda)$  гіпотеза приймається. Критерій Колмогорова може застосовуватися тільки у випадку, коли гіпотетичний розподіл

$F_X(x)$  цілком відомий, тобто відомі не тільки вигляд функції розподілу  $F_X(x)$ , але і усі вхідні в неї параметри. Очевидно, що такі випадки на практиці зустрічаються рідко. Звичайно, з теоретичних розумінь відомий тільки вигляд функції  $F_X(x)$ , параметри її приходиться визначати за результатами вибірки. У таких випадках варто застосовувати інші критерії згоди. Одним з найбільш часто застосовуваних на практиці критеріїв згоди є **критерій Пірсона**, або **критерій  $\chi^2$**  («хі-квадрат»), який дозволяє робити перевірку гіпотези відповідності одержуваного закону розподілу передбачуваному (теоретичному) не тільки у випадках, коли останній відомий цілком, але і тоді, коли параметри передбачуваного закону розподілу визначаються на підставі дослідних даних.

Для цього можна скористатися гистограмою, побудованою при аналізі  $N$  зроблених вимірювань (див. Лекцію 4). Нехай спостереження розподілені відповідно до деякої теоретичної функції розподілу  $F_X(x)$ . При стандартній перевірці гіпотез передбачається, що випадкова величина  $x$  має нормальний розподіл, хоча можна використовувати будь-як певний розподіл. Нагадаємо, що визначено мінімальні  $x_{\min}$ , максимальне  $x_{\max}$  значення і розмах  $R = x_{\max} - x_{\min}$ . Отриманий інтервал розбивають на  $m$  інтервалів і підраховують кількість вимірювань випадкової величини  $W_1, W_2, \dots, W_m$  ( $W_1 + W_2 + \dots + W_m = N$ ), що потрапили у кожен інтервал. Імовірність  $P$  перебування випадкової величини, розподіленої за довільним законом  $f_X(x)$ , на заданому інтервалі  $(a, b)$ :

$$P(a < x < b) = \int_a^b f_X(x) dx. \quad (5.19)$$

Визначивши границі інтервалів, підраховують імовірності  $P$  для кожного інтервалу, що записуються у вигляді  $e_1, e_2, \dots, e_m$ , причому  $e_1 + e_2 + \dots + e_m = 1,0$ . Тоді, якщо вірна гіпотеза  $H_0: F_X^*(x) = F_X(x)$ , то статистику

$$\chi_0^2 = \sum_{j=1}^m \frac{(W_j - N \cdot e_j)^2}{N \cdot e_j} \quad (5.20)$$

при великому  $N$  можна апроксимувати за допомогою розподілу  $\chi^2$  зі  $\nu = m - 1 - n$  ступенями волі. Величина  $n$  дорівнює числу незалежних параметрів гіпотетичного розподілу. Для нормального розподілу такими є математичне очікування і дисперсія, тому воно є двопараметричним, отже,  $\nu = m - 3$ .  $P$ -значенням для гіпотези є площа праворуч від точки  $\chi_0^2$  області під функцією щільності розподілу  $\chi^2(\nu)$ , що має вигляд

$$f(u) = \frac{u^{\nu/2-1} \cdot \exp(-u/2)}{2^{\nu/2} \cdot \left(\frac{\nu}{2}-1\right)!}, u > 0, \nu = 1, 2, \dots \quad (5.21)$$

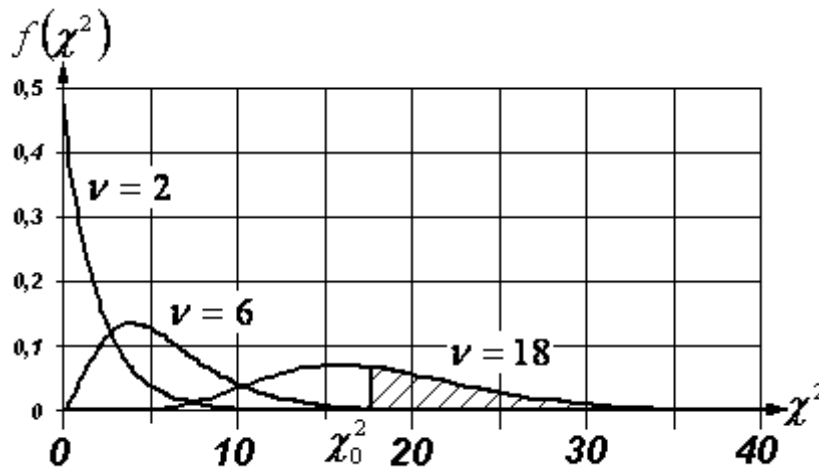


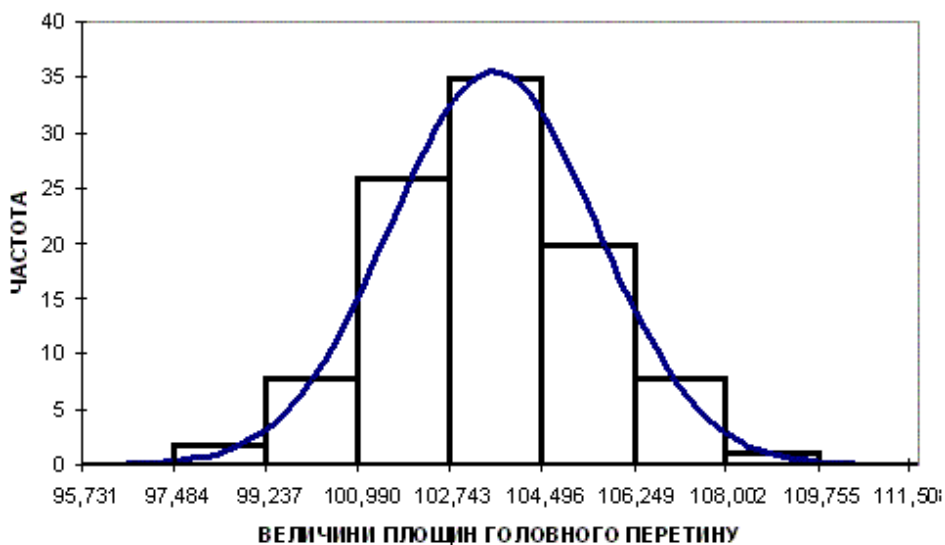
Рисунок 5.9.

На Рис. 5.9 представлені графіки  $\chi^2(\nu)$  для різних значень  $\nu$ , і умовно показана площа праворуч від точки  $\chi_0^2$  для щільності при  $\nu=18$ .

Якщо  $P < \alpha$ , то гіпотеза  $H_0$  відкидається, та приймається гіпотеза  $H_1$ :  $F_x^*(x) \neq F_x(x)$ .

На Рис.5.10 показані розподіли (нормальний закон і гістограма) площин головного перетину шариків підшипника при  $N = 100$ ,  $m = 9$ ,  $\nu = m - 3 = 6$ . Статистика  $\chi_0^2 = 0,911$ , що відповідає  $P$ -значенню 0,99. Таким чином, гіпотеза  $H_0$  про нормальність емпіричного розподілу приймається.

#### РОЗПОДІЛИ (ЕМПІРИЧНИЙ І НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН)



## ВИЯВЛЕННЯ ГРУБИХ ПОХИБОК

У попередній лекції вже було відзначено, що **грубими** називають похибки, що явно перевищують за своїм значенням похибки, виправдані умовами проведення експерименту. Для їхнього усунення бажано ще перед вимірюваннями визначити значення шуканої величини приблизно, для того, щоб надалі можна було сконцентрувати увагу лише на уточненні попередніх даних. Якщо оператор у процесі вимірювань виявляє, що результат одного зі спостережень різко відрізняється від інших, і знаходить причини цього, то він, звичайно, вправі відкинути цей результат і провести повторні вимірювання. Але необдумане відкидання результатів, що різко відрізняються від інших, може привести до істотного перекручування характеристик розсіювання низки вимірювань, тому повторні вимірювання краще проводити не замість сумнівних, а на додаток до них.

Особливо гостро ставиться питання про усунення грубих похибок при обробці вже наявного матеріалу, коли неможливо врахувати всі обставини, при яких проводили вимірювання. У цьому випадку доводиться прибігати до суто статистичних методів.

Питання про те, чи містить даний результат спостережень грубу похибку, вирішується загальними методами перевірки статистичних гіпотез.

Якщо результат спостережень (вимірювань) помітно відрізняється від інших, то його вважають передбачуваним промахом, тобто таким, що не відноситься до генеральної сукупності. На практиці часто «занадто» відхилені від центра розподілу результати просто виключають з вибірових спостережень. Більш строге рішення про виключення найбільшого  $x_{\max}$  або найменшого  $x_{\min}$  значень з числа значень, що спостерігаються, приймають у такий спосіб:

- 1) знаходять відношення  $U = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{S}$  або  $U = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{S}$ ;
- 2) результат порівнюють із критичними значеннями  $\beta$  по відповідних довідникових таблицях при даному обсязі вибірки та рівні значимості.

За даними таблиці при заданій довірчій імовірності  $\alpha$  або рівні значимості  $q = 1 - \alpha$  можна для кількості вимірювань  $N$  знайти ті найбільші значення  $\beta$ , котрі випадкова величина може ще прийняти по чисто випадкових причинах.

Якщо обчислене по дослідним даним значення  $U$  виявиться менше  $\beta$ , то гіпотеза приймається; у протилежному випадку її варто відкинути.

ти як суперечним даним спостережень. При  $U \geq \beta$  сумнівний результат виключають -  $x_{\max}$  або  $x_{\min}$  доводиться розглядати як такий, що містить грубу похибку, і не брати його до уваги при подальшій обробці результатів спостережень.

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яка величина зветься випадковою величиною?
2. Яка різниця між математичним очікуванням випадкової величини та оцінкою середнього арифметичного?
3. Що таке середнє квадратичне відхилення випадкової величини?
4. Що зветься законом розподілу випадкової величини?
5. Що таке функція розподілу випадкової величини?
6. В чому полягає важливість для математичної статистики нормального закону розподілу випадкової величини?
7. В чому різниця між лінійним і нелінійним перетворенням закону розподілу випадкової величини?
8. Що таке гістограма та які принципи її побудови?
9. Які існують загальні правила обробки результатів вимірювання?
10. Що таке довірчий інтервал і довірча імовірність і як вони будуються?
11. Сформулюйте задачу статистичної перевірки гіпотез.
12. Які існують критерії згоди?
13. Яка похибка зветься грубою?

## ЛЕКЦІЯ 6. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ. ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Нас оточують сотні, тисячі, мільйони, мільярди різних машин, механізмів різного ступеня складності, що визначається кількістю основних вузлів і деталей, масою машини. Простою вважається машина з числом деталей до 1500, середньої складності – до 3000, ну а складна машина - понад 3000 деталей. І будь-яка сама крихітна шестірня, будь-який самий мініатюрний валик, які зроблені в різних кінцях країни, континенту або світу, зустрівшись в складальному цеху, повинні підійти один одному і зайняти своє місце в машині, для якої вони призначені. Зборка вузлів і машин, що задовольняють пропонованим вимогам, повинна вироблятися без пригону (доробки) деталей, що можливо лише тоді, коли вони виконуються взаємозамінними.

**Взаємозамінністю** називається властивість незалежно виготовлених, із заданою точністю деталей і вузлів виробів забезпечувати можливість зборки без додаткового пригону (або заміни при ремонті) деталей, що сполучаються, у вузол, а вузлів у вироби при дотриманні висунутих до них технічних вимог.

Деталі і вузли будуть взаємозамінні тільки тоді, коли їхні розміри, форма, фізичні властивості матеріалу й інші кількісні та якісні характеристики знаходяться в заданих межах.

Взаємозамінними можуть бути деталі, складові частини (вузли) і вироби в цілому. У першу чергу такими повинні бути ті деталі і вузли, від яких залежать надійність, довговічність й інші експлуатаційні показники виробів. Це вимога, природно, поширюється і на запасні частини.

Значному ростові якості виробів і економічності їхнього виробництва сприяє напрямок **функціональної взаємозамінності**. Цей напрямок засновано на тісному ув'язуванні експлуатаційних показників виробів з функціональними параметрами, що визначають їх.

Функціональними є геометричні, електричні, механічні й інші параметри, що впливають на експлуатаційні показники виробів або службові функції їхніх деталей і складових частин (вузлів). Наприклад, від величини зазору між поршнем і циліндром (функціонального параметра) залежить потужність двигунів (експлуатаційний показник), а в поршневих компресорах — вагова й об'ємна продуктивність. Ці параметри названі функціональними, щоб підкреслити їхній зв'язок зі службовими функціями деталей, вузлів (блоків) і виробів. Зв'язок же їх з експлуатаційними показниками може бути функціональним або стохастичним (імовірнісним).

Досягається функціональна взаємозамінність за допомогою відповідних методів розрахунку точності машин і дотримання її при виготовленні деталей. Вона забезпечує необхідний запас працездатності

машини і її економічно оптимальних і стабільні (у заданих межах) у часі експлуатаційні показники.

Для того, щоб досягти найбільшої ефективності функціональної взаємозамінності, необхідно при конструюванні, виробництві й експлуатації машин і інших виробів враховувати наступний комплекс науково-технічних вихідних положень, поєднаних поняттям «принцип функціональної взаємозамінності».

Взаємозамінність може бути повною та неповною (обмеженою).

**Повна взаємозамінність** забезпечується при виконанні геометричних, електричних й інших параметрів деталей з точністю, що дозволяє робити збірку (або заміну при ремонті) будь-яких деталей, що сполучаються, і складових частин (вузлів) без будь-якої додаткової їхньої обробки, підбора, регулювання й одержувати вироби необхідної якості. У цьому випадку точність збірки всіх екземплярів однойменних з'єднань або вузлів (блоків) буде знаходитися в межах, що допускаються. Взаємозамінні однотипні деталі, вироби, наприклад, болти, шпильки, гайки, підшипники кочення, можуть бути незалежно з заданою точністю виготовлені на різних підприємствах і встановлені на «свої місця» без додаткової обробки або попереднього пригону.

Повна взаємозамінність має наступні достоїнства:

- \* спрощується процес збірки, він зводиться до простого з'єднання деталей робітниками невисокої кваліфікації;
- \* складальний процес точно нормується в часі, легко укладається у встановлюваний темп роботи і може бути організований потоковим методом; створюються умови для автоматизації процесів виготовлення та збірки виробів;
- \* можливі широка спеціалізація і кооперування заводів (тобто виготовлення заводом-постачальником обмеженої номенклатури уніфікованих виробів, вузлів і деталей і постачання їх заводів, що випускає основні вироби);
- \* спрощується ремонт виробів, тому що будь-яка поламана деталь, що зносилася, або вузол можуть бути замінені новими запасними.

Повну взаємозамінність економічно доцільно застосовувати для деталей з точністю не вище 6-го квалітету і для складових частин виробів, що складаються з невеликої кількості деталей, наприклад із двох, що утворюють те або інше з'єднання, а також у тих випадках, коли недотримання заданих зазорів або натягів припустимо навіть у частини виробів. Функціональна взаємозамінність, як взаємозамінність за експлуатаційними показниками виробів, може бути тільки повною.

У ряді випадків експлуатаційні вимоги приводять до необхідності виготовляти деталі з малими економічно неприйнятними або технологічно важко здійсненними допусками. У цих випадках застосовують неповну (обмежену) взаємозамінність.



При **неповній (обмеженій) взаємозамінності**, що може здійснюватися по окремих геометричних, електричних або інших параметрах, допускається груповий (**групова** взаємозамінність) підбір деталей (селективна зборка), застосування компенсаторів, регулювання положення деяких частин машин і приладів, пригін й інші додаткові технологічні заходи. Така зборка підвищує точність з'єднання. До неповної взаємозамінності відносять зборку на основі *імовірнісних розрахунків*, зборку з *регулюванням* положення або розмірів окремих деталей виробу, а також зборку з *пригоном* однієї з деталей, що збираються.

Розрізняють також зовнішню і внутрішню взаємозамінність,

**Зовнішня взаємозамінність** - це взаємозамінність покупних і кооперованих виробів (що монтуються в інші більш складні вироби) і вузлів за експлуатаційними показниками, а також розмірам і формі приєднувальних поверхонь, тобто таких, по яких взаємозалежні вузли основного виробу з'єднуються між собою і з покупними та кооперованими агрегатами. Наприклад, в електродвигунах зовнішня взаємозамінність здійснюється по числу обертів вала та потужності, а також по розмірах приєднувальних поверхонь; у підшипниках кочення — по зовнішньому діаметру зовнішнього кільця і внутрішньому діаметрові внутрішнього кільця, а також по точності обертання.

**Внутрішня взаємозамінність** поширюється на деталі, що складають окремі вузли, або на складові частини і механізми, що входять у виріб. Наприклад, у підшипнику кочення внутрішньою груповою взаємозамінністю володіють тіла кочення і кільця.

*Рівень взаємозамінності виробництва* може характеризуватися коефіцієнтом взаємозамінності, рівним відношенню трудомісткості виготовлення взаємозамінних деталей і частин до загальної трудомісткості виготовлення виробу. Значення цього коефіцієнта може бути різним. Однак ступінь його наближення до одиниці є об'єктивним показником технічного рівня виробництва.

Взаємозамінність забезпечує високу якість виробів і знижує їхню вартість, сприяючи при цьому розвитку прогресивної технології і виміральної техніки.

Взаємозамінність базується на стандартизації, нормативно-технічним документом якої є стандарт, розроблений на основі останніх досягнень науки, техніки і передового досвіду і затверджений для обов'язкового застосування. Відповідно до визначення **стандартом** називається нормативно-технічний документ, що встановлює комплекс норм, правил, вимог до об'єкта стандартизації і затверджений компетентним органом.

Нормування допусків і посадок здійснено двома системами стандартів: «Основними нормами взаємозамінності» (ОНВ) і «Єдиною системою допусків і посадок» (ЄСДП). ЄСДП поширюється на допуски

розмірів гладких елементів деталей і на посадки, утворені при з'єднанні цих деталей. ОНВ установлюють допуски і посадки на шпонкові, шліцові, нарізні сполучення, на зубчасті передачі і колеса тощо.

Допуски і посадки повинні бути зазначені в технічній документації, наприклад, у кресленні, що містить зображення виробу і всю інформацію, необхідні для його виготовлення і контролю.

Природно, взаємозамінність не могла виникнути з нізвідки, не могла прийти за наказом понад, не могла бути дарована найвищим велінням. Її поява була зобов'язана вимозі часу, тому звернемо свій погляд до Середньовіччя.

До XVI ст. реміснича — ручна — праця досягла, здавалося, межі досконалості. Кожен майстер бездоганно виготовляв який-небудь один предмет, і перевершити його в цьому вважалося неможливим. Про спеціалізацію робіт й інструментів того часу говорить такий приклад: ремісники англійського міста Бирмінгема використовували більш 500 різновидів тільки молотків, і кожен вид був пристосований для якоїсь однієї трудової операції!

Але ринок вимагав усе більше товарів, попит на продукцію швидко ріс. Збільшити її випуск можна було збільшивши число майстрів і майстерень. Однак цехи, що захищали інтереси ремісників, обмежували чисельність майстрів, а виходить, і обсяг вироблених товарів. Це стримувало розвиток торгівлі.

І тоді торговці, що наживалися на скупці і продажі товарів, стали втручатися в організацію виробництва. Насамперед, вони взяли у свої руки постачання майстерням сировини. Потім почали диктувати умови скупки готових виробів, установлювати їхню кількість і роздавати замовлення, незважаючи на статuti цехів. Поступово майстри попадали в залежність від тих, хто поставляв їм матеріали, скуповував готову продукцію, а згодом надавав приміщення та техніку. Наприклад, багато майстерень розташовувалися у водяних млинів, і за домовленістю з хазяїном млина найбільш трудомістку роботу виконували його водяні двигуни.

Збільшення попиту на продукцію ремісників привело до виникнення **мануфактури** (від лат. *manus* — «рука» і *factura* — «виготовлення»). Це підприємство, засноване на поділі праці між майстрами усередині однієї майстерні або між декількома дрібними майстернями. Власник мануфактури, звичайно торговець у минулому, закупував сировину оптом, тобто великими партіями. Так було дешевше. Він же виступав організатором виробництва і збуту товарів. Природно, що й одержуваний прибуток діставався тільки йому. Головні переваги мануфактури перед колишніми ремісничими майстернями — відсутність обмежень на кількість продукції, що випускається, і значне підвищення продуктивності праці кожного працівника за рахунок спрощення трудових операцій.

Товари, що виходили зі стін мануфактури, були дешевше за тих, що виготовлялися ремісниками.

Найбільший розвиток мануфактура одержала у текстильній промисловості. Попит на її товари — тканини з вовни, лена і бавовни — був особливо високий. У Росії мануфактури виникли в XVII в., а їхній розквіт припав на другу половину XVIII в.

