

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

В.М. ПЛЕСКАЧ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Стандартизація, метрологія, контроль якості продукції»
для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство

спеціалізації «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»
усіх форми навчання

2022

Конспект лекцій з дисципліни «Стандартизація, метрологія, контроль якості продукції» для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство спеціалізації «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» усіх форми навчання / Укл.: В.М. Плескач – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка, 2022. – 106 с.

Укладач: В.М. Плескач, доц., к.т.н.

Рецензент: О.А. Мітяєв, проф., д.т.н.

Відповідальний за випуск: В.М. Плескач, доц., к.т.н.

Затверджено на засіданні
кафедри композиційних
матеріалів, хімії та технологій,
протокол № 4 від 03.02.2022 р.

Рекомендовано до видання НМК
факультету БАД,
протокол № 4 від 10.02.2022 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Стандартизація і сертифікація.....	5
1.1 Стандартизація, основні поняття.....	5
1.2 Основні методи стандартизації.....	7
1.3 Види і категорії нормативних документів зі стандартизації.....	11
1.4 Державні органи стандартизації України.....	16
1.5 Міжнародна стандартизація.....	19
1.6 Техніко-економічна ефективність стандартизації.....	23
1.7 Основи сертифікації промислової продукції.....	26
2. Основи метрології.....	32
2.1 Основні поняття.....	32
2.2 Фізичні величини та їх одиниці.....	34
2.3 Основні характеристики вимірювань.....	38
2.4 Похибки вимірювань фізичних величин.....	44
2.5 Математичне оброблення результатів вимірювання.....	54
2.6 Засоби вимірювання.....	57
2.7 Похибки засобів вимірювання.....	66
2.8 Повірка засобів вимірювання.....	67
3. Система допусків і посадок.....	71
3.1 Точність виготовлення деталей машин, її характеристики.....	71
3.2 Шорсткість поверхонь.....	74
3.3 Посадки, загальні відомості.....	79
3.4 Види посадок та їх призначення.....	83
4 Контроль якості продукції.....	90
4.1 Поняття якості продукції.....	90
4.2 Основні принципи контролю якості продукції.....	91
4.3 Показники якості.....	93
4.4 Методи контролю якості продукції.....	97
Література.....	102
Додаток А. Коефіцієнт Стьюдента t_p	105
Додаток Б. Формули розрахунку допусків.....	106

ВСТУП

Людина з найперших часів свого існування, своєї господарської діяльності зіткнулася з вимірюваннями. Відлік часу доби, року; зміна пір року; передбачення часу початку польових робіт тощо. Їй треба було знати відстань до місць вдалого полювання або праці, до місць обміну товарів, а потім – торгівлі. Навіть предмети домашнього вжитку повинні були мати певні розміри і вимагали вимірювань: одяг, посуд, будинки, стільці та столи і таке інше. У сучасних умовах стан засобів вимірювання визначає стабільність роботи підприємства і якість продукції, що випускається.

Разом з вимірюваннями і еволюцією цивілізації розвивалася стандартизація. Труби славетних давньоримських водогонів були одного стандартного розміру. Цеглини при будівництві чудових храмів Середньовіччя виготовлялися за певними нормами. Величезні армії лучників мали фактично стандартні стріли. Навіть правила дорожнього руху – правосторонній чи лівосторонній – були встановлені дуже давно.

Обмін товарами і торгівля, конкуренція між виробниками вимагали ретельного контролю якості продукції. У часи цехової організації виробництва цех, приймаючи до своїх лав нового майстра, відповідав за якість його продукції. Цехові правила переслідували майстрів – не членів цеху, які виготовляли аналогічну продукцію, так званих партачів, тому що їхня продукція могла бути неякісною, підривала авторитет цехових майстрів і тим самим погіршувала їх конкурентоспроможність.