У Європі вік мануфактур виявився недовгим. Уже до середини XVII в. організована по-новому ручна праця вичерпала усі свої можливості і перестала задовольняти зростаючі потреби в товарах. Наприкінці XVIII — початку XIX в. мануфактури поступово стали витіснятися фабриками і заводами, обладнаними новими паровими двигунами і робочими машинами.

Генрі Модслі (1771р. — 1831 р.) завжди вважав себе добропорядним вірнопідданим Його Величності Короля і ніколи не мав нічого загального з бунтівниками. Більше всього на світі Модслі пишався тим, що став майстром задовго до закінчення встановленого ще в Середні віка обов'язкового семирічного терміну учнівства. Напевно, він дуже здивувався б, довідавшись, що його ім'я ввійде в історію революції, нехай навіть і технічної.

Майстри-механіки, що визнали молодого Модслі рівним собі, не помилилися.

Два його знаменитих винаходи допомогли перейти від ремісничої, в основному ручної, праці до виготовлення машин машинами. Перше з них, так званий механічний супорт, — пристрій для дуже твердого й у той же час рухливого кріплення різця, яким обробляють металеві заготовки на верстаті. Створивши супорт, Модслі зробив переворот у токарській майстерності. До цього різець, гостра крайка якого знімає шар матеріалу зі швидко обертової заготовки, токар тримав у руках, спираючись на спеціальні підставки, або упори. При такій технології домогтися високої точності обробки просто неможливо. Особливо важко виготовити деталі строго правильної круглої форми.

Джеймс Уатт довго не міг поліпшити свій універсальний паровий двигун: не було верстата, щоб з необхідною точністю виготовити головні деталі — циліндр і поршень. Зберігся лист великого винахідника, у якому він із захватом повідомляв другові; «Врешті-решт удалося підігнати поршень і циліндр один до одного так, що в зазор між ними ледь-ледь проходить шестипенсова монета!». Подібна точність у наші дні, коли деталі обробляються в заводських цехах з точністю до тисячних часток міліметра, викликає посмішку. Але в ті часи вона вважалася великим досягненням. Дуже важко було виготовити на старих верстатах болти та гайки до них. Спробуйте, тримаючи різець у руках, нарізати на металевому стрижні точну гвинтову нарізку!

Генрі Модслі вирішив цю проблему. Токар одержав можливість, обертаючи рукоятки супорта, переміщати різець по вертикалі і по горизонталі з недосяжною раніше точністю, у міру потреби подавати його вперед і відводити назад практично на будь-яку, навіть дуже маленьку, відстань. Вперше в історії обробки матеріалів механічний пристрій замінив руку людини.

Другий великий винахід механік зробив, виконуючи замовлення сера Семюела Бентама — генерал-інспектора заводів Британського королівського військово-морського флоту.

Це були роки, коли Англія стала «володаркою морів». Вітрильні військові кораблі і торговельні судна під прапором Великобританії з'являлися в самих віддалених куточках морів і океанів. А на корабельних верфях закладали все нові і нові барки і бриги, шхуни і фрегати. Але й тим, що плавають, і знову споруджуваним кораблям необхідні щогли, вітрила, такелаж. І блоки для канатів — тисячі, десятки тисяч блоків, без яких не можна піднімати й опускати вітрила, керувати ними. Потрібно було придумати спосіб, як виготовляти блоки швидко, випускати їх великими партіями і з високою якістю. Те, що зробив Модслі, дотепер викликає замилювання.

А зробив він першу в історії верстатну лінію для виробництва корабельних блоків. У 1807 р. запрацювали 43 дерево- і металообробних верстата, вибудовані в один технологічний ланцюжок. Робітник на кожнім верстаті виконував тільки одну просту операцію, тобто, не втрачав часу на переналагодження устаткування. Вийшла ціла система машин, по черзі робивших усе, що потрібно, — від розпилювання стовбурів дерев особливо твердих порід, наприклад залізного дерева, до обточування бронзових підшипників і нарізування різьблення на сполучних болтах. Готові блоки виходили з цеху потоком, тому новий спосіб виробництва великої кількості однотипної продукції назвали **потоківим**.

Сер Бентам залишився задоволеним: проблема була вирішена. Але і він не припускав, що верстати Модслі ввійдуть в історію техніки як найперші машини, виготовлені за допомогою інших машин, що стояли в майстерні винахідника. Машини, зроблені машинами!

Система блокових машин Модслі пережила свого творця. Майстер помер у 1831 р., а його верстатна лінія працювала без переробки до початку ХХ в. Безперечно, факт дивний. Але важливіше те, що саме тоді, на початку ХІХ в., виникло машинобудування — нова галузь промисловості, що швидко стала головною.

Великі винаходи і відкриття ніколи не належать одній людині, навіть якщо їхній автор добре відомий. Вони завжди — кінцевий результат зусиль багатьох талановитих людей, і чимало з них залишаються безвісними. Історія ж називає автором винаходу того, кому пощастило першим завершити загальну роботу. Такою є справа з механічним супо-

ртом і організацією верстатної лінії, ідеї яких приходили в голову не одному Генрі Модслі. Так вийшло і з ідеєю *конвеєра* (від англ. *to convey* – перевозити), дуже важливої для історії індустріалізації і сучасного масового виробництва техніки. Звичайно, це досягнення технології й організації праці зв'язують з ім'ям американського) промисловця Генрі Форда (1863 р.— 1947 р.). І цілком заслужено: Форд першим організував конвеєрне виробництво настільки складної машини, як автомобіль. Але історики знають головну таємницю технології масового виробництва — повна подібність всіх однотипних зразків продукції, що випускається, їхня взаємозамінність.

Виникнення *взаємозамінності* завжди зв'язувалося з виготовленням вогнепальної зброї, тому що у свій час це була єдина галузь масового виробництва тих самих промислових об'єктів. Крім того, у цій галузі виробництва мали особливе значення складальні роботи, а також постачання запасних частин, які можна було б ставити замість зіпсованих, зношених або втрачених частин швидко і по можливості без усякого пригону.

З документів, що відносяться до точності виготовлення рушниць і до умов застосування відповідних калібрів, впливає, насамперед, згадка про наказ, даний в 1706 р. за розпорядженням Петра I старості тульських казенних ковалів. У цьому документі утримуються наступні вказівки (рос.): «А если у кого в приносе будут стволы мерой образцового малым чем короче или длиннее и в таковые стволы в прострел класть порошу излишество, а впредь приказывать, чтобы делали в меру против образцового ствола конечно, буде кто многожды таковые приносить будет чинить наказание батоги».

У 1715 р. князеві Вадбольському разом з інструкцією про прийом тульських заводів були перепроваджені вказівки Петра I по виготовленню «драгунських, драбанських і солдатських фузій». Тут уперше пропонуються строгі розміри калібрів, виражені в «інгах» або «дукмах» (тобто в дюймах), причому ці розміри даються «до сотих доль інгов». Одночасно на завод були спрямовані «калібери» для різних видів зброї і правила їхнього застосування.

У 1761 р., за 24 роки до дослідів французького інженера Леблана по організації взаємозамінних виробництв, наприкінці царювання Єлизавети Петрівни, П.І.Шувалов направив на Тульський завод наступну інструкцію (рос.): «В силу объявленного моего предложения на каждую оружейную вещь порознь мастерам иметь меры или по заводскому обыкновению называемые лекалы за заводским клеймом или печатью оружейной канцелярии, аккуратные, по которым каждый с пропорциею всякую вещь при делании проводить мог. Без того вещи одна с другой во всем точного равенства не имеют, потому, что дело оных

происходит глазомерством, от чего неминуемо при приемках в полки должно быть переправкам и в том напрасно времени потеряние».

У цьому документі вперше і чітко формулюються переваги роботи з калібрів і основні умови досягнення взаємозамінності. Звичайно ж у літературі перше формулювання задач взаємозамінності приписувалося Д.Витворту, що вказував у своєму виступі на з'їзді англійських промисловців у 1856 р.: «Треба робити такі свічі і свічники, щоб не потрібно було ні підрізати свічу, ні обертати її папірцем». Легко бачити, наскільки змістовніше і технічно суворіше сформульована інструкція Шувалова, розроблена майже за 100 років до цього виступу Витворта.

Цікаво відзначити, що високий рівень взаємозамінності на Тульських збройових заводах приходилося визнавати, хоча і з небажанням, іноземцям. Так, наприклад, у книзі французького інженера Котті, виданої в Парижі в 1806 р. за назвою «Методи виготовлення вогнепальної зброї», автор пише: «Звичайно, і при вживанні самих зроблених механічних способів можуть замки виходити не зовсім рівними у своїх частинах, якщо майстри не будуть старанними; але я бачив на Тульському заводі, коли з великої кількості, що знаходилося в приймальній палаті замків деякі з цих замків були розібрані, частини їхні перемішані, а потім з цих частин знову складені замки; при цьому, всі частини приходилися з такою точністю, начебто їх навмисно приганяли одну до іншій».

У період 1816—1825 рр. Тульський завод неодноразово інспектувався як царем Александром I, так і великим князем Ніколаєм Павловичем. Під час цих інспекційних відвідувань зверталася увага на рівень взаємозамінності у виробництві рушниць. Так, під час одного з відвідувань заводу Александром I цар розпорядився розібрати кілька замків (з великої кількості замків, що знаходилися в приймальній палаті), а також два інших замки, що за його наказом були відвернені від готових рушниць в арсеналі, змішати всі частини і знову зібрати замки. При цьому зібрані замки мали, як вказується в звіті про це відвідування, «хід настільки ж вільний, як якби частини кожного одна з іншій навмисно минулого приладжені».

Незабаром після цього великий князь Ніколай при своєму відвідуванні Тульського заводу знову повторює вказаний дослід вже з 30 готовими рушницями, причому «дійсно всі частини поєднувалися одна з іншою абсолютно точно».

Перенесемося тепер з Росії до Сполучених Штатів Америки. Наприкінці XVIII ст. армія США готувалася до війни, що могла спалахнути в самий найближчий час. Виник гострий нестаток у стрілецькій зброї. Державне замовлення на виготовлення великої партії мушкетів обіцяло величезні бариші. Але ніхто з заводчиків не брався за його виконання, тому що вдень з вогнем не можна було знайти достатню кількість кваліфікованих майстрів. Мушкети в ті роки робилися штучно: один

майстер виконував від початку до кінця всі операції — сам виготовляв усі деталі, а потім збирав з них зброю. І хоча він намагався, щоб рушниці виходили однаковими, вони, звичайно, виявлялися трохи різними. Ні спусковий механізм, ні ствол одного мушкета не підходили до іншого. Кожна деталь підганялася по місцю. Здавалося, інакше і бути не може.

І все-таки знайшлася людина, що ризикнула узятися за діло. Вона найняла робітників, що уміли виконувати окремі прості операції. Наприклад, виточувати осі для спускового механізму. Або робити ложі. Або ще яку-небудь деталь. Але як зібрати рушниця з деталей, що вийшли з рук різних робітників? Як домогтися, щоб деталі перестали бути штучними (придатними тільки для однієї рушниці) і підходили без припасування? Елі Уїтні — так звали цю людину — вирішив задачу. Він виготовив шаблони — зразки, у точній відповідності з якими робітник робив доручену йому деталь. Тепер усі деталі одного призначення, виготовлені різними людьми, стали схожі одна на одну як дві краплі води. Тепер за зміну випускали набагато більше мушкетів, чим, якби кожен робітник робив цілком усю рушницю. Останній у технологічному ланцюжку робітник-збирач ставив деталі в мушкет — просто брав їх із шухляд.

Майже у всіх роботах по історії взаємозамінності вказується пріоритет в організації взаємозамінних виробництв американця Елі Уїтні, що у січні 1798 р. уклав договір на постачання 10 тис. рушниць з цілком взаємозамінними частинами. Протягом першого року він повинний був поставити 4 тис. рушниць, інші 6 тис. рушниць — через рік. Однак протягом першого року виготовив тільки 500 рушниць, а все замовлення виконав протягом восьми років замість двох.

З приводу цих вказівок, що часто зустрічаються, про пріоритет Елі Уїтні слід насамперед помітити, що при світовій популярності Тульського заводу Уїтні не міг не знати про досягнення цього заводу, про які писали іноземці. Але навіть і за рубежем спроба Уїтні не була першим випадком організації взаємозамінного виробництва: перша спроба організації взаємозамінного виробництва рушниць за кордоном була зроблена через чверть століття після успішного введення її на Тульському заводі — французьким інженером Лебланом (приблизно в 1785 р.), причому також про цю спробу не могло бути невідомо Елі Уїтні. Дослід Леблана зацікавив американського посла в Парижі Джефферсона, що негайно написав в Америку про результати свого відвідування майстерень Леблана і про переваги взаємозамінного виробництва. Лист Джефферсона було датовано 30 травня 1785 р., тобто Елі Уїтні приступив до організації взаємозамінного виробництва рушниць на 13 років (у 1798 р.) пізніше дослідів Леблана і на 37 років пізніше Тульського заводу.

Отже, відомо, що на самому початку XIX в. Елі Уїтні протягом 8 років освоїв взаємозамінне виробництво 10 тис. рушниць. В той же час, як зовсім безперечно впливає з приведених вище документальних сві-

дчень, на Тульському заводі багато раніше й у великих масштабах було освоєно взаємозамінне виробництво рушниць. Про великі виробничі можливості Тульського збройового заводу на початку ХІХ сторіччя свідчить той факт, що на самому початку Вітчизняної війни 1812 р. Александр І наказав начальникові збройового заводу в Тулі виготовляти щомісяця по 7 тис. рушниць і, крім того, домовитися зі зброярами для додаткового вироблення ще 3 тис. рушниць на місяць.

Ідеєю Уїтні скористався Генрі Форд, коли вирішив поставити на потік виробництво дешевого «народного автомобіля» на своєму заводі в Детройті в 1913 р. Крім того, він з'єднав робочі місця стрічкою, що рухається — конвеєром. На перших кроках складальний конвеєр ніс на собі тільки шасі — основу майбутнього автомобіля. Під час свого пересування шасі «обростало» усі новими деталями, що встановлювали робітники: хто — коробку швидкостей, хто — двигун, хто — колеса або фари. Наприкінці шляху на конвеєрі стояв уже цілком готовий автомобіль. За таким принципом і сьогодні працюють конвеєри на всіх підприємствах світу.

Після появи конвеєра став можливим масовий випуск найскладнішої техніки. І всі її екземпляри були ідентичні. Витрати праці на виробництво кожного окремого екземпляра знизилися. Звичайно, у конвеєрному виробництві є і свої проблеми - монотонний ритм, нескінченне повторення одноманітних рухів вимотують робітника, людина починає почувати себе додатком машини, живим роботом. Однак ця проблема лежить поза нашою дисципліною, тому зупинятися на ній більш ми не будемо.

Подальший розвиток виробництва в ХІХ ст. призвів до того, що з'явилася величезна кількість деталей різних розмірів. Необхідно було якимось чином обмежити нескінченно велику номенклатуру продукції, що випускається. Уніфікація скорочує число типів продукції, що випускаються, до розумного мінімуму, усуває її непотрібну розмаїтість. У підсумку були сформульовані вимоги до майбутньої системи стандартизації:

- 1) раціональна система градацій;
- 2) потенційно нескінченний ряд розмірів убік великих і малих величин;
- 3) включення в себе всіх десятикратних значень і одиниці;
- 4) простота.

Первісна ідея з арифметичною прогресією в силу нерівномірності останньої була відкинута (наприклад, у ряді чисел 1, 2, 3, ..., 8, 9, 10 відмінність на одиницю істотна, чого не скажеш при аналізі ряду 501, 502, 503....., 508, 509, 510). Тому найбільш зручними для стандартизації були визнані геометричні прогресії, що включають 1 і мають знаменник у вигляді



$$q = \sqrt[n]{10}, \quad (6.1)$$

$n$  - ціле число. Уперше ця ідея була реалізована французом Ренаром наприкінці XIX ст. при складанні специфікації на канати. Визначаючи  $a$  як масу в грамах на метр довжини, він склав рівняння

$$a \cdot q^5 = 10 \cdot a, \quad (6.2)$$

звідки з  $q = \sqrt[5]{10} \approx 1,5849$  був отриманий наступний ряд:

$$a \quad a\sqrt[5]{10} = 1,5849a \quad a^2\sqrt[5]{10^2} = 2,5119a \quad a^3\sqrt[5]{10^3} = 3,9811a \quad a^4\sqrt[5]{10^4} = 6,3096a \quad a^5\sqrt[5]{10^5} = 10a \quad (6.3)$$

Для зручності коефіцієнти, що стоять при множнику  $a$ , були округлені, і отримана послідовність чисел стала називатися рядом переважних чисел  $R5$ :

$$1 - 1,6 - 2,5 - 4,0 - 6,3 - 10. \quad (6.4)$$

Звичайно, для повного охоплення можливих розмірів отриманий ряд був занадто малий, тому з'явилися ще три ряди, названі основними:

$R10$  зі знаменником  $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$ ,  $R20$  зі знаменником  $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$ ,  $R40$  зі знаменником  $\sqrt[40]{10} \approx 1,06$ . Додатково був уведений ряд  $R80$  зі знаменником  $\sqrt[80]{10} \approx 1,03$ . Кожний з рядів з меншим знаменником не виключає, а включає і доповнює попередній ряд, наприклад, ряд  $R10$ :

$$1 - 1,25 - 1,6 - 2,0 - 2,5 - 3,15 - 4,0 - 5,0 - 6,3 - 8,0 - 10, \quad (6.5)$$

тобто з'являються нові числа між числами ряду  $R5$ . Необхідно відзначити деякі важливі значення, що зустрічаються в машинобудуванні:  $\sqrt{2} = 1,414 \approx 1,4$  з ряду  $R20$ ;  $\sqrt[3]{2} = 1,26 \approx 1,25$  з ряду  $R10$ ;  $\pi = 3,142 \approx 3,15$  з ряду  $R10$ ;  $2\pi = 6,283 \approx 6,3$  з ряду  $R5$ ;  $\pi/4 = 0,785 \approx 0,8$  з ряду  $R10$ ;  $\pi^2 = 9,97 \approx 10$  і  $g = 9,81 \approx 10$  присутні у всіх рядах.

Отримані ряди переважних чисел є основою для побудови рядів нормальних лінійних розмірів:  $Ra5$ ,  $Ra10$ ,  $Ra20$ ,  $Ra40$ . Загальним також є вимога вибору розміру, якщо це можливо, з ряду з більшим знаменником.

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що означає взаємозамінність?
2. Яка існує класифікація взаємозамінності?
3. Які соціально-економічні аспекти виникнення взаємозамінності?
4. Що послужило поштовхом до переходу до масового виробництва?
5. Які принципи покладено до системи стандартизації?
6. Що таке ряд переважних чисел?
7. Які ряди переважних чисел вам відомі?
8. Що в них спільного, чим вони відрізняються один від одного?

## ЛЕКЦІЯ 7. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ. ЄДИНА СИСТЕМА ДОПУСКІВ І ПОСАДОК ДЛЯ ГЛАДКИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ

Система ISO (*International Organization for Standardization*) поширюється на допуски і посадки розмірів гладких елементів деталей. Вона створена для уніфікації національних систем допусків і посадок, прийнята в більшості країн Європи, у США, Японії та інших країнах. Включення рекомендацій ISO в національні стандарти сприяє забезпеченню взаємозамінності виробів, виготовлених у різних країнах, а також полегшує обмін кресленнями і технічною документацією між країнами. У системі ISO застосовуються посадки систем основного отвору й основного вала, вал – термін, застосовуваний для позначення зовнішніх (що охоплені) елементів деталей, отвір – термін, застосовуваний для позначення внутрішніх (що охоплюють) елементів деталей. Нормальна температура вимірювання встановлена стандартами та дорівнює  $20^{\circ}\text{C}$ .

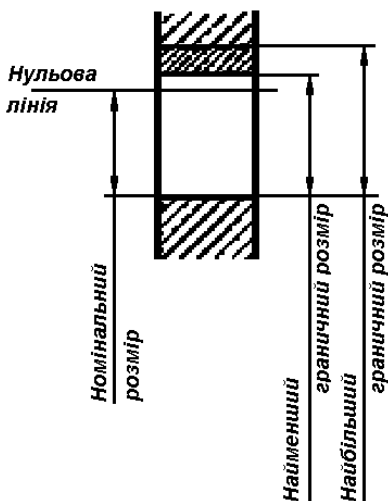


Рисунок 7.1.

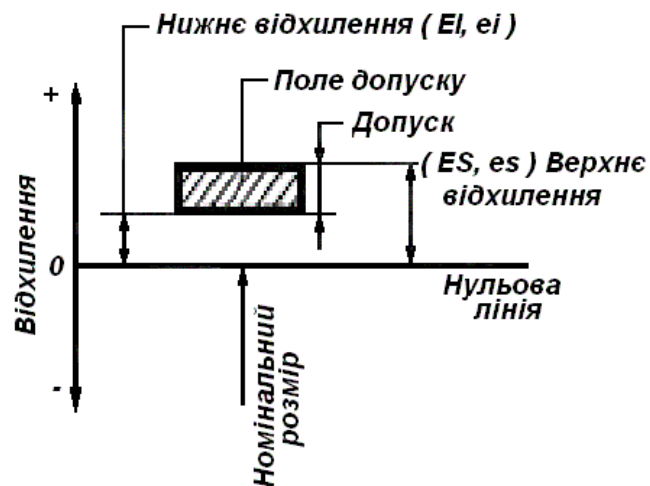


Рисунок 7.2.

Поняття про допуски і посадки для різних видів з'єднань ґрунтуються на термінах і визначеннях, встановлених у системі допусків і посадок для гладких з'єднань, що створювалася раніш інших. У даній системі існує комплекс термінів і визначень, що приводяться нижче й ілюструються рисунками 7.1. та 7.2.

**Розмір** – числове значення лінійної величини (діаметра, довжини і т.д.) в обраних одиницях вимірювання.

**Дійсний розмір** – розмір, установлений вимірюванням із допустимою похибкою.

**Граничні розміри** – два допустимих розміри, між якими повинний знаходитися або яким може дорівнювати дійсний розмір. **Найбільший граничний розмір** – більший із двох граничних розмірів. **Найменший граничний розмір** – менший із двох граничних розмірів.

**Номінальний розмір** – розмір, щодо якого визначаються граничні розміри і який служить також початком відліку відхилень.

**Номінальний розмір посадки** – номінальний розмір, загальний для отвору і вала, що складають з'єднання.

**Відхилення** – алгебраїчна різниця між розміром (дійсним, граничним і т.д.) і відповідним номінальним розміром.

**Дійсне відхилення** – алгебраїчна різниця між граничним і номінальним розмірами. Розрізняють верхнє і нижнє відхилення.

**Верхнє відхилення** (позначається  $es$  для вала і  $ES$  для отвору) – алгебраїчна різниця між найбільшим граничним і номінальним розмірами. **Нижнє відхилення** (позначається  $ei$  для вала і  $EI$  для отвору) – алгебраїчна різниця між найменшим граничним і номінальним розмірами. Слід зазначити, що з урахуванням знака поняття більше або менше відповідає прийнятим поняттям у математиці:  $5 > 3$ ,  $-3 > -5$ .

**Середнє відхилення** - середнє арифметичне верхнього і нижнього відхилень.

**Основне відхилення** – одне з двох відхилень (верхнє або нижнє), використовуване для визначення поля допуску щодо нульової лінії. Звичайно, таким відхиленням є найближче до нульової лінії.

**Нульова лінія** – лінія, що відповідає номінальному розмірові, від якого відкладаються відхилення розмірів при графічному зображенні допусків і посадок. Якщо нульова лінія розташована горизонтально, то додатні відхилення відкладаються нагору від неї, а від'ємні – униз (Рис. 7.3, 7.4)

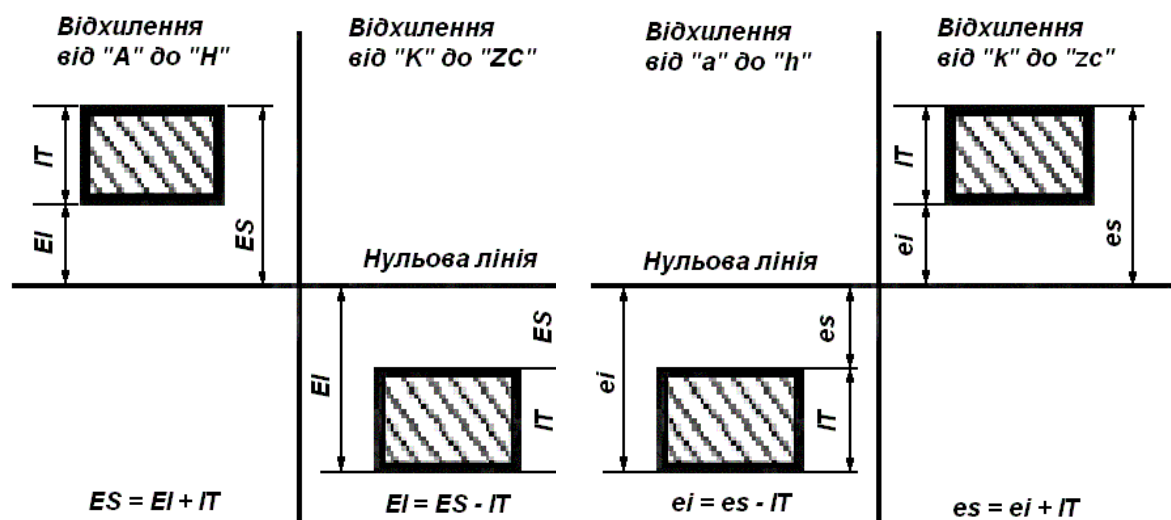


Рисунок 7.3.

Рисунок 7.4.

**Допуск** – різниця між найбільшим і найменшим граничним розмірами або абсолютною величиною алгебраїчної різниці між верхнім і нижнім відхиленнями.

**Поле допуску** – поле, обмежене верхнім і нижнім відхиленнями. Поле допуску визначається числовим значенням допуску і його положенням щодо номінального розміру. При графічному зображенні поле допуску укладене між двома лініями, що відповідають верхньому і нижньому відхиленням щодо нульової лінії.

Для розробки стандартів допусків і посадок і, зокрема, для встановлення класів точності необхідно знати залежність величини допуску від діаметра. Основна вихідна залежність була отримана експериментально

$$R = C^n \sqrt{D}, \quad (7.1)$$

де  $D$  - діаметр, мм;  $R$  - діапазон розсіяння розмірів, мкм, що у першому наближенні можна прийняти за допуск  $\delta$ ;  $n$  і  $C$  - коефіцієнти. У різних експериментаторів значення  $n$  виявлялося в межах від 2,5 до 3,5, тому було прийнято середнє значення  $n=3$ .

Допуски і граничні відхилення визначені в залежності від номінальних розмірів, розбитих на інтервали. У розрахункових формулах використовується середнє геометричне  $D$  граничних значень відповідного інтервалу ( $D_{\min}; D_{\max}$ ):  $D = \sqrt{D_{\min} \cdot D_{\max}}$ . Для інтервалів розмірів до 3 мм  $D = \sqrt{3}$ .

**Квалітет** (ступінь точності) – ступінь градації значень допусків системи. Кожен квалітет містить ряд допусків, що у системі допусків і посадок розглядаються як такі, що відповідають приблизно однаковій точності для всіх номінальних розмірів.

Установлено 20 квалітетів, що позначаються порядковим номером, що зростає зі збільшенням допуску: 01, 0, 1, 2, 3, 4, ..., 16, 17, 18... Для перших двох (найточніших) квалітетів, установлених пізніше, були введені номери 01 і 0. Посилання на квалітет або допуск можуть бути зроблені скорочено буквами  $IT$ , у яких буква  $T$  (англ. **Tolerance** – допуск) позначає допуск,  $I$  – ISO, що при необхідності доповнюється номером квалітету, наприклад  $IT7$  - допуск ISO за 7-им квалітетом. Допуск можна записати у вигляді

$$ITx = ai, \quad (7.2)$$

де  $x$  - порядковий номер квалітету,  $i$  - одиниця допуску, мкм,  $a$  - відносний коефіцієнт точності (число одиниць допуску).

**Одиниця допуску** – множник у формулах (рівняннях) допусків системи, що є функцією номінального розміру, і обчислюється за формулою

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001D, \quad (7.3)$$

Другий член у даному виразі враховує похибки вимірювання, що зростають зі збільшенням  $D$ . Одиниця допуску служить для порівняння точності однорідних деталей, що відрізняються розмірами. Допуски двох або декількох партій валів, виражені в міліметрах або мікрометрах, тобто в лінійних одиницях, не можуть дати уявлення про порівняльну точність їхнього виготовлення, якщо вали мають різні діаметри. Інтервали номінальних розмірів (у мм), значення  $D$  й одиниці допуску  $i$  приведені в Табл. 7.1. Для розмірів до 500 мм установлені проміжні інтервали.

Таблиця 7.1.

$D_{\min}$ (мм)	$D_{\max}$ (мм)	$D$ (мм)	$i$ (мкм)
-	3	1,73	0,540
3	6	4,234	0,732
6	10	7,746	0,897
10	18	13,42	1,082
18	30	23,24	1,307
30	50	38,73	1,560
50	80	63,25	1,856
80	120	97,98	2,186
120	180	147,00	2,523
180	250	212,10	2,895
250	315	280,60	3,225
315	400	355,00	3,541
400	500	447,20	3,889

Число одиниць допуску не залежить від номінального розміру і вибирається з ряду  $Ra5$ , тобто змінюється від квалітету до квалітету за геометричною прогресією зі знаменником  $\sqrt[5]{10} \approx 1,6$ , починаючи з 5-го квалітету - 7, 10, 16, 25, 40, 64 і т.д. Починаючи з  $IT6$ , значення допуску множать на 10, переходячи з даного квалітету на п'ять ступенів грубіше (100, 160, 250, 400, 640 і т.д.) (Табл. 7.2.), наприклад  $IT12 = 10 \cdot IT7$

Таблиця 7.2.

Позначення допуску	Значення допуску	Позначення допуску	Значення допуску	Позначення допуску	Значення допуску
$IT5$	$7i$	$IT10$	$64i$	$IT15$	$640i$
$IT6$	$10i$	$IT11$	$100i$	$IT16$	$1000i$
$IT7$	$16i$	$IT12$	$160i$	$IT17$	$1600i$
$IT8$	$25i$	$IT13$	$250i$	$IT18$	$2500i$
$IT9$	$40i$	$IT14$	$400i$		

Формули, по яких визначаються значення допусків для квалітетів 01, 0, 1, мають вигляд:

$$IT01 = 0,3 + 0,008D$$

$$IT0 = 0,5 + 0,012D$$

$$IT1 = 0,8 + 0,020D.$$

Значення допусків квалітетів 2, 3, 4 приблизно є членами геометричної прогресії, першим і останнім членами якої є значення допусків квалітетів 1 і 5.

Квалітети 01, 0, 1 установлені для кінцевих мір довжини. Квалітети 2, 3, 4 – для калібрів і особливо точних виробів. Квалітети 5...13 – для розмірів деталей, які сполучаються. Квалітети 14...18 – для розмірів відносно низької точності.

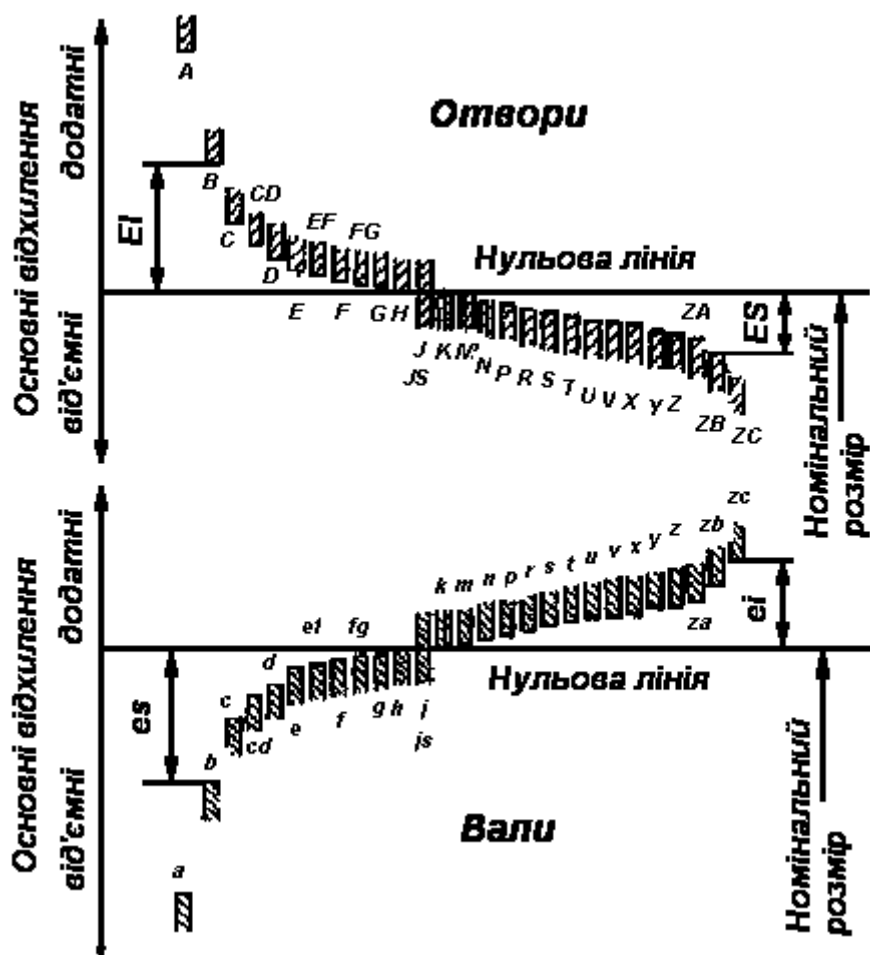


Рисунок 7.5.

Положення поля допуску щодо нульової лінії, що залежить від номінального розміру, позначають у системі ISO латинськими буквами: **ВЕЛИКИМИ** для отвору (*A, B, C, ..., X, Y, Z*) і **малими** для вала (*a, b, c, ..., x, y, z*). У деяких випадках, наприклад, для розмірів до 10 мм,

які застосовуються у точній механіці та годинниковій промисловості, положення допуску позначають двома буквами:  $cd$ ,  $ef$ ,  $fg$ ,  $za$ ,  $zb$ ,  $zc$ ,  $CD$ ,  $EF$ ,  $FG$ ,  $ZA$ ,  $ZB$ ,  $ZC$  (див. Рис. 7.5).

Значення відстані  $e$  від найближчої границі поля допуску до нульової лінії не залежить від квалітету і визначається в більшості випадків за формулою  $e = cD^n$ , наприклад,  $e_d = -16D^{0,44}$ ,  $e_D = 16D^{0,44}$ ,  $e_f = -5,5D^{0,41}$ . Ці значення для різних діапазонів діаметрів стандартизовані і зведені в таблиці.

Поле допуску основного отвору в системі ISO позначають буквою  $H$ , а основного вала  $h$ . Поля допусків валів від  $a$  до  $h$  й отворів від  $A$  до  $H$  призначені для утворення посадок із зазором у системі основного отвору або в системі основного вала. Поля допусків валів  $j$ ,  $j_s$ ,  $k$ ,  $m$ ,  $n$  і отворів  $J$ ,  $J_s$ ,  $K$ ,  $M$ ,  $N$  призначені для утворення основних перехідних посадок. Поля допусків валів від  $p$  до  $zc$  й отворів від  $P$  до  $ZC$  призначені для утворення основних посадок з натягом. У системі ISO дозволяється застосування комбінованих посадок, тобто посадок, що утворюються шляхом сполучення різних за розташуванням полів допусків з різних квалітетів точності. Завдяки цьому кількість можливих посадок досить велика.

На Рис. 7.6 та Рис. 7.7 відповідно для отвору і вала показано розташування полів допусків, що відповідають різним квалітетам, щодо нульової лінії.

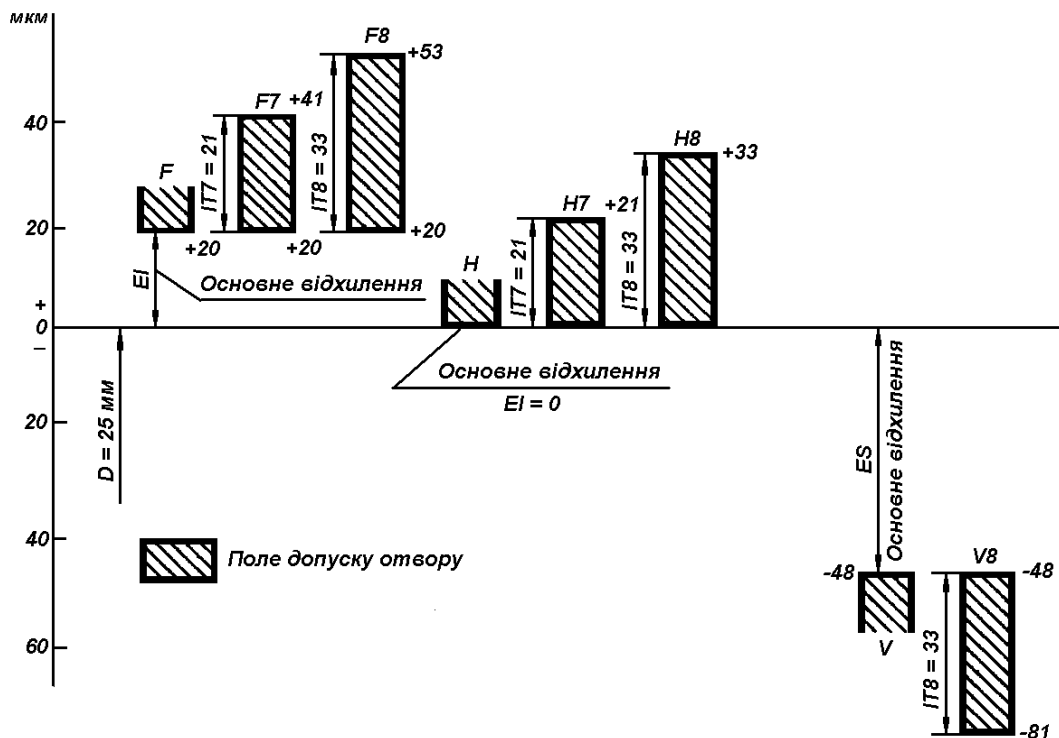


Рисунок 7.6.



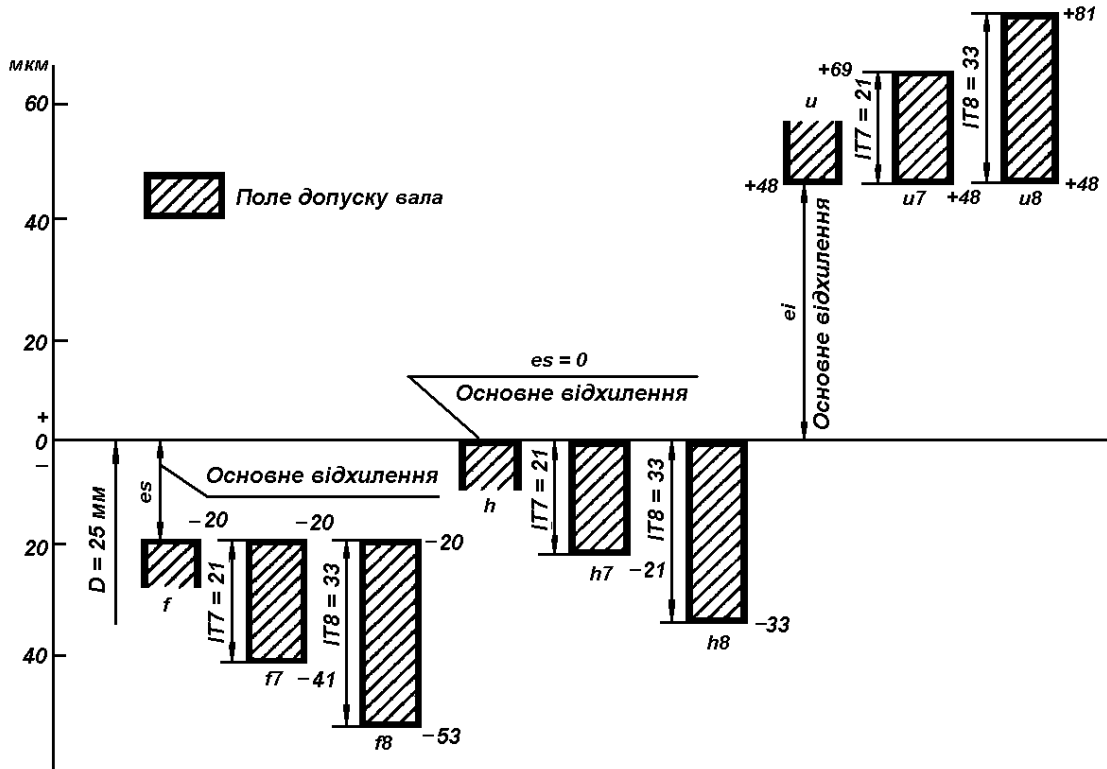


Рисунок 7.7.

Умовне позначення поля допуску складається з позначень основного відхилення і квалітету. Приклади умовних позначок полів допусків: валів -  $h6$ ,  $d9$ ; отворів -  $H6$ ,  $D9$ . Поле допуску вказується після номінального розміру деталі -  $40g6$ ,  $40H7$ . На кресленнях проставляється діаметр деталі з указівкою верхнього і нижнього відхилень, наприклад:  $\varnothing 40^{+0,050}_{+0,034}$  відповідає  $40r6$ ,  $\varnothing 40^{-0,025}_{-0,050}$  відповідає  $40f7$ .