Сьогодні, в умовах ринкової економіки і світової глобалізації суспільство не може існувати без технічного законодавства та нормативних документів, які регламентують правила, процеси, методи виготовлення та контролю якості продукції. Роль точності вимірювань, стандартизації для забезпечення якості продукції надзвичайно висока. Кожен інженерно-технічний працівник повинен мати чіткі уявлення про наукові основи і завдання стандартизації і повною мірою використовувати чинні Закони, стандарти та інші нормативні документи; усвідомлювати значення економічно обґрунтованого призначення точності з метою забезпечення заданих якісних характеристик виробів, мати практичні навички з технічних вимірювань та інших методів контролю якості.

1 СТАНДАРТИЗАЦІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ

1.1 Стандартизація, основні поняття

Стандартизація – діяльність з метою досягнення оптимального ступеня впорядкування у певній галузі за допомогою встановлення положень для загального багаторазового вживання відносно реально існуючих або потенційних завдань.

Стандартизація дозволяє досягнути узгоджених рішень у різних галузях діяльності, уникнути зайвої різноманітності, встановлює загально прийнятні правила і норми діяльності та поведінки. Сучасна промисловість, торгівля, певною мірою міжнародні відносини та й спілкування людей взагалі сьогодні були б неможливі без стандартизації. Зокрема, в результаті стандартизації вузлів і агрегатів створюються умови для розвитку спеціалізації і кооперування виробництва. Завдяки використанню стандартного обладнання і інструменту зменшуються витрати і строки технологічної підготовки виробництва, підвищується продуктивність праці. Рівень розвитку стандартизації характеризує не лише рівень розвитку промисловості, але й її економічні показники.

Стандартизація ґрунтується на врахуванні рівня розвитку науки і техніки, економічної доцільності та ефективності технологічних процесів для виробника, на забезпеченні екологічних вимог, вигоди і безпеки для споживача тощо. Нормативні документи зі стандартизації мають бути гармонізовані з міжнародними і регіональними стандартами інших країн, з нормативними законодавчими актами. До участі у розроблянні нормативних документів залучаються всі зацікавлені сторони (розробники, виробники, споживачі, представники органів державної влади та ін.). Комплекси стандартів повинні відповідати складу і взаємозв'язкам різних об'єктів стандартизації, бути раціональними та обґрунтованими, не суперечити один одному, а також враховувати новітні досягнення науки і техніки, сприяти підвищенню вимог до якості продукції. Чинні стандарти мають обов'язковий характер, і їх повинні дотримуватися всі підприємства незалежно від форм власності.

Теоретичною базою сучасної стандартизації є **система переважних чисел**. Переважні числа — це числа, які рекомендується вибирати *переважно* перед усіма іншими при призначенні величин параметрів для новостворюваних виробів (продуктивність, швидкість,

вантажопідйомність, число обертів, напруга, такт циклу праці тощо). Застосування переважних чисел дає змогу уніфікувати розміри і параметри продукції як у масштабах країни, так і у світі в цілому.

Ряди переважних чисел створюються на основі геометричних прогресій зі знаменником q . Найзручнішими є геометричні прогресії, які мають початкове число 1 і знаменник $q = \sqrt[R]{10}$, де $R = 5; 10; 20; 40; 80; 160$. Основні ряди переважних чисел і значення R встановлює ГОСТ 8032-84 [1].

Основною *метою стандартизації* є:

- реалізація єдиної технічної політики у сфері стандартизації, метрології та сертифікації;
 - захист інтересів споживачів та держави з питань безпеки продукції, процесів, послуг для життя, здоров'я та майна громадян, охорони довкілля;
 - покращення умов виробництва за рахунок забезпечення взаємозамінності та сумісності продукції;
 - забезпечення якості продукції, виходячи з досягнень науки і техніки, потреб населення і народного господарства;
 - раціональне використання всіх видів ресурсів, проведення державної політики у сфері ресурсозбереження, підвищення техніко-економічних показників виробництва;
 - безпека народногосподарських об'єктів з урахуванням ризику виникнення природних і техногенних катастроф та інших надзвичайних ситуацій;
 - розвиток міжнародного економічного та технічного співробітництва;
 - усунення технічних і термінологічних перешкод для створення конкурентоспроможної продукції та виходу її на світовий ринок;
 - впровадження та використання сучасних виробничих та інформаційних технологій;
 - сприяння забезпеченню обороноздатності та мобілізаційної готовності країни.
- Указані задачі можуть вирішуватися як у масштабах країни, так і в усіх галузях народного господарства та окремих виробничих підприємствах.