**Зазор** (позначається буквою  $S$ ) – різниця розмірів отвору і вала, якщо розмір отвору більше розміру вала.

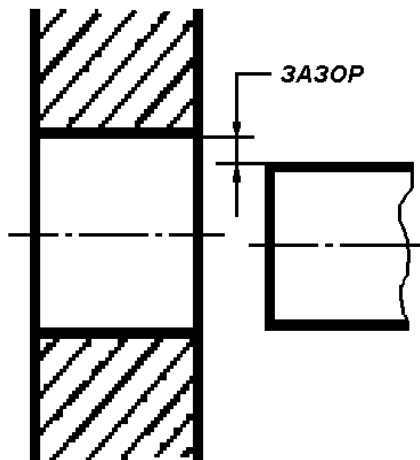


Рисунок 7.8.

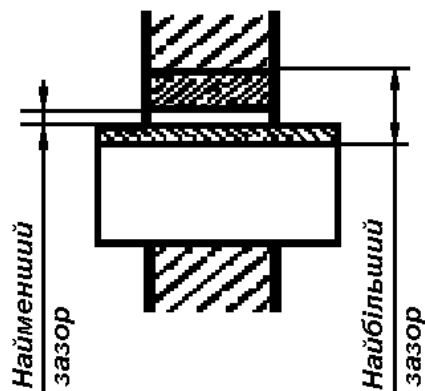


Рисунок 7.9.

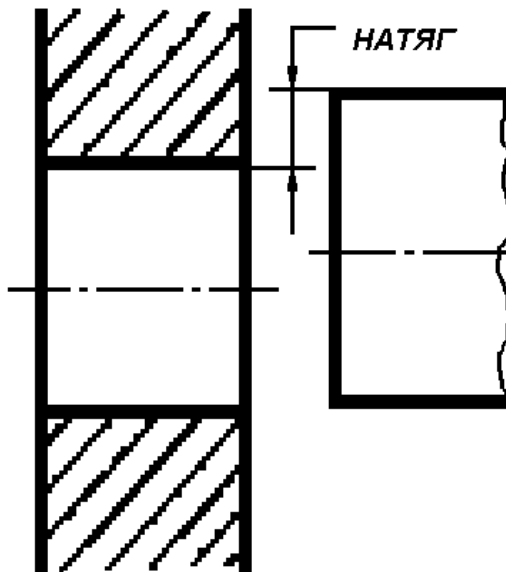


Рисунок 7.10.

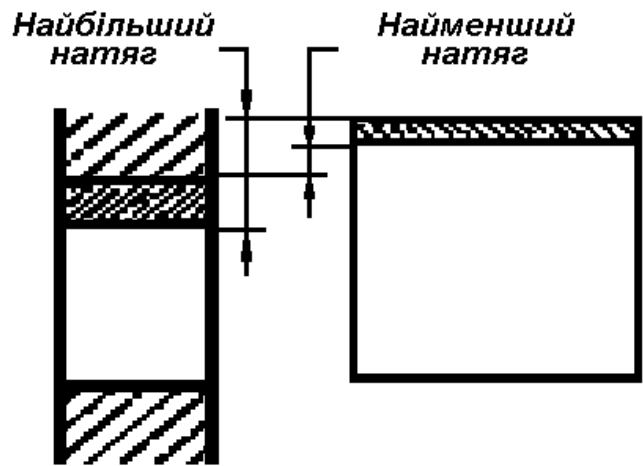


Рисунок 7.11.

**Найменший**  $S_{\min}$  або **найбільший**  $S_{\max}$  **зазор** – два граничних значення, між якими має знаходитися зазор. Позначаючи  $D_{\max}$  і  $D_{\min}$  максимальний і мінімальний (можливий) діаметр отвору, а  $d_{\max}$  і  $d_{\min}$  максимальний і мінімальний (можливий) діаметр вала, одержимо:

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es, \quad S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei. \quad (7.4)$$

**Середній зазор** – середнє арифметичне найменшого і найбільшого зазорів. Дійсний зазор – зазор, визначений як різниця дійсних розмірів отвору і вала.

**Натяг** (позначається буквою  $N$ ) – різниця розмірів вала й отвору до зборки, якщо розмір вала більше розміру отвору.

**Найменший**  $N_{\min}$  або **найбільший**  $N_{\max}$  **натяг** - два граничних значення, між якими повинний знаходитися натяг:

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = ei - ES, \quad N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI. \quad (7.5)$$

**Середній натяг** – середнє арифметичне найменшого і найбільшого натягів. **Дійсний натяг** – натяг, визначений як різниця дійсних розмірів вала й отвору до зборки деталей.

**Посадка** – характер з'єднання деталей, обумовлений величиною зазорів, що виходять у ньому, або натягів.

**Посадка з зазором** – посадка, при якій забезпечується зазор у з'єднанні (поле допуску отвору розташовано над полем допуску вала). До посадок із зазором відносяться також посадки, у яких нижня границя поля допуску отвору збігається з верхньою границею поля допуску вала.

**Посадка з натягом** – посадка, при якій забезпечується натяг у з'єднанні (поле допуску отвору розташовано під полем допуску вала).

**Перехідна посадка** – посадка, при якій можливе одержання як зазору, так і натягу (поля допусків отвору і вала перекриваються частково або цілком).

Умовне позначення посадки складається з позначень полів допусків отвору і вала, що повинні записуватися у виді дробу з горизонтальною або косою рисою або розділятися тире, наприклад:

$$\frac{H7}{g6}, H7/g6, H7 - g6. \quad (7.6)$$

**ПРИКЛАД 1.** Для системи отвір-вал з номінальним діаметром  $\varnothing 100$  мм дана посадка  $H7/d8$ . Основне відхилення поля допуску  $d$  для цього діаметра дорівнює  $-120$  мкм. Визначити:

1. Поля допусків і величини відхилень для отвору та вала;
2. Тип посадки;
3. Залежно від типу посадки величини мінімального та максимального зазору або натягу.

Розв'язання. Для діаметра  $\varnothing 100$  мм, який потрапляє до інтервалу діаметрів  $\varnothing 80$  мм -  $\varnothing 120$  мм одиниця поля допуску  $i = 2,186$  мкм.

Для позначення  $H7$  квалітет 7, поле допуску  $IT7 = 16i \approx 35$  мкм. Тому для отвору нижнє відхилення  $EI = 0$  (тому що  $H$ ), верхнє відхилення  $ES = EI + IT7 = +35$  мкм (тому що  $H7$ ).

Для позначення  $d8$  квалітет 8, поле допуску  $IT8 = 25i \approx 55$  мкм. Тому для вала верхнє відхилення  $es = -120$  мкм (тому що  $d$ ), нижнє відхилення  $ei = es - IT8 = -120 - 55 = -175$  мкм (тому що  $d8$ ).

Отже, в цьому випадку, коли верхнє відхилення поля допуску вала знаходиться нижче нижнього відхилення поля допуску отвору, в системі утворюється посадка з зазором -  $S$ . Тому  $S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es = 0 - (-120) = 120$  мкм,  $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei = +35 - (-175) = 210$  мкм.

**ПРИКЛАД 2.** Для системи отвір-вал з номінальним діаметром  $\varnothing 150$  мм дана посадка  $H7/s7$ . Основне відхилення поля допуску  $s$  для цього діаметра дорівнює  $+170$  мкм. Визначити:

1. Поля допусків і величини відхилень для отвору та вала;
2. Тип посадки;
3. Залежно від типу посадки величини мінімального та максимального зазору або натягу.

Розв'язання. Для діаметра  $\varnothing 150$  мм, який потрапляє до інтервалу діаметрів  $\varnothing 120$  мм -  $\varnothing 180$  мм одиниця поля допуску  $i = 2,523$  мкм.

Для позначення  $H7$  квалітет 7, поле допуску  $IT7 = 16i \approx 41$  мкм. Тому для отвору нижнє відхилення  $EI = 0$  (тому що  $H$ ), верхнє відхилення  $ES = EI + IT7 = +41$  мкм (тому що  $H7$ ).

Для позначення  $s7$  квалітет 7, поле допуску  $IT7=16i\approx 41$  мкм. Тому для вала нижнє відхилення  $ei = +170$  мкм (тому що  $s$ ), верхнє відхилення  $es = ei + IT7 = +170 + 41 = +211$  мкм (тому що  $s7$ ).

Отже, в цьому випадку, коли нижнє відхилення поля допуску вала знаходиться вище верхнього відхилення поля допуску отвору, в системі утворюється посадка з натягом  $N$ . Тому  $N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = ei - ES = 170 - 41 = 129$  мкм,  $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI = 211 - 0 = 211$  мкм.

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке розмір, номінальний розмір, дійсний розмір?
2. Що таке відхилення, нижнє відхилення, верхнє відхилення?
3. Що таке допуск, поле допуску, одиниця допуску?
4. За яким принципом побудовано ряд квалітетів?
5. Чим відрізняється посадка з зазором від посадки з натягом?
6. Як умовно позначається посадка отвір-вал?
7. Як розташовані поля допуску для отворів і валів?
8. Як визначаються найбільший, найменший зазор і натяг?

## ЛЕКЦІЯ 8. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ

У деталях машин і приладів нарізку застосовують як приєднувальні елементи для забезпечення роз'ємних з'єднань. Нарізними з'єднаннями називають з'єднання двох деталей, одна з яких має внутрішню нарізку, а інша — зовнішню.

У нерухомих з'єднаннях деталей застосовують **кріпильні** нарізки, що повинні бути міцними й у деяких випадках герметичними (непроникними). У рухливих з'єднаннях для передачі заданого переміщення однієї деталі щодо іншої застосовують **кінематичні** нарізки. Ці нарізки повинні задовольняти вимогам міцності та забезпечувати необхідну точність переміщень, мінімальні втрати на тертя і т.п. У з'єднаннях, призначених для перетворення обертального руху в осьове переміщення, застосовують **гвинтову пару**. В усіх випадках нарізки повинні задовольняти вимогам збирання, тобто згвинчуватися вільно або з застосуванням нормованих крутильних моментів.

Нарізки підрозділяють:

- 1) за профілем осьового переріза гвинтової поверхні — на **трикутні, трапецеїдальні, упорні та круглі**;
- 2) за формою поверхонь, на яких нарізана нарізка, — на **циліндричні та конічні**;
- 3) за утворенням - на зовнішній поверхні і внутрішній поверхні циліндра;
- 4) по числу заходів гвинтової канавки — на **однозаходні та багатозаходні** (двозаходні, тризаходні тощо);
- 5) за напрямком гвинтової поверхні— на **праву** (яка, якщо дивитися уздовж осі, обертаючись за годинниковій стрілці, віддаляється від спостерігача) і **ліву** (яка, якщо дивитися уздовж осі, обертаючись проти годинниковій стрілки, віддаляється від спостерігача).

### ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ, ЩО ОБМЕЖУЮТЬСЯ ДОПУСКАМИ

До нарізних з'єднань пред'являються вимоги взаємозамінності. Однак здійснити дані вимоги в цих з'єднаннях значно складніше, ніж у гладких, тому що на характер нарізного з'єднання одночасно впливають кілька параметрів.

У нарізному з'єднанні зовнішня нарізка є поверхнею, що охоплена, і зветься «болт» («гвинт», «шпилька» та ін.), внутрішня є поверхнею, що охоплює, і зветься «гайка» («гніздо» і ін.) (рис. 8.1.).

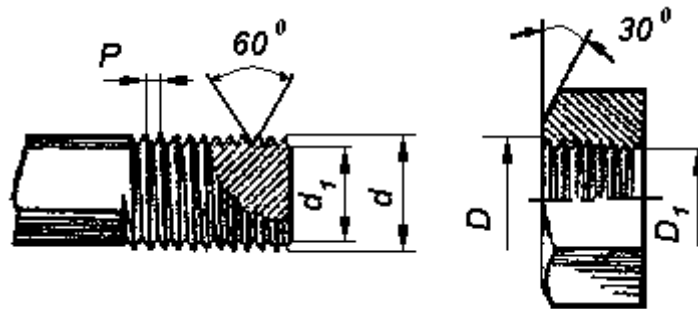


Рисунок 8.1.

Для циліндричних і конічних нарізок визначення ряду параметрів є загальними (Рис. 8.2)

**Профіль нарізки** — це контур перетину нарізки в площині, що проходить через вісь.

**Кут профілю  $\alpha$**  — кут між бічними сторонами профілю, для метричних нарізок  $\alpha = 60^\circ$ .

**Кути нахилу сторін профілю** — кути між боковими сторонами профілю і перпендикуляром до осі нарізки. Для метричних нарізок із симетричним профілем кути нахилу сторін дорівнюють половині кута профілю:

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{60^\circ}{2} = 30^\circ$$

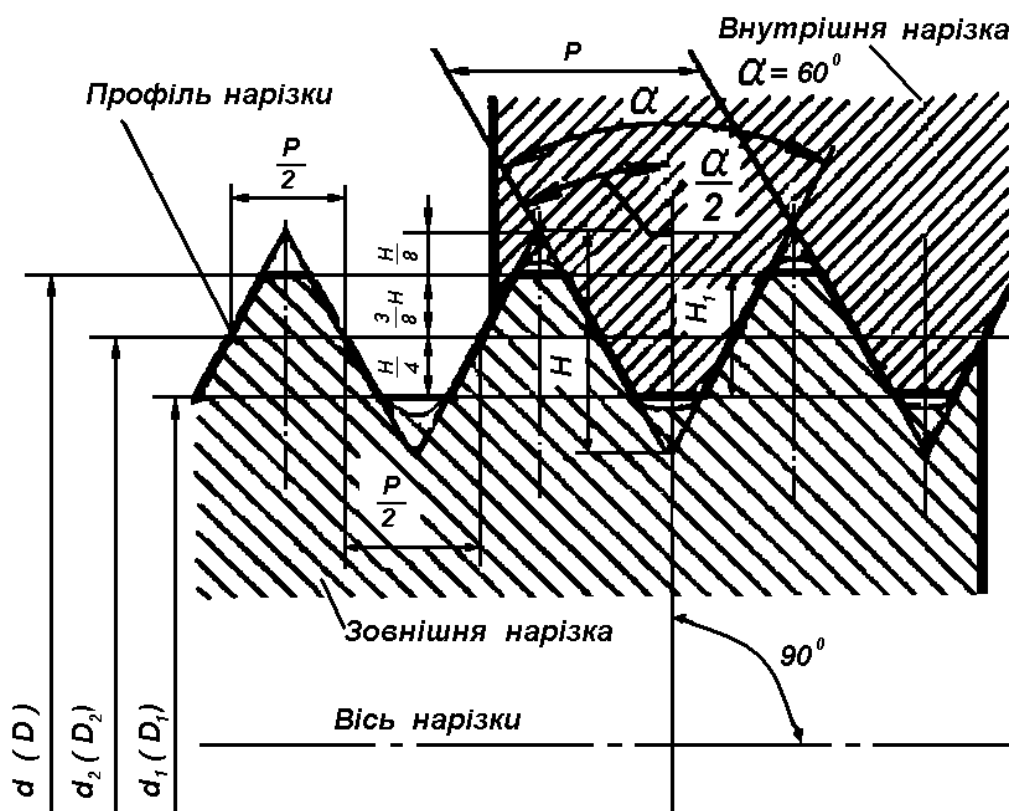


Рисунок 8.2.

**Робоча висота профілю**  $H_1$  — висота контакту сторін профілю зовнішньої і внутрішньої нарізки в напрямку, перпендикулярному до осі нарізки.

**Довжина згвинчування** — довжина контакту гвинтових поверхонь зовнішньої і внутрішньої нарізок в осьовому напрямку.

**Крок нарізки**  $P$  — відстань між сусідніми однойменними боковими сторонами профілю, що визначається по середньому діаметру.

Метричні нарізки бувають з великими і дрібними кроками. У нарізки з великим кроком кожному зовнішньому діаметрові відповідає крок, що визначається по залежності  $d = 6P^{1,3}$ . У нарізки з дрібним кроком одному зовнішньому діаметрові можуть відповідати різні кроки.

**Діаметр  $d$  зовнішньої нарізки** (болта, гвинта, шпильки та ін.) або  **$D$  внутрішньої нарізки** (гайки) — діаметр уявлюваного циліндра, описаного навколо вершин зовнішньої нарізки або западин внутрішньої.

**Внутрішній діаметр болта  $d_1$  і гайки  $D_1$**  - діаметр уявлюваного циліндра, уписаного в западини зовнішньої нарізки або у вершини внутрішньої нарізки.

**Середній діаметр нарізка болта  $d_2$  і гайки  $D_2$**  — діаметр уявлюваного співвісного з нарізкою циліндра, твірنا якого перетинає профіль нарізки в точці, де ширина канавки дорівнює половині номінального кроку нарізки.

Основним елементом, що визначає характер посадки нарізок, є середній діаметр, тому що нарізка повинна сполучатися тільки з боків нарізаного профілю. Допуски на зовнішній діаметр нарізки ( $d$ ) розраховуються так, щоб усунути можливість защемлення по вершинах і западинам нарізки.

Взаємозамінність нарізних з'єднань полягає в тому, щоб болт даного розміру міг згвинчуватися з будь-якою гайкою того ж номінального розміру по всій довжині згвинчування. Оскільки нарізка сполучається з боків профілю, на згвинчуваність болта і гайки впливають не тільки середній діаметр, але і крок нарізки і половина кута нахилу профілю. Тому умовою взаємозамінності нарізаних деталей (болта, гайки) є дотримання визначеної точності елементів нарізки:  $d_2$ ,  $P$ ,  $\frac{\alpha}{2}$ . Практично неможливо дотримувати абсолютно точні розміри всіх елементів. Тому в нарізці болта і гайки виникають похибки у власне середньому діаметрі нарізки  $Td_2$ , у кроці нарізки  $TP$  і половині кута профілю  $T\frac{\alpha}{2}$ . Похибки половини кута профілю залежать від правильності

профілю інструмента та ступеня його зносу. Похибки кроку нарізки визначаються точністю ходового гвинта та правильністю підрахунку передаточного числа шестірень від ходового гвинта до шпинделя верстата. При наявності цих похибок для забезпечення згвинчуваності гайки і болта необхідно відповідно змінити розміри середнього діаметра болта і гайки, а саме, зменшити середній діаметр болта і збільшити середній діаметр гайки. У результаті цього по середньому діаметрі між болтом і гайкою створюється додатковий зазор, що компенсує погрішність кроку і кута профілю деталей, що сполучаються.

Нарізні з'єднання з великими гарантованими зазорами по діаметрах застосовуються в наступних випадках:

1) коли нарізні деталі працюють при високій температурі з метою компенсації температурних деформацій, запобігання з'єднань від заїдання шляхом введення в зазор змащення та забезпечення можливості розбирання деталей без ушкодження;

2) коли необхідна швидка і легка згвинчуваність деталей навіть при наявності невеликого забруднення або ушкодження нарізки;

3) коли потрібна підвищена циклічна міцність нарізних з'єднань;

4) коли на нарізні деталі наносять антикорозійні покриття, тому що виготовлення нарізки по ковзній посадці з наступним нанесенням покриття може привести до незгвинчуваності нарізних деталей, що неприпустимо.

На Рис. 8.3. показано розташування полів допуску  $h$  для болтів та  $H$  для гайок, позначення діаметрів для цього з'єднання. Усі відхилення відраховуються від номінального профілю нарізки в напрямку, перпендикулярному осі нарізки. Відхилення, як і допуски, розподіляють на профілі нарізки та розташовують у верхній і нижній частині нарізки нарівно, що пояснює появу в позначеннях полів допуску коефіцієнта  $1/2$ .

Основні відхилення для нарізки болтів позначають  $h, g, f, e, d$  (Рис. 8.4), для гайок -  $H, G, F, E$  (Рис. 8.5) і визначають по наступних формулах:

$$es_h = 0, \quad es_g = -(15 + 11P), \quad es_e = -(50 + 11P), \\ es_d = -(80 + 11P), \quad EI_H = 0, \quad EI_G = +(15 + 11P).$$



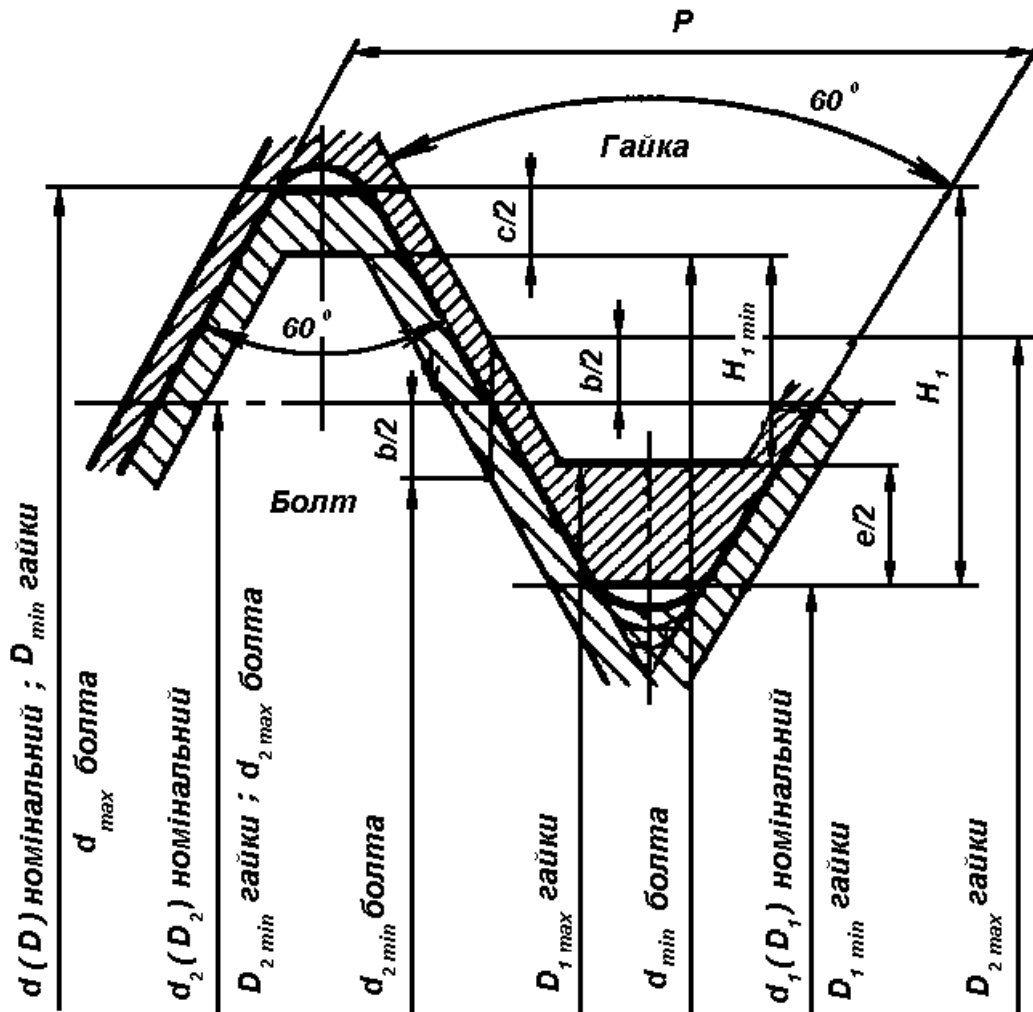


Рисунок 8.3.

Допуск середнього діаметра нарізки є сумарним. Основним для всіх діаметрів прийнятий допуск по 6-й ступеня точності. Допуски діаметрів нарізки для 6-й ступеня точності при нормальній довжині згвинчуваності визначені по формулах:

$$\text{для } d_2 \quad Td_2(6) = 90P^{0,4}d^{0,1}$$

$$\text{для } d \quad Td(6) = 180\sqrt[3]{P^2} - \frac{3,15}{\sqrt{P}}$$

$$\text{для } D_1 \quad TD_1(6) = \begin{cases} \frac{433 - 190P^{1,22}}{230P^{0,7}} & \text{при } P < 1 \text{ мм} \\ P \geq 1 \text{ мм} \end{cases}$$

$$\text{для } D_2 \quad TD_2(6) = 1,32Td_2(6),$$

де  $T$  з відповідним буквеним індексом діаметра – допуск, мкм;  $P$  – крок нарізка, мм;  $d$  – номінальний діаметр нарізка, мм.

Допуски в інших ступенях точності визначаються множенням допуску 6-й ступеня точності на коефіцієнт, що змінюється по ряду  $R10$  переважних чисел (у порядку убавання точності) (Табл. 8.1):

Таблиця 8.1.

Ступінь точності	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт	0,5	0,63	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5

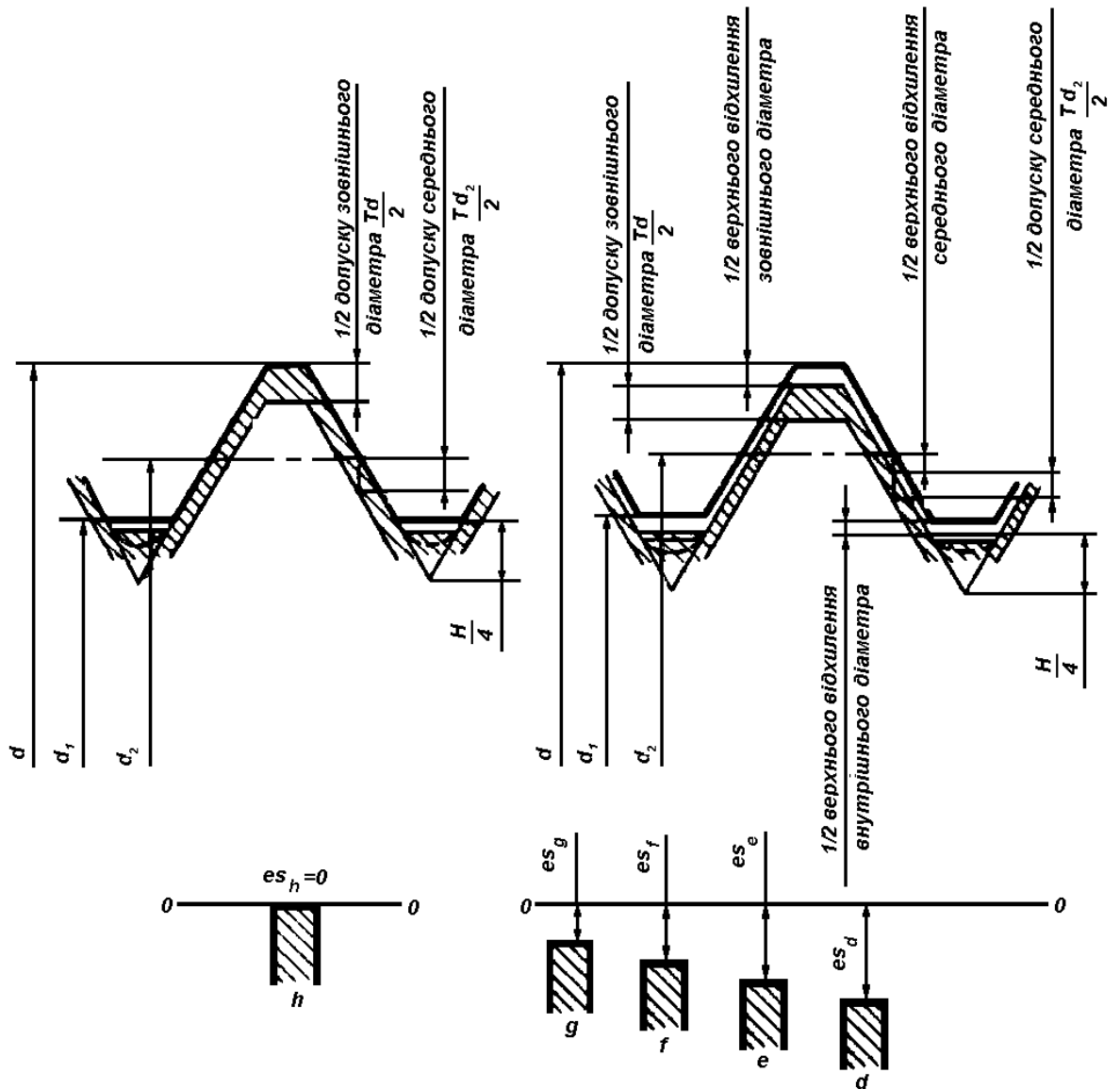


Рисунок 8.4.

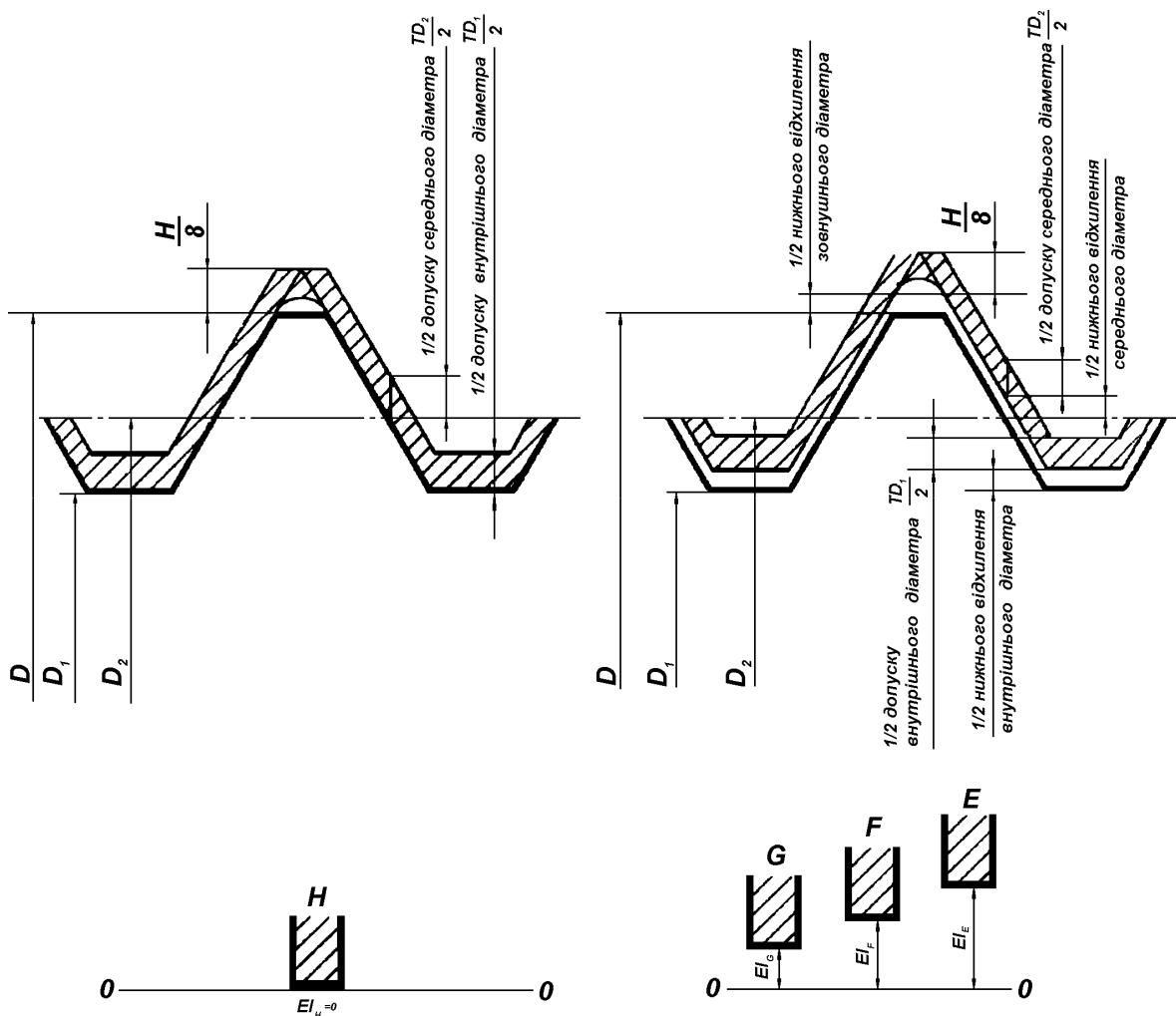


Рисунок 8.5.

Поля допусків рекомендується вибирати з урахуванням довжин згинчуваності, що розділені на три групи:

- \* малі  $S$  - довжини згинчуваності до  $2,24P \cdot d^{0,2}$ ,
- \* нормальні  $N$  - довжини від  $2,24P \cdot d^{0,2}$  до  $6,7P \cdot d^{0,2}$ ,
- \* великі  $L$  - довжини понад  $6,7P \cdot d^{0,2}$ .

Відповідно до вимог, які висуваються до точності нарізного з'єднання, поля допусків болтів і гайок встановлені в трьох класах точності: точному, середньому і грубому. Нарізку точного класу застосовують для відповідальних, навантажених нарізних з'єднань, що забезпечують точне центрування, а також для посадок високої точності. Нарізка середнього класу є найбільш розповсюдженими в машинобудуванні. Нарізку грубого класу застосовують при знижених вимогах до точності.

Розміри нарізки після покриття не повинні виходити за межі, обумовлені її профілем, і відповідати основним відхиленням  $h$  і  $H$ .

Усі відхилення відраховують від номінального профілю нарізки в напрямку, перпендикулярному осі нарізки. Відхилення, як і допуски,

розподіляють на профілі нарізки, розташовані у верхній і нижній частині нарізки нарівно. На мал. 3 показана верхня частина профілю нарізки з половиною граничних відхилень і половиною допусків. Нижня частина профілю нарізки не приведена.

Таблиця 8.2.

Клас точності	Довжина згвинчування									
	<i>S</i>			<i>N</i>			<i>L</i>			
	Поля допусків зовнішньої нарізки				Поля допусків внутрішньої нарізки					
Точний	(3 <i>h</i> 4 <i>h</i> )	4 <i>g</i>	4 <i>h</i>		(5 <i>h</i> 4 <i>h</i> )	4 <i>H</i>	4 <i>H</i> 5 <i>H</i>	5 <i>H</i>	6 <i>H</i>	
Середній	5 <i>g</i> 6 <i>g</i>	6 <i>g</i>	6 <i>d</i>	6 <i>f</i>	(7 <i>e</i> 6 <i>e</i> )	(5 <i>G</i> )	6 <i>G</i>	6 <i>H</i>	(7 <i>G</i> )	7 <i>H</i>
	(5 <i>h</i> 6 <i>h</i> )	6 <i>h</i>	6 <i>e</i>		7 <i>g</i> 6 <i>g</i> (7 <i>h</i> 6 <i>h</i> )	5 <i>H</i>				
Грубий	—	8 <i>g</i>	(8 <i>h</i> )		(9 <i>g</i> 8 <i>g</i> )		7 <i>G</i>	7 <i>H</i>	(8 <i>G</i> )	8 <i>H</i>

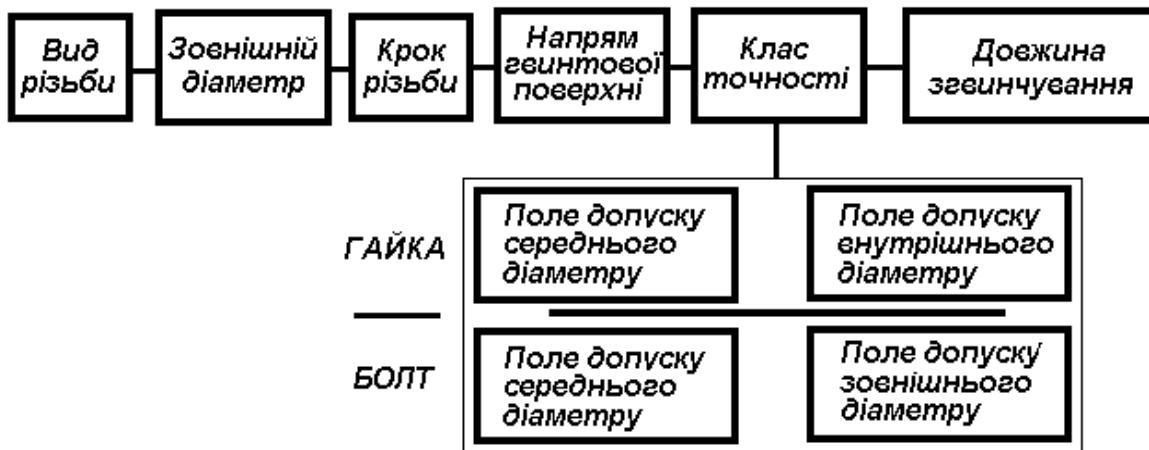
**Посадкою** в нарізному сполученні називається характер нарізного сполучення деталей, обумовлений різницею середніх діаметрів зовнішньої і внутрішньої нарізки до зборки. **У посадці з зазором** поле допуску середнього діаметра внутрішньої нарізки розташовано над полем допуску середнього діаметра зовнішньої нарізки, у з'єднанні забезпечується зазор. Посадки з зазором можуть бути утворені сполученням будь-яких полів допусків даного класу точності і довжини згвинчування, зазначених у Табл. 8.2. Однак краще сполучити поля допусків одного класу точності, наприклад, для середнього класу точності і нормальної довжини згвинчування можуть бути утворені наступні посадки: 6*H*/6*g* (краща), 6*H*/6*h*, 6*H*/6*d*, 6*H*/6*e*, 6*G*/6*d*, 6*G*/6*h*, 6*G*/6*e*, 6*G*/6*f*, 6*H*/6*g*, 6*H*/6*f*. Посадки з зазором здійснюються тільки по середньому діаметрі, тому що по зовнішньому і внутрішньому діаметрах утворюються великі зазори, що виключають защемлення елементів нарізки.

На Рис. 8.4 і 8.5 приведена схема розташування полів допусків нарізки при посадці з зазором з позначенням основних відхилень і допусків діаметрів нарізки, найменшого і найбільшого зазорів по середньому діаметрі.

Поля допусків  $8G$ ,  $7G$ ,  $8g$ ,  $6d$ ,  $6e$  і  $6f$  дають посадки з великим гарантованим зазором. Як вже було сказано вище, їх застосовують при нанесенні на нарізку корозійностійких покриттів, роботі деталей в умовах високої температури й у випадку легкої зборки і розбирання різьбових виробів.

Для стандартизованих полів допусків задаються граничні відхилення для нарізки болтів: верхнє – для зовнішнього  $d$ , середнього  $d_2$  і внутрішнього  $d_1$  діаметрів; нижнє – для зовнішнього  $d$  і середнього  $d_2$  діаметрів. Для внутрішнього діаметра нарізки болта нижнє відхилення не регламентується, але побічно обмежується формою западини, що забезпечується нарізним інструментом (Рис. 8.6).

Відповідно до діючих стандартів ISO і ДСТ нарізку позначають схематично буквами, цифрами і знаками. Послідовність розшифровки нарізок приведена на схемі:



**ПРИКЛАД 1.** Позначення  $M16 - 6g$  розшифровується:

$M$  - метрична нарізка,  $16$  - зовнішній діаметр  $d$ , крок основне, великий, нарізка права,  $6g$  - клас точності (для середнього  $d_2$  і зовнішнього  $d$  діаметрів), нарізка нарізане зовні (болт), нормальна довжина згвинчуваності;

позначення  $M16 \times 0.5LH - 7H$  розшифровується:

$M$  - метричне нарізка,  $16$  - зовнішній діаметр  $D$ ,  $0.5$  - крок дрібний,  $LH$  - нарізка ліва,  $7H$  - клас точності (для середнього  $D_2$  і зовнішнього  $D_1$  діаметрів), нарізка нарізане усередині (гайка), нормальна довжина згвинчуваності.

**ПРИКЛАД 2.** Позначення  $M12 \times 1 - \frac{6H}{7g6g} - 30$  розшифровується:

$M$  - метрична нарізка, 12 - зовнішній діаметр ( $d$  і  $D$ ), 1 - крок дрібний, нарізка права, посадка з зазором,  $6H$  - клас точності (для середнього  $D_2$  і зовнішнього  $D_1$  діаметрів гайки),  $7g$  - клас точності для середнього діаметра  $d_2$ ,  $6g$  - клас точності для зовнішнього діаметра  $d$  болта, 30 - довжина згвинчуваності.

На Рис. 8.6 показані величини відповідних зовнішніх, внутрішніх, середніх діаметрів, розташування полів допуску та величини мінімальних та максимальних діаметрів для відповідного нарізного з'єднання.