Об'єкти стандартизації – предмети, продукція, процеси, технології, обладнання, системи, а також правила, поняття, визначення, процедури та ін., що підлягають стандартизації.

Зокрема, такими об'єктами організаційно-методичного і загальнотехнічного характеру можуть бути, наприклад, організація проведення робіт зі стандартизації, термінологічні системи у різних галузях знань і діяльності; класифікація і кодування техніко-економічної і соціальної інформації. Стандартизуються системи і методи забезпечення та контролю якості, методи випробувань, а також пов'язані з ними метрологічне забезпечення (метрологічні норми, правила, вимоги, організація робіт), системи збереження і відтворення одиниць фізичних величин. У виробництві об'єктами стандартизації є системи технологічної та іншої документації загального використання; типорозмірні ряди і типові конструкції виробів загальномашинобудівного використання (підшипники, інструменти, кріпильні деталі і т.п.); інформаційні технології, включаючи програмні і технічні засоби інформаційних систем; довідкові дані про склад і властивості речовин і матеріалів тощо.

У загальнодержавних рамках об'єктами стандартизації є складові елементи народногосподарських об'єктів державного значення, зокрема банківсько-фінансова система, транспорт, зв'язок, енергосистема, охорона довкілля, вимоги до природних ресурсів, що використовуються; елементи державних соціально-економічних програм і державних науково-технічних програм тощо.

Результатом процесу стандартизації, як правило, є стандарт. **Стандарт** – це нормативний документ, розроблений у встановленому порядку на засадах відсутності протиріч в істотних питаннях з боку більшості зацікавлених сторін для досягнення оптимального ступеня впорядкованості у певній галузі та затверджений визначеним державним органом.

1.2 Основні методи стандартизації

Одним з основних завдань стандартизації є збільшення застосовності однотипних деталей у складі більшої кількості виробів. Це дозволяє зменшити трудомісткість та скоротити цикл конструкторської і технологічної підготовки виробництва за рахунок багаторазового використання уже засвоєної у виробництві технічної документації, матеріалів, інструментів та обладнання.

Основними методами стандартизації є уніфікація, типізація, симпліфікація та агрегування[22].

Уніфікація – це приведення об'єктів однакового функціонального призначення до одноманітності. При уніфікації встановлюють мінімально необхідне, але достатнє число типів, видів, типорозмірів виробів, складальних одиниць і деталей, що мають високі показники якості і повну взаємозамінність. Основою уніфікації є систематизація та класифікація виробів, процесів, функцій тощо. Уніфікація деталей, вузлів і агрегатів ґрунтується на їх конструктивній подібності, яка визначається спільністю експлуатаційних вимог. До останніх, наприклад, належать види і характер навантаження та його зміни, температурні умови праці, розмірні вимоги (обмеження) тощо. Високий рівень уніфікації сприяє підвищенню ефективності виробництва.

Уніфікація може бути міжгалузевою, у межах галузі або окремого підприємства (заводу).

Міжгалузева і галузева уніфікації доцільні для деталей однакового функціонального призначення з метою скорочення кількості їх типів на відповідних підприємствах.

Заводська уніфікація економічно найдоцільніша для обмеження номенклатури матеріалів, що застосовуються, та конструктивних і технологічних елементів деталей машин (отворів, проточок, фасок, різей і т.п.). За допомогою комплексного аналізу здійснюється уніфікація номінальних розмірів, полів допусків і параметрів шорсткості. На базі уніфікації конструктивних елементів проводиться уніфікація різального та вимірювального інструментів.

Особливе місце у заводській уніфікації займає уніфікація заготовок, з якою пов'язане збільшення розмірів партій заготовок у заготівельних цехах. За рахунок їх уніфікації скорочується кількість необхідного технологічного оснащення, створюються умови для використання дорожчих, але й якісніших способів виготовлення заготовок. З уніфікацією заготовок тісно пов'язане підвищення коефіцієнту використання матеріалу та якості готових деталей.

Проте уніфікація не є самоціллю. Вона повинна вирішуватися комплексно, забезпечуючи мінімальну трудомісткість технологічних процесів виготовлення, складання, експлуатації та ремонту.

У процесі уніфікації виявляється базовий виріб (модель) з високими якісними характеристиками і з можливостями подальшого

вдосконалення, який має оптимальну конструктивну і технологічну спадковість. На його основі використовується подальший метод стандартизації – типізація.

Типізація – метод стандартизації, спрямований на розроблення типових конструкцій, технологічних, організаційних та інших рішень на основі спільних технічних характеристик.

Типізація конструкцій виробів полягає у розробленні й встановленні типових конструкцій, що мають конструктивні параметри, спільні для багатьох виробів, складальних одиниць і деталей. Під час типізації не тільки аналізують уже існуючі типи і типорозміри виробів, їх складові частини і деталі, але й розробляють нові, перспективні вироби, враховуючи останні досягнення науки і техніки та розвиток промисловості.

Типізація технологічних процесів – це проєктування і впровадження технологічних процесів для виробництва однотипних виробів або складання однотипних складальних вузлів. Типізації технологічних процесів повинна передувати робота з встановлення типових представників виробів, складальних одиниць, які мають найбільшу кількість спільних ознак, характерних для згаданих вище виробів та їх елементів. Типізація скорочує час технологічної підготовки виробництва, сприяє підвищенню продуктивності праці, економії матеріальних ресурсів, зниженню собівартості продукції.

На базі типізації розробляються пропозиції зі **спеціалізації виробництва** деталей та складальних одиниць. Спеціалізоване виробництво організується або на власному підприємстві, або знаходять інше, розташоване на стороні. Його організація повинна бути обґрунтована достатнім розміром виробничої партії (замовлення). На спеціалізованому виробництві скорочується час підготовки виробництва нової деталі (замовлення) за рахунок використання типового технологічного процесу як основи для розроблення нового. Спеціалізація виробництва дозволяє використовувати досконаліші технології, дорожче обладнання, робітників вищої кваліфікації, завдяки чому досягається можливість отримати вироби кращої якості при тих же самих витратах.

Симпліфікація (обмеження, спрощення) – ще один метод стандартизації, який полягає у зменшенні числа типів або інших різновидів виробів (без внесення у них будь-яких удосконалень) до мінімуму, технічно і економічно доцільного для задоволення

існуючих потреб. При реалізації метода здійснюється відбирання і раціональне обмеження номенклатури об'єктів, дозволених для застосування у даній галузі, на даному підприємстві або в якому-небудь виробі.

При симпліфікації проведення обмежень можливо на будь-якому рівні виробничого процесу. Але ця робота повинна доповнюватися складанням обмежувальних переліків: номенклатури покупних комплектувальних виробів; номенклатури матеріалів і напівфабрикатів; застосовуваних технологічних процесів; розмірів елементів конструкцій (діаметрів, різей, допусків, посадок і тому подібне); обмеження номіналів електричних і фізичних параметрів тощо. На підставі цих обмежувальних вимог розробляються обмежувальні стандарти підприємств (організацій).

Але ця робота повинна доповнюватися складанням обмежувальних переліків: номенклатури покупних комплектувальних виробів; номенклатури матеріалів і напівфабрикатів; застосовуваних технологічних процесів; розмірів елементів конструкцій (діаметрів, різей, допусків, посадок і тому подібне); обмеження номіналів електричних і фізичних параметрів тощо. На підставі цих обмежувальних вимог розробляються обмежувальні стандарти підприємств (організацій).

Будучи простим методом і початковою стадією складніших способів стандартизації, симпліфікація є економічно вигідною, оскільки призводить до спрощення виробництва, полегшує матеріально-технічне постачання, складування, звітність тощо.