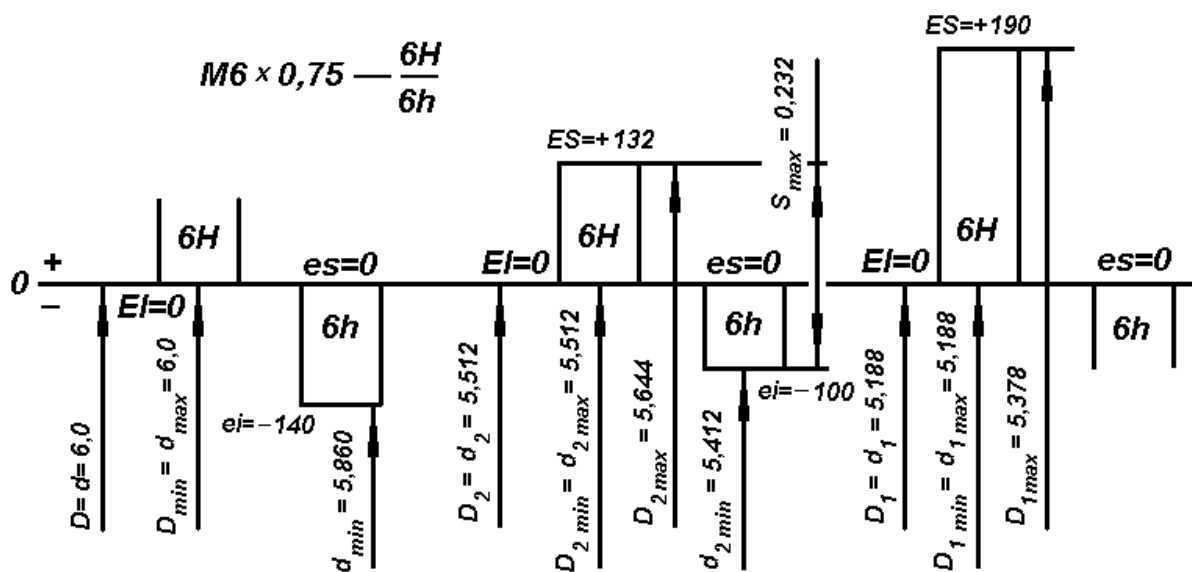


Рисунок 8.6.

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яка існує класифікація нарізних з'єднань?
2. Які параметри визначають нарізку?
3. Чим відрізняється метрична від решти нарізок?
4. Чим відрізняються зовнішній, внутрішній і середній діаметри?
5. Як будується поле допуску в нарізному з'єднанні?
6. Які існують класи точності для нарізних з'єднань?
7. Як визначається довжина згвинчуваності?
8. Як позначається нарізка? Наведіть приклад і розшифруйте.
9. Що викликає необхідність створення нарізних з'єднань з зазорами?

## ЛЕКЦІЯ 9. ВІДХИЛЕННЯ ФОРМИ ДЕТАЛЕЙ. ХВИЛЯСТІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ. ВПЛИВ ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ ДЕТАЛЕЙ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ.

В основу нормування і систему відліку відхилень форми і розташування поверхонь покладено принципи прилягаючих поверхонь і профілів. Розрізняють наступні основні види прилягаючих поверхонь і профілів. **Прилягаюча площина** і **прилягаюча пряма** — площина або пряма, що стикаються з дійсною поверхнею або профілем поза матеріалом деталі і розташовані так, щоб відстань від найбільш вилученої точки відповідно дійсній поверхні або профілю до прилягаючої площини або прямої було найменшим. Прилягаючий циліндр і прилягаюча окружність: для отвору — циліндр або окружність найбільшого можливого діаметра, уписані відповідно в дійсну поверхню або в дійсний профіль; для вала — циліндр або окружність найменшого можливого діаметра, описані навколо дійсної поверхні або дійсного профілю.

Прилягаючі поверхні і профілі відповідають умовам: сполучення деталей при посадках з нульовим зазором. При вимірюванні прилягаючими поверхнями служать робочі поверхні контрольних плит, інтерференційних стеклов, лекальних і перевірочних лінійок, калібрів, контрольних оправлень тощо; У деяких випадках вимірювання відхилень форми доцільно робити від середньої окружності, як це прийнято, наприклад, в Англії.

Для нормування відхилень форми встановлюються як диференційовані (елементарні), так і комплексні показники. Під **відхиленням форми** розуміється відхилення форми дійсної поверхні (або профілю) від форми номінальної поверхні (або профілю), заданої кресленням (наприклад, виготовлена циліндрична деталь у поперечному перерізі може стати некруглою, а в подовжньому — конусоподібною). За величину відхилення форми приймають найбільшу відстань від точок дійсної поверхні (або профілю) до прилягаючої поверхні (або профілю).

При визначенні відхилення форми хвилястість не враховують. Але при необхідності вона може нормуватися і контролюватися самостійно.

Шорсткість поверхні при вимірюванні відхилень форми не враховується. Це досягається тим, що при контролі відхилень форми застосовують вимірювальні наконечники з радіусами заокруглення, що значно перебільшують (у 100—1000 разів алмазні голки, які використовуються при контролі шорсткості поверхні,

**Відхилення форми циліндричних поверхонь.** Точності форми циліндричних поверхонь визначається точністю контуру в поперечному (перпендикулярному осі) перетині й утворюючому циліндрі в подовжньому (минаючому через вісь) перетині.

Контур поперечного переріза циліндричного тіла описується окружністю. Комплексним показником відхилень контуру поперечного переріза є некругість (відхилення окружності), визначена як найбільша відстань від точок дійсного профілю до прилягаючої окружності (Рис. 9.1). Некруглість характеризує сукупність усіх відхилень форми поперечного переріза циліндричної поверхні.

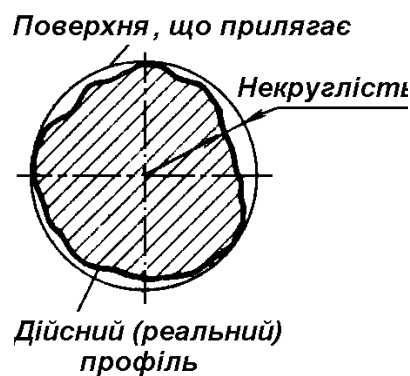


Рисунок 9.1.

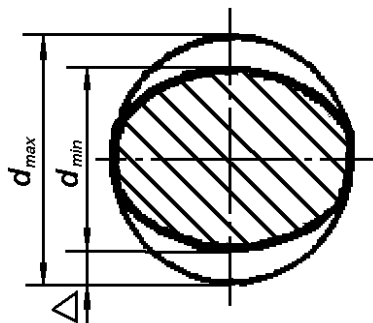


Рисунок 9.2.

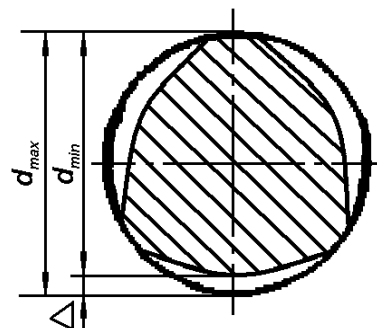


Рисунок 9.3.

Окремо відзначають такі відхилення форми в поперечному перерізі - овальність і огранювання, що є відхиленнями від окружності (Рис. 9.2, 9.3).

**Овальність** — це відхилення від окружності, при якому дійсний профіль являє собою овалоподібну фігуру, найбільший і найменший діаметри якої (уздовж великої і малої осей овалу) знаходяться у взаємно перпендикулярних напрямках. Величина овальності  $\Delta = d_{\max} - d_{\min}$ . Овальність деталі виникає, наприклад, унаслідок биття шпинделя токарського або шліфувального верстатів, дисбалансу деталі й інших причин.

**Огранювання** — відхилення, при якому профіль деталі являють собою багатогранну фігуру з криволінійними гранями. Величина огранювання  $\Delta = d_{\max} - d_{\min}$  визначається як найбільша відстань від точок дійсного профілю до прилягаючої окружності. Поява огранювання порозумівається зміною положення миттєвого центра обертання при обробці деталі, що найчастіше спостерігається при безцентровому шліфуванні. Миттєвих центрів обертання (а, отже, і граней) може бути три і більш трьох (див. Рис. 9.3).



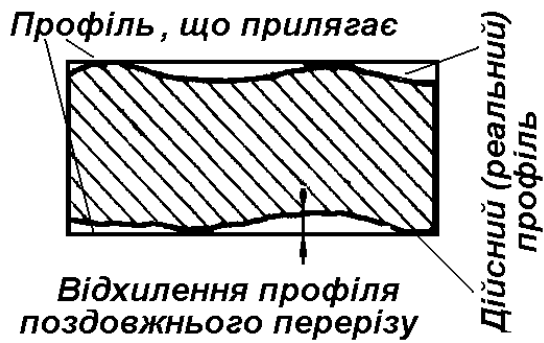


Рисунок 9.4.

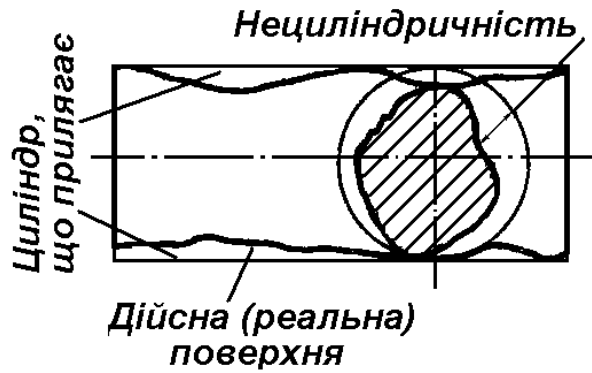


Рисунок 9.5.

Сукупність усіх відхилень форми циліндричної поверхні тільки в поздовжньому перетині (відхилення від прямолінійності і паралельності утворюючих) може бути визначена комплексним показником — відхиленням профілю поздовжнього перетину.

Відхилення профілю поздовжнього перетину циліндричної поверхні визначається як найбільша відстань від точок дійсного профілю до відповідної сторони прилягаючого профілю (Рис. 9.4). Прилягаючий профіль для цього випадку утвориться двома рівнобіжними прямими, що стикаються з дійсним профілем поза матеріалом деталі і розташованими стосовно нього так, щоб відхилення форми було найменшим.

Відхилення від циліндричної форми найбільше повно можуть бути регламентовані комплексним показником — **нециліндричністю** (Рис. 9.5) (відхиленням від циліндричності), що включає усі види відхилення форми поверхні від прямого круглого циліндра, тобто некруглість - відхилення профілю поздовжнього перетину. Величина нециліндричності визначається як найбільша відстань від точок дійсної поверхні до прилягаючого циліндра.

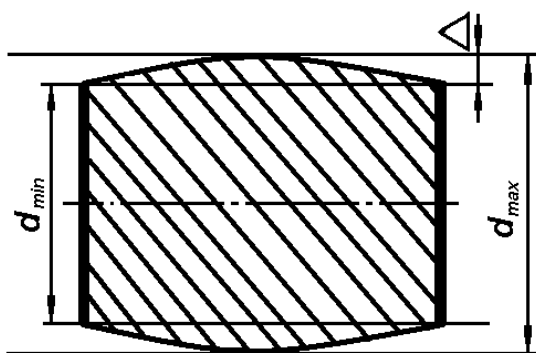


Рисунок 9.6.

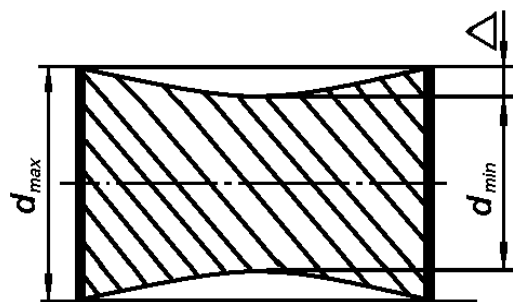


Рисунок 9.7.

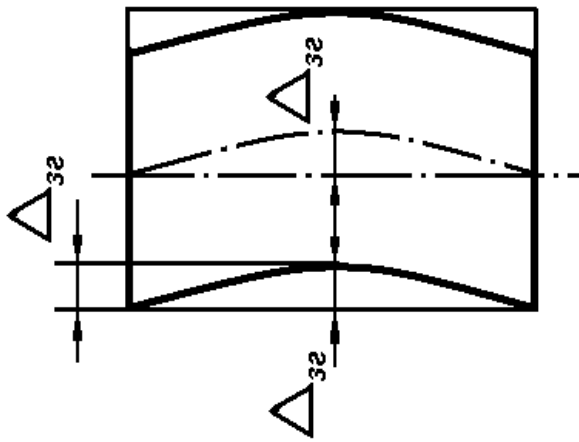


Рисунок 9.8.

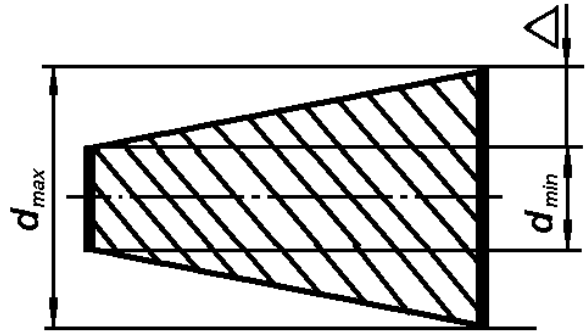


Рисунок 9.9.

До окремих відхилень форми циліндричних поверхонь у поздовжньому перетині (Рис. 9.6-9.9) відносять **бочкоподібність**, **седлоподібність**, **зігнутість**, **конусоподібність** і **гвинтоподібність**. Бочкоподібність, седлоподібність і зігнутість є відхиленнями від прямолінійності утворюючих; конусоподібність і гвинтоподібність — відхиленнями від паралельності утворюючих.

Величина бочкоподібності, седлоподібності і конусоподібності дорівнює різниці між найбільшим і найменшим діаметрами в тому самому поздовжньому перетині.

Зігнутість визначається як непрямолінійність геометричного місця центрів поперечних перерізів циліндричної поверхні. Вона виникає найчастіше в результаті дії рівномірно розподілених залишкових напруг, що з'являються після термообробки, наклепу тощо. Для одержання необхідної форми деталей доцільно оздоблювальні операції робити після остаточної термічної обробки.

**Відхилення форми плоских поверхонь.** Сукупність усіх відхилень профілю перетину плоских поверхонь може бути охарактеризована комплексним показником — **непрямолінійністю**, а усіх відхилень форми поверхні — **неплощинністю**.

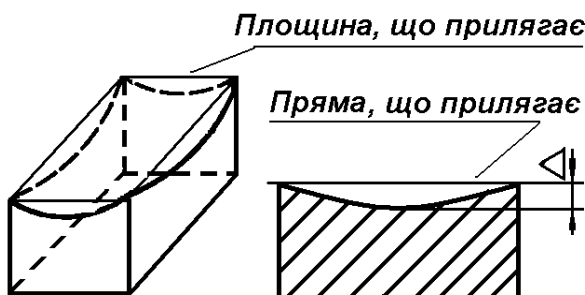


Рисунок 9.10.

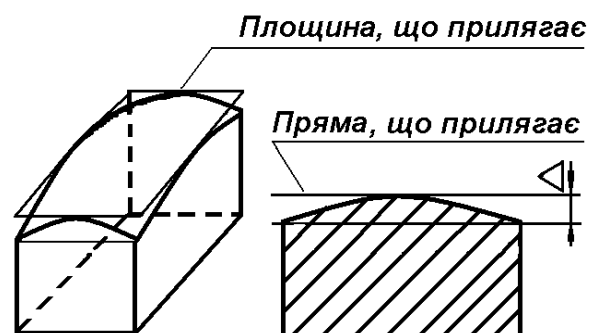


Рисунок 9.11.

**Непрямолінійність** (відхилення від прямолінійності профілю поверхні) — найбільша відстань від точок дійсного профілю (отриманого в перетині поверхні нормальною площиною, що проходить у заданому напрямку) до прилягаючої прямої (Рис. 9.10, 9.11). Допуск на непрямолінійність може бути віднесений до всієї ділянки поверхні, що перевіряється, або до заданої довжини.

**Неплщинність** (відхилення від площинності) — найбільша відстань від точок дійсної поверхні до прилягаючої площини. Деталі з плоскими поверхнями можуть мати диференційовані відхилення у вигляді увігнутості й опуклості (Рис. 9.10, 9.11).

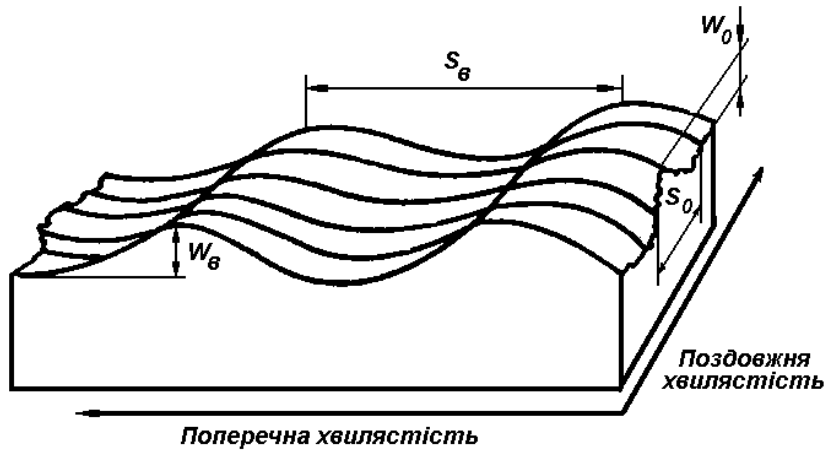


Рисунок 9.12.

Під **хвилястистю** поверхні розуміють сукупність близьких по розмірах виступів і западин, які періодично чергуються, що утворюються при механічній обробці матеріалів через нерівномірність зусиль різання і коливань у системі верстат-інструмент-виріб. Частіше хвилястисть має синусоїдальний характер. Хвилястисть займає проміжне положення між відхиленнями форми і шорсткістю поверхні. Розрізняють подовжню і поперечну хвилястисть (уздовж руху інструмента й у напрямку, перпендикулярному цьому рухові). Параметри хвилястості: висота хвилі ( $W_\epsilon$  або  $W_0$ ) і крок хвилі ( $S_\epsilon$  або  $S_0$ )

Розходження між хвилястистю і шорсткістю визначається відношенням кроку хвилі (мікронерівності) до її висоти -  $S/W$ . Відхилення, у яких відношення  $S/W < 50$ , відносять до шорсткості поверхні, при  $50 \leq S/W \leq 1000$  – до хвилястості, при  $S/W > 1000$  – до відхилень форми.

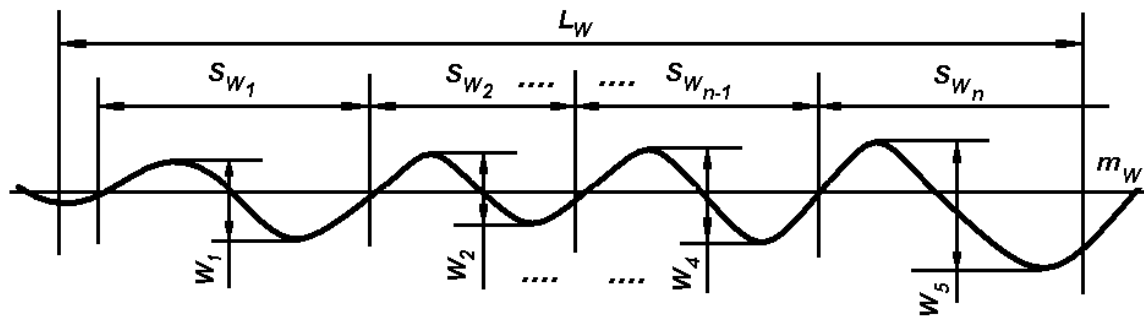


Рисунок 9.13.

Установлено наступні параметри хвилястості. Висота хвилястості  $W$  — середнє арифметичне з п'яти її значень ( $W_1, W_2, \dots, W_5$ ) визначених на довжині ділянки вимірювання  $L_W$ , рівного не менш п'яти дійсним найбільшим крокам  $S_W$  хвилястості (Рис. 9.13):

$$W_Z = \frac{1}{5} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5). \quad (9.1)$$

Допускається непослідовне розташування ділянок вимірювання.

Числові граничні значення  $W_Z$  повинні вибиратися з ряду (розмір у мкм): 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100; 200.

Середній крок хвилястості  $S_W$  — середнє арифметичне значення відстаней  $S_{W_i}$  між однойменними сторонами сусідніх хвиль, обмірюваних по середній лінії  $m_W$  профілю (Рис. 9.13):

$$S_W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{W_i}. \quad (9.2)$$

Положення середньої лінії  $m_W$  визначається так само, як середньої лінії профілю  $m$  шорсткості (див. нижче).

**Шорсткістю поверхні** називають сукупність нерівностей з відносно малими кроками, що утворюють рельєф поверхні деталі та розглядаються у межах базової довжини.

Шорсткість обробленої поверхні є наслідком пластичної деформації поверхневого шару деталі при утворенні стружки, копіюванні, нерівностей крайок інструмента, що ріже, і тертя його об деталь, виривання з поверхні часток матеріалу, вібрації деталі й інструмента й інших причин.

На шорсткість поверхні розроблений комплекс стандартів, що включає стандарт на параметри, терміни і позначення шорсткості.

Шорсткість поверхні є однією з основних геометричних характеристик якості поверхні деталей і впливає на експлуатаційні показники. Вимоги до шорсткості поверхні повинні установлюватися виходячи з функціонального призначення поверхні для забезпечення заданої якості виробів.