Агрегативання – метод стандартизації, який полягає в утворенні виробів шляхом компонування їх з обмеженої кількості стандартних і уніфікованих деталей, вузлів, агрегатів, встановлюваних у виріб у різних кількості і комбінаціях. Ці агрегати повинні мати повну взаємозамінність за всіма експлуатаційними показниками і приєднувальними розмірами. Виокремлення агрегатів виконують на основі кінематичного аналізу машин та їхніх складників з урахуванням можливості застосування їх в інших машинах. При цьому прагнуть до того, щоб з мінімального числа типорозмірів автономних агрегатів можна було створити максимальну кількість компонувань устаткування.

Наочним прикладом агрегативання є агрегатні верстати, оскільки під час зміни предмета оброблення їх легко можна розкласти

і з тих же агрегатів скласти нові верстати для оброблення інших деталей з необхідною точністю. Існують державні стандарти, які регламентують основні та приєднувальні розміри, норми точності і жорсткості уніфікованих вузлів і агрегатів. Принцип агрегування використаний також при створенні системи універсально-складальних пристроїв (УСП). Системи УСП широко використовують при обробленні заготовок на металорізальних верстатах, при зварюванні, складанні, під час виконання контрольних та інших операцій.

1.3 Види і категорії нормативних документів зі стандартизації

Норми, правила, вимоги, характеристики, які стосуються об'єктів стандартизації, оформляються у вигляді нормативних документів.

Вид нормативного документа залежить від специфіки об'єкта стандартизації, призначення, складу та змісту вимог, встановлених до нього. Для різних категорій нормативних документів зі стандартизації розробляють стандарти таких видів: основоположні; на продукцію і послуги; на процеси; на методи контролю (випробувань, вимірювань, аналізу); термінологічні.

Основоположні стандарти визначають організаційно-методичні та загально-технічні положення для певної галузі стандартизації. До них відносяться загальні вимоги, норми та правила, які забезпечують взаємозв'язок, взаємну узгодженість і сумісність різних видів технічної і виробничої діяльності, а також вимоги і норми, що визначають безпечність продукції та охорону довкілля на всіх етапах – від розроблення її і виготовлення до пакування, транспортування та утилізації. Загально-технічні та організаційно-методичні стандарти, як правило, групуються у комплекси, які вирішують певне завдання системно.

Стандарти на продукцію і послуги визначають вимоги до груп однорідної або певної продукції (послуг), які забезпечують їх відповідність своєму призначенню. Вони містять вимоги, технічні і технологічні правила при виготовленні продукції (наданні послуг); правила приймання, пакування, транспортування і зберігання продукції; способи контролю якості продукції і наданих послуг.

Стандарти на процеси встановлюють у певних видах діяльності основні вимоги до послідовності та методів (засобів,

режимів, норм) виконання різних робіт (операцій) з метою забезпечення відповідності процесу його призначенню.

Стандарти на методи контролю наводять уніфіковані методи контролю якості, засновані на досягненнях сучасної науки і техніки, регламентують вибір способу випробувань, вимірювань та аналізу (правила, режими, норми), технічні засоби і послідовність контрольних операцій для різних видів і об'єктів контролю продукції, процесів і послуг.

Термінологічні стандарти визначають терміни та означення понять для всіх видів діяльності, що є обов'язковими для використання. Терміни та означення понять розробляються за участю наукової, науково-технічної та виробничої громадськості; перед їх затвердженням вони підлягають погодженню з центральним органом виконавчої влади у сфері стандартизації.

Основні загальні, технічні та організаційно-методичні стандарти, як правило, об'єднуються у комплекси (системи) для забезпечення розв'язання технічних і соціально-економічних задач у визначеній сфері діяльності. Найважливіші з них є такі [22, 25, 26].

Державна система стандартизації (ДСС) складається з семи стандартів, які визначають основні положення стандартизації, порядок розроблення, будови, оформлення, змісту та державної реєстрації стандартів різного призначення.

Єдина система конструкторської документації (ЄСКД) містить стандарти, які забезпечують взаємний обмін конструкторською документацією без її переоформлення між галузями промисловості і окремими підприємствами, спрощення форми та номенклатури конструкторських документів, а також єдність графічних зображень; дозволяють автоматизоване розроблення необхідних документів і як наслідок – готовність промисловості до організації виробництва будь-якого виробу на будь-якому підприємстві у найкоротші терміни.

Єдина система технологічної документації (ЄСТД) встановлює порядок розроблення, оформлення і збереження всіх видів технологічної документації, необхідної для виготовлення і ремонту виробів, на всіх підприємствах країни. На підставі цієї документації здійснюється планування, підготовка і організація виробництва, а також встановлюється взаємозв'язок між усіма учасниками

виробничого процесу. Система ЄСТД дозволяє використовувати найоптимальніші виробничі технології при передачі готової технологічної документації на інші підприємства.

Державна система забезпечення єдності вимірювань (ДСВ) об'єднує стандарти, які регламентують загальні норми і правила забезпечення та використання одиниць фізичних величин та їх еталонів, правила виконання вимірювань і використання засобів вимірювання, визначають організацію метрологічного забезпечення господарства країни.

Система стандартів безпеки праці (ССБП) встановлює єдині правила і норми, що стосуються безпеки людини під час праці. Дотримання стандартів цієї системи забезпечує зниження виробничого травматизму і професійних захворювань.

Єдина система технологічної підготовки виробництва (ЄСПВ) забезпечує умови для скорочення термінів підготовки виробництва, освоєння і випуску продукції заданої якості, забезпечення високої гнучкості виробничої структури і значної економії трудових, матеріальних і фінансових ресурсів.

Стандарти системи розробляються на основі найновіших технологічних рішень. Вони містять типові технологічні процеси, що базуються на використанні стандартних вихідних заготовок, стандартних методів оброблення заготовок з використанням стандартного технологічного оснащення, прогресивних форм організації виробництва.

Система розроблення і впровадження продукції у виробництво (СРПВ) визначає порядок проведення робіт зі створення, виробництва і використання продукції згідно з відповідними стандартами.

Мета стандартів СРПВ полягає у встановленні організаційно-технічних принципів і порядку проведення робіт для створення продукції високої якості, запобігання впровадженню у виробництво застарілих, неефективних видів продукції та технологій, скорочення термінів підготовки виробництва і своєчасного освоєння та оновлення продукції.

Стандарти регламентують вимоги до якості продукції, яку належить розробити і впровадити; порядок проведення науково-дослідних, експериментально-конструкторських та технологічних робіт; порядок зняття з виробництва застарілої продукції і т.п.

Результатом діяльності державної системи стандартизації (ДСС) є комплекс нормативно-технічної документації, яка передбачає наступні категорії стандартів.

Державні стандарти України (ДСТУ) – це нормативні документи, які діють на території України і є обов’язковими для застосування усіма підприємствами незалежно від форми власності та підпорядкування, а також громадянами-суб’єктами підприємницької діяльності, органами державної виконавчої влади, на діяльність яких поширюється дія цих стандартів. Вони поширюються переважно на продукцію масового та серійного виробництва, на норми, правила, вимоги, терміни та поняття.

До державних стандартів прирівнюються державні будівельні норми і правила (БНіП), а також державні класифікатори техніко-економічної і соціальної інформації.

ДСТУ як національні стандарти України затверджуються вищими державними органами у галузі стандартизації.

Міждержавні стандарти (колишні **ГОСТи**) – стандарти, чинні у країнах, які приєдналися до угоди про проведення узгодженої політики у галузі стандартизації, метрології та сертифікації. Фактично це стандарти колишнього СРСР, які не втратили своєї актуальності або термін дії яких продовжений згідно з відповідними міждержавними угодами.

Галузеві стандарти України (ГСТУ) поширюються на продукцію і послуги, що не належить до об’єктів державної стандартизації, а також на норми, вимоги і позначення, регламентація яких необхідна для забезпечення взаємозв’язку виробничо-технічної діяльності всіх підприємств і організацій галузі або які перевищують чи доповнюють вимоги державних стандартів. Під галуззю розуміється сукупність підприємств і організацій незалежно від їх територіального розташування і відомчої належності, що розробляють і виготовляють або використовують певну однотипну продукцію.