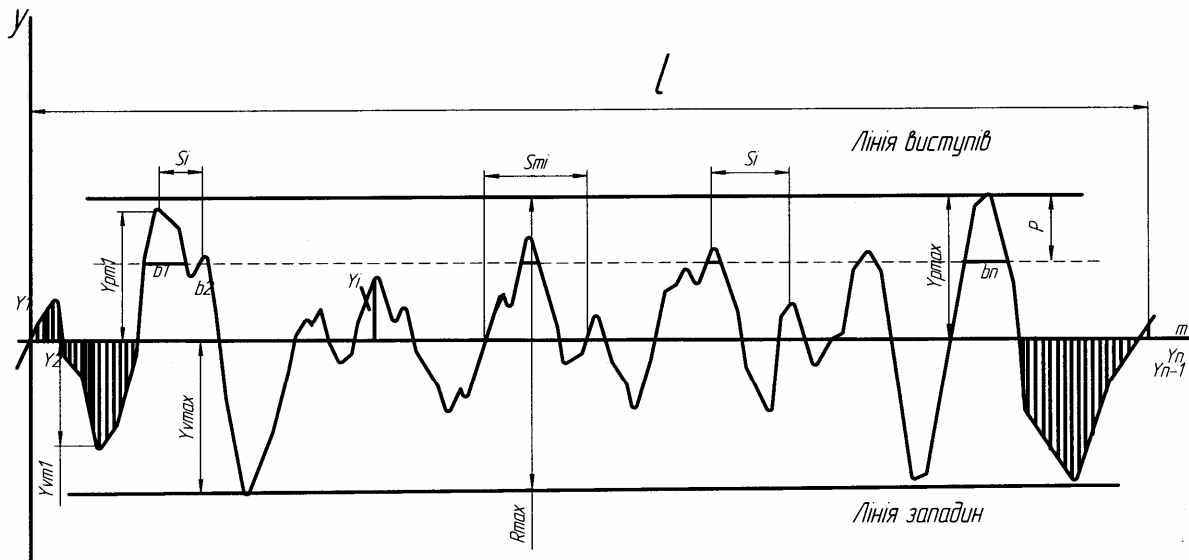


Рисунок 9.14.

Державний стандарт розроблений для забезпечення підвищених вимог до якості виробів шляхом повного урахування властивостей шорсткості поверхні і прогресивних методів їхнього нормування. Він установлює вимоги до шорсткості поверхні незалежно від способу її одержання або обробки.

Шорсткість поверхні оцінюється по нерівностях профілю (частіше поперечного), одержаного шляхом перетину реальної поверхні площиною (найчастіше в нормальному перетині). Для відділення шорсткості поверхні від інших нерівностей з відносно великими кроками (відхилення форми і хвилястості) її розглядають для обмеженої ділянки (див. Рис. 9.14), довжина якої називається базовою довжиною  $l$ . Базою для відліку відхилень профілю є середня лінія профілю  $m$ . Для визначення параметрів шорсткості вводяться наступні величини:

- відхилення профілю  $y$  - відстань між точкою профілю і базовою лінією
- лінія виступів профілю – лінія, еквідистантна середньої лінії, що проходить через найвищу точку профілю в межах базової довжини
- лінія западин профілю - лінія, еквідистантна середньої лінії, що проходить через найнижчу точку профілю в межах базової довжини
- висота виступу профілю  $y_{pm}$  - відстань від середньої лінії профілю до вищої точки виступу профілю ( $Y_{pmax}$  – висота найбільшого виступу профілю)
- глибина западини профілю  $y_{vm}$  - відстань від середньої лінії профілю до нижчої точки западини профілю ( $Y_{vmax}$  – глибина найбільшої западини профілю)

Для кількісної оцінки і нормування шорсткості поверхонь встановлено шість параметрів: три висотних ( $R_{\max}$ ,  $R_z$ ,  $R_a$ ), два крокових ( $S_m$ ,  $S$ ) і параметр відносної опорної довжини профілю ( $t_p$ ). Слід зазначити, що усі висотні параметри мають розмірність (мкм), а крокові – (мм).

1. Параметри шорсткості, зв'язані з висотними властивостями нерівностей.

$R_{\max}$  – найбільша висота нерівностей профілю.  $R_{\max} = Y_{p\max} + Y_{v\max}$ .

$R_z$  – висота нерівностей профілю по десятих точках, або сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{pmi} + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5}, \quad (9.3)$$

де  $y_{pmi}$  – висота  $i$ -го найбільшого виступу профілю;  $y_{vmi}$  – глибина  $i$ -ої найбільшої западини профілю.

$R_a$  – середнє арифметичне відхилення профілю, або в межах базової довжини

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx; \quad R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (9.4)$$

де  $l$  – базова довжина,  $n$  – число обраних дискретних точок профілю на базовій довжині.

2. Параметри шорсткості, зв'язані з властивостями нерівностей у напрямку довжини профілю.

$S_m$  – крок нерівностей профілю – відрізок середньої лінії профілю, що містить нерівність профілю, або довжина відрізка середньої лінії, обмеженого точками перетинання цієї лінії однойменних сторін сусідніх нерівностей.

$S_m$  – середній крок нерівностей профілю – середнє значення кроку нерівностей профілю по середній лінії ( $m$ ) у межах базової довжини.

$$S_m = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} S_{mi}, \quad (9.5)$$

$n_m$  – число кроків у межах базової довжини.

$S_i$  – крок нерівностей (місцевих виступів) профілю – відрізок середньої лінії між проекціями на неї найвищих крапок сусідніх місцевих ви-

ступів профілю, або відстань між вершинами характерних нерівностей у межах базової довжини.

$S$  - середній крок нерівностей по вершинах профілю – середнє значення кроків нерівностей (місцевих виступів) профілю (по вершинах), що знаходяться в межах базової довжини.

$$S = \frac{1}{n_{pk}} \sum_{i=1}^{n_{pk}} S_i, \quad (9.6)$$

$n_{pk}$  – число кроків у межах базової довжини.

3.  $t_p$  - відносна опорна довжина профілю – відношення опорної довжини профілю до базової довжини у відсотках

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \cdot 100\%, \quad (9.7)$$

де  $\eta_p$  - сума довжин  $n_t$  відрізків, що відтинаються на заданому рівні в матеріалі профілю лінією, яка еквідистантна до середньої лінії в межах базової довжини

$$\eta_p = \sum_{i=1}^{n_t} b_i. \quad (9.8)$$

Рівень перетину профілю  $P$  – відстань між лінією виступів профілю і лінією, що перетинає профіль еквідистантно до лінії виступів (або середньої лінії) профілю, виражене у відсотках від  $R_{\max}$  ( $P$  і  $R_{\max}$  – у мкм), тобто

$$p = \frac{P}{R_{\max}} 100\%. \quad (9.9)$$

Вибір параметрів та їхніх значень для нормування шорсткості має виконуватися з урахуванням призначення поверхонь й встановлення їх зв'язку з експлуатаційними властивостями поверхні.

Якість деталей в загальному вигляді представляє сукупність властивостей, які визначають їх спроможність для задоволення певних потреб відповідно до їхнього призначення. Вона визначається великою кількістю факторів, але для будь-яких видів продукції в цілому набір показників є загальним. Однак для машинобудування та приладобудування якість продукції найкращим чином оцінюється на основі експлуатаційних характеристик, тобто службових властивостей машин та їхніх деталей. Звичайно оцінку якості проводять за показниками надійності, динамічної якості, ергономічності й економічності експлуатації.

Практика машинобудування накопичила досвід встановлення експлуатаційних властивостей деталей, до яких відносять: зносостійкість, опір втомі, контактну жорсткість, вібростійкість, корозійну стійкість,

міцність сполучень, щільність з'єднань, міцність зчеплення покриття тощо. Забезпечення цих та інших властивостей технологічними методами пов'язано з регламентуванням двох груп показників. До першої відносять показники геометричного, до другої – фізико-механічного характеру.

Геометричні показники. Витримка заданого розміру з жорсткими допусками не викликає таких технологічних труднощів, як забезпечення точності форми. Зокрема, у виробничих умовах виникають істотні за величиною відхилення від круглості. Вони безпосередньо впливають на якості з'єднань, що мають циліндричні поверхні, тому, що по таких поверхнях встановлюють відповідальні деталі та вузли машин, передусім, підшипники кочення, котрі внаслідок відхилень форми кілець можуть втратити свої первісні характеристики.

Кількісна оцінка геометричних показників безпосередньо приводить до якісних змін в з'єднаннях деталей. Так, якщо одна з деталей сполучення має відхилення від циліндричності, то при малих навантаженнях переміщення в стикі буде приблизно в 1,5 рази вище, ніж в сполученні «ідеальної» форми. Якщо в шарикових підшипниках застосовувати тіла кочення 0-го ступеня точності замість 01-го, то довговічність підшипників збільшується приблизно на 30%. Зниження рівня погрешностей робочих поверхонь підшипників з 2,5 до 1,0 мкм підвищує контактну витривалість приблизно в 3 рази. Збільшення точності форми шийок колінчатих валів з 10 до 6 мкм підвищує строк служби вкладишів підшипників в 2.5-4 рази тощо.

В центрі уваги знаходиться ще одна геометрична характеристика, пов'язана з шорсткістю поверхонь деталей. Мікронерівності поверхонь, зумовлені технологічним процесом виготовлення деталей, вирішальним чином визначають якість з'єднання й машини в цілому. Вони є важливою складовою частиною поняття «якість поверхневого шару».

При відхиленнях форми, які вважать макроскопічними, якість деталей, що працюють в умовах знакозмінного навантаження та мають розтягаючі напруження поверхневих шарів, є особливо низькою. Для таких деталей необхідно технологічне формування стискаючих залишкових напружень, що забезпечується спеціальною технологією зміцнення.

Призначення параметрів шорсткості безпосередньо пов'язано з якістю деталей машин. Сучасна оцінка шорсткості дозволяє призначати шорсткість залежно від експлуатаційних властивостей деталей. Для деталей, що працюють в умовах зносу, найважливішими характеристиками є середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$ , середній крок нерівностей профілю по середній лінії  $S_m$  і відносна опорна довжина профілю  $t_p$ . Для деталей, що працюють в умовах знакозмінного навантаження, найважливішою є найбільша висота профілю  $R_{max}$ , а для



забезпечення високої міцності зчеплення з покриттям – висота нерівностей профілю по десяти точках  $R_z$ . Особливо передбачається напрямок слідів обробки на поверхнях деталей, а також взаємне розташування цих слідів на поверхнях, що сполучаються.

В процесі припрацювання нерівності поверхні змінюються як за величиною, так і по формі, і для певного режиму експлуатації встановлюється оптимальна шорсткість і оптимальний наклеп (зміцнення при пластичному деформуванні) поверхнево шару, завдяки чому швидкість зносу деталей стає найменшою.

Відхилення форми і розташування знижують не тільки експлуатаційні, а й технічні показники машин. Так, вони істотно впливають на точність і трудомісткість зборки та підвищують обсяг пригоночних операцій, знижують точність вимірювання розмірів, впливають на точність базування деталі при виготовленні та контролі.

Нерівності є концентраторами напружень, особливо за наявності різних переходів і виточки. Злам колінчастих валів відбувається найчастіше в місцях закруглень, поверхні яких мають найбільшу шорсткість.

Шорсткість поверхні впливає на теплопровідність. Корозія металів значно слабша на гладких поверхнях, ніж на шорстких.

### **ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ**

1. Що називається відхиленням форми поверхні деталі?
2. Як класифікуються відхилення форми поверхні деталі?
3. Що спільного, чим відрізняються хвилястість і шорсткість поверхонь?
4. Які параметри характеризують шорсткість поверхні?
5. Що характеризують висотні параметри, а що крокові?
6. Як можна пояснити поняття якості деталей?
7. Як впливають геометричні показники на якість деталі?

## ЛЕКЦІЯ 10. ЗАКОНОДАВЧА БАЗА МЕТРОЛОГІЇ. ОСНОВИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА СЕРТИФІКАЦІЇ.

Обертаючись на багатомісячну історію розвитку стандартизації, сертифікації і метрології, можна замислитися над тим, що трапиться, якщо раптом вилучити стандарти, концепцію єдності вимірювань з практики суспільних відносин. Така ситуація просто неможлива, тому що саме на основі уніфікації вимірювань базується розвиток промисловості й економіки, працюють механізми самоорганізації суспільства.

В 2005 р. міжнародне суспільство відмічало День стандартів під гаслом „Стандарти для безпечного світу”. Саме 14 жовтня 1946 р. В Лондонському інституті цивільних інженерів відкрилась конференція національних організацій по стандартизації, на яку зібралися делегати з 25 країн. Результатом їхньої роботи стало заснування Міжнародної організації по стандартизації (ISO) в 1947 р. В 1970 р. Президент ISO Фарук Сунтер (Туреччина) запропонував святкувати Всесвітній день стандартів, щоб підкреслити важливість цієї сфери для світової економіки, активізувати її роль в суспільстві.

До складу ISO входять національні органи по стандартизації 146 країн. Рада ISO складається з 18 членів, п'ять з яких є постійними: Велика Британія, Німеччина, США, Франція, Японія. На 27-й Генеральній Асамблеї ISO Україна вперше була обрана до Ради ISO. Голова Держспоживстандарту України (на той час Леонід Школьник) був призначений представником України в Раді ISO.

**Стандартизація, метрологія, сертифікація** – це складові технічного регулювання, що служать надійною основою для захисту прав споживачів.

### ОСНОВИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Під **стандартизацією** розуміють визначення і застосування єдиних правил з метою упорядкування діяльності у певній галузі.

Результати стандартизації знаходять відображення у спеціальній нормативно-технічній документації. Основними її видами є стандарти і технічні умови – документи, що містять обов'язкові для продуцентів норми якості виробу і засоби їх досягнення (набір показників якості, рівень кожного з них, методи і засоби вимірювання, випробувань, маркировки, упаковки, транспортування і зберігання продукції). Застосовувана на підприємствах нормативно-технічна документація охоплює певні категорії стандартів, які відрізняються ступенем жорсткості вимог до виробів і сукупністю об'єктів стандартизації (Рис.10.1).

**Стандарти** (від англ. **Standard** - норма, зразок – модель, що приймається за вихідну для зіставлення з нею подібних об'єктів) грають

значну роль в розв'язанні проблем торгівлі, захисті навколишнього середовища, розробці ефективних соціальних ініціатив, удосконаленні програм безпеки й охорони здоров'я, покращенні якості життя та розвитку економіки. Вони сприяють випуску високоякісної продукції, яка може гідно конкурувати на міжнародних ринках, а також розширенню експортних можливостей держави. Для виробників товарів і виконавців послуг вони є надійним інструментом, котрий дозволяє досягти балансу між інтересами виробників і споживачів.



Рисунок 10.1.

10 травня 1993 року був прийнятий Декрет Кабінету Міністрів України «Про стандартизацію і сертифікацію» (до якого були внесені зміни та доповнення Законами України), який визначає правові та економічні основи системи стандартизації та сертифікації, встановлює організаційні форми її функціонування на території України.

Державна система стандартизації спрямована на забезпечення:

- реалізації єдиної технічної політики в сфері стандартизації, метрології та сертифікації;
- захисту інтересів споживачів і держави з питань безпеки продукції для життя, здоров'я та майна громадян, охорони навколишнього природного середовища;
- взаємозамінності та сумісності продукції, її уніфікації;
- якості продукції відповідно до розвитку науки і техніки, потреб населення і народного господарства;
- економії всіх видів ресурсів, поліпшення техніко-економічних показників виробництва;
- безпеки народногосподарських об'єктів з урахуванням ризику виникнення природних і техногенних катастроф та інших надзвичайних ситуацій;

- створення нормативної бази функціонування систем стандартизації та сертифікації продукції;
- обороноздатності та мобілізаційної готовності країни.

Державну систему стандартизації створює Державний комітет України по стандартизації, метрології та сертифікації – національний орган із стандартизації.

Основними принципами стандартизації є:

- врахування рівня розвитку науки і техніки, екологічних вимог, економічної доцільності й ефективності виробництва для виготовлювача, користі та безпеки для споживачів і держави в цілому;
- гармонізація з міжнародними, регіональними, а у разі необхідності – з національними стандартами інших країн;
- забезпечення відповідності вимог нормативних документів актам законодавства;
- участь у розробленні нормативних документів усіх заінтересованих сторін;
- взаємозв'язок і узгодженість нормативних документів усіх рівнів;
- придатність нормативних документів для сертифікації продукції;
- відкритість інформації про діючі стандарти і програми робіт із стандартизації.

Нормативні документи із стандартизації поділяються на:

- Державні стандарти України (ДСТУ), Міждержавні стандарти (ГОСТ), Республіканські стандарти (РСТ) Української РСР ;
- Галузеві стандарти (ГСТУ), Отраслевые стандарты (ОСТ) Радянського Союзу;
- Стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок (СТТУ);
- Технічні умови (ТУ);
- Стандарти підприємств (СТП);
- Міжнародні, регіональні та національні стандарти інших країн..

Як державні стандарти України використовуються також міждержавні стандарти, передбачені Угодою про проведення погодженої політики в сфері стандартизації, метрології та сертифікації, підписаною у м.Москві 13 березня 1992 року. Для міждержавних стандартів збережено позначення ГОСТ, наприклад:

ГОСТ 8.010-99 „Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения”.

Республіканські стандарти Української РСР (РСТ УРСР) застосовуються як державні до їх заміни чи скасування.

Міжнародні, регіональні та національні стандарти інших країн застосовуються в Україні відповідно до її міжнародних договорів. З колишніх можна згадати стандарти РЕВ (Ради Економічної Взаємодопомоги –

СТ СЭВ). Найбільш жорсткі вимоги щодо якості містяться у міжнародних стандартах, які розроблюються Міжнародною організацією стандартизації – ІСО і використовуються для сертифікації виробів, що експортуються у інші країни і реалізуються на світовому ринку. Нині існують міжнародні стандарти ІСО серії 9000, а також стандарти Міжнародної електротехнічної комісії – ІЕС.

***Державні стандарти України*** розробляються на:

- організаційно-методичні та загальнотехнічні об'єкти: організацію проведення робіт із стандартизації, науково-технічну термінологію, класифікацію і кодування техніко-економічної та соціальної інформації, технічну документацію, інформаційні технології, організацію робіт з метрології, достовірні довідкові дані про властивості матеріалів і речовин;
- вироби загальномашинобудівного застосування (підшипники, інструмент, деталі кріплення тощо);
- складові елементи народногосподарських об'єктів державного значення (банківсько-фінансова система, транспорт, зв'язок, енергосистема, охорона навколишнього природного середовища, оборона тощо);
- продукцію міжгалузевого призначення;
- продукцію для населення та народного господарства;
- методи випробувань.

***Державні стандарти України*** містять обов'язкові та рекомендовані вимоги. До обов'язкових належать:

- вимоги, що забезпечують безпеку продукції і вимоги до методів випробувань цих показників;
- вимоги техніки безпеки і гігієни праці з посиланням на відповідні санітарні норми і правила;
- метрологічні норми, правила, вимоги, що забезпечують достовірність і єдність вимірювань;

Обов'язкові вимоги державних стандартів підлягають безумовному виконанню органами державної влади, підприємствами, установами, організаціями та громадянами-суб'єктами підприємницької діяльності.

Рекомендовані вимоги підлягають виконанню, якщо:

- це передбачено чинними Актами законодавства;
- ці вимоги включено до договорів на розроблення, виготовлення та поставку продукції;
- виготовлювачем (постачальником) продукції зроблено заяву про відповідність продукції цим стандартам.

**Галузеві стандарти** розробляються на продукцію за відсутності державних стандартів чи у разі необхідності встановлення вимог, які перевищують або доповнюють вимоги державних стандартів.

**Стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок** розробляються у разі необхідності поширення результатів фундаментальних і прикладних досліджень, одержаних в окремих галузях знань чи сферах професійних інтересів. Ці стандарти можуть використовуватися на основі добровільної згоди користувачів.

**Технічні умови** містять вимоги, що регулюють відносини між поставальником (розробником, виготовлювачем) і споживачем (замовником) продукції. Вони регламентують норми і вимоги щодо якості тих видів продукції, для яких державні або галузеві стандарти не розробляються та які виготовляються на замовлення окремих підприємств, а також нових видів виробів на період їх освоєння виробництвом.

**Стандарти підприємств** розробляються на продукцію, що використовується лише на конкретному підприємстві.

Стандарти підприємств виокремлюють у самостійну категорію умовно (без правової основи). Вони розробляються підприємствами за власною ініціативою з метою конкретизації вимог до продукції і самого виробництва, що містяться звичайно у інших видах нормативно-технічної документації. Об'єктами стандартизації на підприємствах можуть бути окремі деталі, вузли, складальні одиниці, оснащення і інструмент власного виготовлення, певні норми у галузі проектування і вироблення виробів, організації та управління виробництвом тощо. Такі стандарти використовуються для створення внутрішньої системи управління якістю праці і продукції.