Галузеві стандарти є обов’язковими для всіх підприємств галузі, а також для підприємств і організацій інших галузей (замовників), які використовують продукцію цієї галузі. Вимоги ГСТУ не повинні суперечити обов’язковим вимогам ДСТУ.

Галузеві стандарти затверджуються провідним міністерством.

Стандарти науково-технічних та інженерних товариств України (СТТУ) розробляють у випадку необхідності поширення та впровадження систематизованих, узагальнених результатів фундаментальних і прикладних досліджень, одержаних у певних галузях знань і сферах професійних інтересів.

Підприємства застосовують СТТУ добровільно, а окремі громадяни-суб'єкти підприємницької діяльності – у випадках, коли вважають за доцільне використання засобів, технологій, методів та інших вимог, які містять ці стандарти. Використання СТТУ для виготовлення продукції можливе лише за згодою замовника цієї продукції (споживача), що закріплена договором або іншою угодою.

Вимоги СТТУ не повинні суперечити обов'язковим вимогам ДСТУ і ГСТУ.

Технічні умови України (ТУ У) – нормативний документ, який розробляється для встановлення вимог, що регулюють відносини між постачальником (розробником, виробником) і споживачем (замовником) продукції, для якої немає державних чи галузевих стандартів (або за необхідності конкретизації їх вимог). Технічні умови розробляються на один чи декілька конкретних виробів, матеріалів, речовин, послуг (груп послуг). Як правило, це продукція, яка або знаходиться у стадії освоєння або виробляється невеликими партіями.

ТУ У затверджуються та запроваджуються в дію на обмежений термін за погодженням із замовником.

Стандарти підприємств (СТП) розробляються на продукцію (процес, послугу), яку виробляють і застосовують (надають) лише на конкретному підприємстві. СТП – основний організаційно-методичний документ у діючих на підприємствах системах управління якістю продукції. Об'єктами СТП можуть бути частини продукції, технологічні процеси, оснащення та інструменти; послуги, які надаються на даному підприємстві; технології та процеси з організації і управління виробництвом.

Як СТП можуть використовуватися міжнародні, регіональні та національні стандарти інших країн на підставі міжнародних угод про співробітництво.

Стандарти підприємств затверджуються керівництвом підприємств і не повинні суперечити обов'язковим вимогам ДСТУ чи ГСТУ.

На території України діють також *міжнародні стандарти (ISO)* – стандарти, прийняті Міжнародною організацією зі стандартизації. Вони стосуються різних сторін виробничої та економічної діяльності і мають, як правило, рекомендаційний характер.

Право видання, перевидання і розповсюдження державних стандартів і змін до них належить винятково державним органам зі стандартизації.

Видання або перевидання міжнародних, міждержавних або національних стандартів інших країн здійснюється на основі відповідних договорів і угод.

Видання або перевидання галузевих стандартів або змін до них, стандартів науково-технічних та інженерних товариств України і забезпечення ними користувачів здійснюють міністерства, відомства і товариства, що їх затвердили.

1.4 Державні органи стандартизації України

Правові та організаційні засади стандартизації в Україні встановлює Закон України «Про стандартизацію», прийнятий Верховною Радою України у 2001 р.

Закон визначає органи державної влади у сфері стандартизації, регулює відносини, пов'язані зі стандартизацією, з усіма суб'єктами господарської діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності.

До державних органів стандартизації України належать:

- центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації;
- рада стандартизації;
- технічні комітети стандартизації;
- інші суб'єкти, що займаються стандартизацією.

Перший центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації – Державний комітет зі стандартизації, метрології та сертифікації України (Держстандарт України) – був створений постановою Кабінету Міністрів України № 293 від 23.09.1991 р. на базі Українського республіканського управління Держстандарту СРСР. Після деяких перетворень на базі Держстандарту України указом Президента України № 465/2011 від 13.04.2011 р. створено *Державну інспекцію України з питань захисту прав споживачів (Держспоживінспекцію України).*

Основним завданням Держспоживінспекції у галузі стандартизації є «реалізація державного нагляду за додержанням технічних регламентів, стандартів, норм і правил». Крім того, вона організує діяльність з розроблення, переглядання, заміни і поширення національних стандартів. Як національний орган стандартизації вона представляє Україну у міжнародних і регіональних організаціях зі стандартизації.