Стандарти і технічні умови – це документи динамічного характеру. Вони повинні періодично переглядатись і уточнюватись з урахуванням інноваційних процесів і нових вимог споживачів до вироблюваної або спроектованої продукції. Сучасні напрямки удосконалення стандартизації зводяться до розробки державних і міжнародних стандартів не на кожний конкретний виріб, а групи однорідної продукції, а також включення до них обмеженої кількості показників, що характеризують найбільш суттєві якісні характеристики. Це дасть можливість істотно зменшити кількість одночасно функціонуючих стандартів, спростити їх зміст і здешевіти весь процес стандартизації.

До стандартів прирівнюються державні будівельні норми і правила, а також державні класифікатори.

Окремо виділяються нормативні акти:

- Правила:
  - Правила технічної експлуатації;
  - Правила безпеки, охорона праці (НАОП);

- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- Переліки;
- Норми;
  - Санітарні норми і правила;
  - Державні санітарні норми;
  - Строительные нормы и правила (СНиП);
  - Реставрационные нормы и правила;
  - Строительные нормы (СН);
  - Ведомственные строительные нормы;
  - Республиканские строительные нормы;
  - Відомчі будівельні норми (ВБН) України;
  - Межгосударственные строительные нормы;
  - Общесоюзные нормы технологического проектирования;
  - Ведомственные нормы технологического проектирования;
  - Державні будівельні норми (ДБН).
- Положення, (статути);
- Інструкції;
- Порядок;
- Інші:
  - Рекомендації, Керівництва, Вказівки (методичні) (ПР, Р, РД, МИ);
  - Класифікатори, реєстри, номенклатура;
  - Накази;
  - Розпорядження;
  - Роз'яснення;
  - Рішення;
  - Постанова.

Важлива роль у формуванні теоретичної бази стандартизації відводиться відповідним принципам і методам.

Стосовно виробничої діяльності можна виділити такі принципи стандартизації: обов'язковості, системності (комплексності), взаємозамінності, повторювання, варіантності.

**Принцип обов'язковості** визначає законодавчий характер стандартизації.

**Принцип системності** визначає необхідність реалізації системного підходу, комплексності в стандартизації. Цей принцип відображається в системах (комплексах) стандартів, які поєднують стандарти, пов'язані між собою внутрішньо сутністю конкретних об'єктів стандартизації (наприклад, ЄСДП – єдина система допусків і посадок, ЄСКД – єдина система конструкторської документації, ЄСТД - єдина система технологічної документації).

**Принцип взаємозамінності** є базовим для організації масового автоматизованого виробництва, розвитку та поглиблення спеціалізації.

**Принцип повторювання** визначає коло об'єктів, до яких можна застосувати речі, процеси, види діяльності, явища які наділені одною загальною якістю (повторюванням).

**Принцип варіантності** спрямований на раціональну мінімізацію різновидів стандартних елементів, які входять до об'єкта стандартизації.

Надані принципи закладені в основу формування методів стандартизації.

**Метод уніфікації** полягає в раціональному скороченні числа типів, видів та розмірів об'єктів однакової функціональної ознаки. Уніфікацію можна проводити на міжгалузевому, галузевому та заводському рівнях.

**Метод типізації** полягає у розробці типових конструкцій або технологічних процесів на основі загальних для ряду виробів (процесів) технічних характеристик.

**Метод агрегування** полягає у виготовленні машин, механізмів виробів шляхом їх компонування з обмеженої кількості стандартних агрегатів або уніфікованих вузлів і деталей, що мають геометричну та функціональну взаємозамінність.

Розвиток суспільства важко уявити без **метрології**. Вона забезпечує достовірність результатів вимірювань, які характеризують якість продукції в промисловості, сільському господарстві, об'єктивність розрахунків в торгівлі, облік матеріальних й енергетичних ресурсів, якість діагностування та лікування пацієнтів, контроль за станом навколишнього середовища та його впливом на здоров'я людини. Порушення вимог забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань створює умови, які приводять до випуску продукції з відходом від вимог стандартів і технічних умов.

Законодавчою основою державної метрологічної системи України є Закон України „Про метрологію та метрологічну діяльність” від 11.02.1998 №113/98-ВР зі змінами 2004 р. (набув чинності 01.01.2005 р.). Закон визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань в Україні, регулює суспільні відносини у сфері метрологічної діяльності та спрямований на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Закон наказує застосування в Україні одиниць вимірювань Міжнародної системи одиниць, прийнятої Генеральною конференцією по мірах та вагам і рекомендованої Міжнародною організацією законодавчої метрології, а також допускає застосування разом з одиницями SI позасистемних одиниць. Визначення основних одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх позначення та правила написання встановлюються державними стандартами України:



ДСТУ 3651.0-97 „Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення”;

ДСТУ 3651.1-97 „Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць і позасистемні одиниці. Основні поняття, найменування та позначення”;

ДСТУ 3651.2-97 „Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа. Основні положення, позначення, найменування та значення”.

## ОСНОВИ СЕРТИФІКАЦІЇ

**Сертифікація**, або підтвердження відповідності продукції, товарів, послуг, в свою чергу, це визнаний інструмент забезпечення довіри між виробником, постачальником і споживачем.

В умовах розвитку зовнішньоекономічної діяльності підприємств найважливішим елементом виробничого менеджменту взагалі і системи управління якістю зокрема є сертифікація продукції. Кожний вид товарів, який те чи інше підприємство хоче вигідно продати на світовому ринку, повинен мати сертифікат – документ, що засвідчує високий рівень його якості, відповідність вимогам міжнародних стандартів ІСО серії 9000. Набутий нашими підприємствами досвід зовнішньої комерційної діяльності показує, що так звана безсертифікатна продукція оцінюється на світовому ринку у 3-4 рази дешевше, тобто фактично реалізується за демпінговими цінами.

В досягненні високого технічного рівня та якості продукції, що виробляється, подальшого розвитку економіки держави в цілому поряд з стандартизацією суттєва роль надається сертифікації.

Організаційною основою сертифікації виробів, що виготовляються підприємствами, служить створювана мережа державних випробувальних центрів по найважливіших видах продукції виробничо-технічного і культурно-побутового призначення.

Упродовж останніх років почали формуватися міжнародні системи сертифікації. Координацією заходів по створенню таких систем займається спеціальний комітет по сертифікації – СЕРТИКО, що діє у складі ІСО. Цим комітетом розроблені:

- правила і порядок здійснення сертифікації продукції;
- критерії акредитації випробувальних центрів (лабораторій);
- умови вступу до міжнародної системи сертифікації (наявність нормативно-технічної документації, що містить вимоги до сертифікованої продукції; високий рівень метрологічного забезпечення виробництва; функціонування спеціальної системи нагляду за діяльністю випробувальних центрів і якістю продукції).

У ряді країн уже функціонують акредитовані у СЕРТИКО ІСО і визнані світовим співтовариством випробувальні центри, що видають сертифікати на певні види продукції. Зокрема у США діє центр по випробуванню тракторів і сільськогосподарських машин, у Франції – автомобілів, Чехії і Словаччині – електроустаткування та медичної техніки.

На початку 1993 року Україна стала членом ІСО та Міжнародної електротехнічної комісії – ІЕС. Це дає їй право нарівні з 90 іншими країнами світу брати участь у діяльності більш ніж 1000 міжнародних робочих органів технічних комітетів по стандартизації і сертифікації та виконувати понад 12000 міжнародних стандартів.

Для набуття максимально можливого зиску та іміджу надійного партнера на зовнішньому ринку підприємствам бажано створювати і сертифікувати також власні системи якості. Згідно з міжнародним стандартом ІСО 8402 “Якість. Словник” система якості являє собою сукупність організаційної структури, відповідальності, процедур, процесів і ресурсів, що забезпечує здійснення загального керування якістю. Відповідний рівень такої системи підтримується сертифікатом, який видається підприємству на певний строк – один рік, два роки тощо. Правом видачі сертифікату на систему якості може володіти національний орган по сертифікації; у необхідних випадках йому надається можливість делегувати таку функцію акредитованій для цієї мети організації. Для оцінки системи якості та отримання сертифікату на неї дозволяється залучати будь-яку закордонну фірму, що займається сертифікацією. Вагомість сертифікату і рівень довіри до нього залежить від іміджу організації, яка видає такий документ.

На підприємствах України аналогічні системи якості ще треба створювати. Вони повинні обов’язково передбачати комплексне управління якістю, що вимагає лише колективної діяльності і спільних зусиль. З огляду на це можна окреслити головні принципи (моменти) формування системи якості:

- підготовка усіх категорій кадрів найвищого професійного рівня (необхідну якість забезпечують люди, а не машини);
- безпосередня зацікавленість першого керівника та усього ешелону керівництва підприємства у повсякчасному розв’язанні проблем якості продукції; підпорядкування поставленій меті організаційної якості продукції; підпорядкування поставленій меті організаційної структури системи (зокрема здійснюване нерідко на практиці сполучення посад заступника директора підприємства з питань якості та начальника відділу технічного контролю вкрай недоцільне, оскільки технічний контроль – це далеко не саме головне у системі);
- управління якістю продукції за участю усіх без винятку працівників підприємства (від директора до робітника); поточний розподіл

відповідальності між підрозділами і їх керівниками; залучення робітників до повсякденної роботи у цьому напрямку через гуртки якості (за досвідом Японії, США) тощо.

При цьому дуже важливою і вкрай необхідною треба визнати активну політику підтримки підприємств у справі розробки, запровадження і сертифікації систем якості продукції.

Нижче приведена загальна характеристика системи сертифікації України.

Декрет КМ України № 46-93 "Про стандартизацію і сертифікацію" визначає правові та економічні основи Державної системи сертифікації України (УкрСЕПРО) і встановлює організаційні форми її функціонування в Україні. Дія декрету розповсюджується на підприємства та організації незалежно від форм власності і видів діяльності.

КНД 50-002-93 „Система сертифікації УкрСЕПРО. Основи положення” (чинний з 01.07.93 р.) встановлює основні принципи, структуру та правила Системи, яка призначена, для проведення обов'язкової та добровільної сертифікації продукції (процесів, послуг). Нижче наведені основні поняття, терміни та визначення сертифікації; встановлені ДСТУ 2462-94.

**Сертифікація** - це комплекс дій, в результаті яких підтверджується, що продукція, процес чи послуга відповідають заданим вимогам.

**Акредитація** - процедура, за допомогою якої авторитетний орган офіційно визначає правочинність особи чи органу виконувати конкретні роботи.

**Реєстрація** - процедура, за допомогою якої будь-який орган показує відповідні характеристики продукції, процесу чи послуги або особливості органу чи особи у відповідному загальнодоступному переліку.

Система сертифікації - це система, яка має власні правила, процедури і управління для проведення сертифікації відповідності, а схема сертифікації - склад і послідовність дій третьої сторони під час проведення сертифікації відповідності. Органом з сертифікації є орган, який здійснює сертифікацію відповідності.

В Україні прийнято розрізняти обов'язкову і добровільну сертифікацію. Обов'язкова сертифікація здійснюється виключно в межах державної системи управління господарюючими суб'єктами, охоплює у всіх випадках перевірку і випробування продукції з метою визначення її характеристик (показників) та подальший державний технічний нагляд за сертифікованими виробами. Добровільна сертифікація може проводитись на відповідність продукції вимогам, котрі не є обов'язковими, за ініціативою самих суб'єктів господарювання (тих або інших видів суспільної діяльності) на договірних засадах.

В системі УкрСЕПРО здійснюються такі взаємопов'язані види діяльності:

- сертифікація продукції (послуг, процесів);

- сертифікація систем якості;
- атестація виробництва;
- акредитація випробувальних лабораторій (центрів);
- акредитація органів з сертифікації продукції;
- акредитація органів з сертифікації систем якості;
- атестація експертів-аудиторів за переліченими видами діяльності

Сертифікація продукції (послуг, процесів) – здійснення необхідних організаційних, технічних і економічних заходів, які мають забезпечити для споживача гарантований рівень якості і відповідність вимогам нормативних документів, безпеки для життя та здоров'я людей, схоронності їх майна і охорони навколишнього середовища.

Атестація виробництва – це офіційне підтвердження органом з сертифікації наявності необхідних і достатніх умов виробництва певної продукції, які забезпечують стабільність виконання заданих у нормативних документах і контрольованих під час сертифікації вимог. Порядок здійснення атестації виробництва наведений у ДСТУ 3414-96. Її результати оформлюються атестатом виробництва.

На сертифіковану у Системі продукцію видається сертифікат відповідності або наноситься знак відповідності. Сертифікат - це документ, який підтверджує відповідність продукції або послуги вимогам стандартів або інших нормативних документів.

Порядок проведення сертифікації продукції наведений у ДСТУ 3413-96. У загальному випадку він містить:

- надання замовником та розгляд заявки на сертифікацію продукції;
- аналіз наданої документації;
- прийняття рішення органом за заявкою із зазначенням схеми сертифікації та випробувальної лабораторії;
- обстеження виробництва представниками органу;
- атестацію виробництва продукції або сертифікацію системи якості, якщо це передбачено; схемою сертифікації;
- відбирання, ідентифікацію зразків продукції та їх випробування;
- аналіз одержаних результатів та прийняття рішення про можливість видачі сертифіката відповідності (або надання ліцензії);
- видачу сертифіката відповідності; надання ліцензії та занесення сертифікованої продукції до Реєстру Системи або обґрунтування відмови у разі вирішення про невидання сертифіката, ліцензії;
- визнання сертифіката відповідності, що виданий закордонним органом (за наявністю відповідної угоди);
- технічний нагляд за сертифікованою продукцією під час її виробництва;
- інформацію про результати робіт з сертифікації.

При цьому сертифікати видаються: на одиничний виріб, на партію продукції або на продукцію, що випускається серійно. Термін дії сертифіката на продукцію залежить від терміну дії нормативних документів,

гарантійного терміну придатності продукції для реалізації, терміну її збереження тощо, і не перевищує двох років (якщо атестоване виробництво) або трьох років (якщо сертифікована система якості)

Загальне керівництво Системою, організація та координація робіт з сертифікації продукції здійснюється національним органом з сертифікації — Держстандартом України.

Євроінтеграційні спрямування України потребують комплексного реформування національної системи технічного регулювання. На основі положення Угоди про технічні бар'єри в торгівлі, статей 51 і 56 Угоди про партнерство і співпрацю з Європейським Союзом Україна взяла зобов'язання впровадити в національне технічне законодавство міжнародні та європейські стандарти, норми та правила, процедури оцінки відповідності. Цей процес – це поетапне впровадження в українське національне законодавство міжнародних і європейських механізмів і принципів, які забезпечують безпеку життя та здоров'я громадян, конкурентоспроможність продукції, сприяють поліпшенню умов торгівлі товарами та надання послуг, усуненню зайвих бар'єрів в торгівлі.

Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики (Держспоживстандарт України) є органом виконавчої влади, завдяки якому ідеологія євро інтеграції та гармонізації стандартів України з міжнародними вимогами втілюється в конкретних справах, цифрах, приладах, системах на вітчизняних підприємствах. Держспоживстандарт України, створений 1 жовтня 2002 р., збережено як центральний орган виконавчої влади зі спеціальним статусом згідно з Указом Президента України від 12 травня 2005 р. Цим актом вносяться зміни в попередній указ глави держави „Про міністерство економіки України”, згідно з яким Держспоживстандарт мав стати департаментом при Міністерстві економіки.

Згідно з Законом України „Про метрологію та метрологічну діяльність” на Держспоживстандарт покладені організація проведення прикладних досліджень в галузі метрології по розробці нових високоточних приладів вимірювальної техніки, створення наукових і організаційних заходів, спрямованих на удосконалення та підвищення ефективності діяльності Державної метрологічної служби, створення та функціонування еталонної бази України.

На сьогодні найбільш актуальним є питання створення еталонів в області нанометрії, оптико-фізичних вимірювань, вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань. Останні зумовлені вимогами атомної промисловості й атомної енергетики в частині забезпечення безпеки та підвищення надійності роботи АЕС.

Однією з постійних задач є прискорення темпів гармонізації національних стандартів, впровадження систем якості на українських підприємствах, оскільки тільки продукція, що відповідає європейським

і міжнародним стандартам, має перспективи скласти реальну конкуренцію на цьому сформованому економічному полі – внутрішньому ринку та міжнародному ринку. На розробку національних стандартів і їхню гармонізацію спрямована робота 153 технічних комітетів. Станом на кінець 2005 р. в Україні діють понад 2800 національних стандартів, гармонізованих з міжнародними та європейськими, з них 293 були прийняті до 2000 р., 457 – в 2001 р., 340 – в 2002 р., 517 – в 2003 р., 596 – в 2004 р. Загальний рівень гармонізації стандартів в Україні складає близько 20 відсотків. Затверджені гармонізовані стандарти, зокрема, торкаються вимог і методів контролю харчової продукції, якості питної води, повітря, гранта, сільськогосподарських машин, добрив, кормів для тварин, посуду, електропобутових, медичних приладів, інформаційних технологій, ліфтів, засобів індивідуального захисту, побутової та дорожнотранспортної техніки, виробів текстильної і шкіряної промисловості, пожежної техніки тощо.

Новим керівництвом Держспоживстандарту (в 2005 р. Головою був обраний Микола Негрич) передбачено вийти до кінця 2010 р. на рівень гармонізації законодавчої і нормативної бази не менше 60-70 відсотків. Окремо виділені проблеми розробки стандартів державного значення або широкого застосування стандартів ISO серії 9000, 10000, 14000, 17000, 22000, а також стандартів, в яких конкретизовані вимоги технічних регламентів. В перспективі передбачена повна гармонізація національних законодавчої і нормативної баз в сфері технічного регулювання з європейською та приведення інфраструктури системи технічного регулювання згідно з європейською практикою. Може бути завершено розподіл повноважень в сфері надання послуг по стандартизації, метрології, сертифікації між центральним органом виконавчої влади та реформованими органами в регіонах.

За Держспоживстандартом України мають бути закріпленими лише функції метрологічного забезпечення промисловості, економіки, державного нагляду за ринком, регламентації обов'язкових вимог стосовно безпеки продукції та послуг.

До професійних свят відносяться 10 жовтня – День працівників стандартизації та метрології, 14 жовтня – Всесвітній день стандартів.

### **ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ**

1. Що таке стандарт?
2. Що таке стандартизація?
3. Що є об'єктом стандартизації?
4. Що містить система стандартизації в Україні?
5. Що входить до поняття нормативно-технічна документація в Україні?

6. Які нормативні акти виділяються окремо?
7. Які принципи та методи покладено в основу стандартизації?
8. Що є законодавчою основою метрології в Україні?
9. Що є основною задачею сертифікації?
10. Що відноситься до головних принципів формування системи якості?
11. Що таке акредитація?
12. Що таке реєстрація?
13. Який існує порядок проведення сертифікації?
14. Які функції закріплені за Держспоживстандартом України?
15. Що є метою гармонізації законодавчої і нормативної бази?

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
<b>ЛЕКЦІЯ 1. ПРЕДМЕТ І ЗАДАЧІ МЕТРОЛОГІЇ. РОЗВИТОК МЕТРОЛОГІЇ В ІСТОРИЧНОМУ АСПЕКТІ. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ. МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ.....</b>	<b>4</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 2. ОПЕРАЦІЇ ВИМІРЮВАНЬ І СПОСОБИ ЇХНЬОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ. КЛАСИФІКАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ. МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ.....</b>	<b>21</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 3. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ та ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КЛАСИ ТОЧНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ.....</b>	<b>32</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 4. ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ. ПОХИБКИ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ. СИСТЕМАТИЧНІ ТА ВИПАДКОВІ ПОХИБКИ. ....</b>	<b>50</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 5. ОСНОВНІ ПРАВИЛА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ. КРИТЕРІЇ ЗГОДИ.....</b>	<b>64</b>
<b>Виявлення грубих похибок .....</b>	<b>77</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 6. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ. ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ .....</b>	<b>79</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 7. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ. ЄДИНА СИСТЕМА ДОПУСКІВ І ПОСАДОК ДЛЯ ГЛАДКИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ.....</b>	<b>91</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 8. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ.....</b>	<b>101</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 9. ВІДХИЛЕННЯ ФОРМИ ДЕТАЛЕЙ. ХВИЛЯСТІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ. ВПЛИВ ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ ДЕТАЛЕЙ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ.....</b>	<b>111</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 10. ЗАКОНОДАВЧА БАЗА МЕТРОЛОГІЇ. ОСНОВИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА СЕРТИФІКАЦІЇ.....</b>	<b>122</b>



*Навчальне видання*

Міщенко Ігор Вікторович  
Вамболь Сергій Олександрович  
Курська Тетяна Миколаївна

Метрологія та стандартизація

Конспект лекцій

Підписано до друку 28.04.2006 р. Формат 60x84 1/16.  
Папір 80 г/см<sup>2</sup>. Друк ризограф. Ум.друк. арк. 8,6  
Тираж прим. Вид.№ 39/06. Зам.№  
Розмножувально-копіювальний сектор  
Академії цивільного захисту України  
61023, м. Харків, вул. Чернишевського, 94