Повноваження центрального органу виконавчої влади зі стандартизації у галузі будівництва і промислових матеріалів виконує Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України (Мінрегіон України), у галузі оборони – Міністерство оборони.

Рада стандартизації – це колегіальний консультативно-дорадчий орган при Кабінеті Міністрів України. Рада формується на паритетних засадах з представників органів виконавчої влади, Держспоживінспекції, суб'єктів господарювання, Національної академії наук України, спеціалізованих академій наук і відповідних громадських організацій.

Основною метою діяльності Ради стандартизації є налагоджування взаємодії між виробниками, споживачами продукції та органами державної влади, узгодження інтересів у галузі стандартизації, сприяння розвитку стандартизації. Рада розробляє і реалізує пропозиції щодо утворення технічних комітетів стандартизації і визначення напрямів їхньої діяльності; прийняття міжнародних, регіональних або інших стандартів як національних; проведення експертиз проектів технічних регламентів та інших нормативних документів з питань технічного регулювання.

Технічні комітети стандартизації створюються за рішенням Держспоживінспекції України для організації і забезпечення розроблення, експертизи, погоджування і підготовлення до затвердження державних стандартів України, інших нормативних документів зі стандартизації, а також проведення робіт з міжнародної та регіональної стандартизації. До роботи у технічних комітетах залучаються на добровільних засадах уповноважені представники зацікавлених підприємств, установ і організацій - виробників продукції і замовників (споживачів); органів і організацій зі стандартизації, метрології та сертифікації; науково-технічних й

інженерних товариств та інших громадських організацій; провідні вчені та фахівці.

Технічні комітети покликані поєднати потреби сучасного виробництва у нових стандартах, які відповідали б сучасним умовам виробництва і вимогам міжнародної ринкової економіки, з національними інтересами України. На сьогодні в Україні діє 148 технічних комітетів у різних сферах діяльності, які ведуть роботу з науково-дослідними і проектно-конструкторським інститутами, вищими навчальними закладами, установами і організаціями різного підпорядкування.

Інші суб'єкти, що займаються стандартизацією, – це місцеві органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання, громадські організації, які уповноважені виконувати роботи з розроблення, експертизи, погоджування, переглядання або заміни стандартів відповідного рівня. Вони можуть представляти у центральні органи стандартизації пропозиції зі створення (ліквідації) технічних комітетів стандартизації, прийняття національних або власних стандартів, а також вести іншу роботу у галузі стандартизації.

На місцеві центри стандартизації покладений контроль за впровадженням і дотриманням чинних стандартів і технічних умов.

Роботу з державної стандартизації також ведуть наступні організації.

Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26.11.2014 № 1163 виконує функції *національного органу стандартизації*. Предмет діяльності УкрНДНЦ: наукова, науково-технічна, науково-організаційна, науково-педагогічна, навчальна та виробнича діяльність.

До основних повноважень національного органу стандартизації належить: організація та координація діяльності щодо розроблення, прийняття, перевірки, перегляду, скасування та відновлення дії національних стандартів; підготовка та затвердження програми робіт з національної стандартизації; координація діяльності технічних комітетів стандартизації; видання національних стандартів; формування та ведення національного фонду нормативних

документів; підготовка та підвищення кваліфікації фахівців у сфері стандартизації, сертифікації, метрології та систем управління, підготовка наукових кадрів вищої кваліфікації;

Державне підприємство «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем» (ДП НДІ «Система») є *державним науковим метрологічним центром*, має статус національного метрологічного інституту (НМІ). ДП НДІ «Система» виконує фундаментальні і прикладні наукові дослідження у галузях, зв'язаних із створенням, удосконаленням, зберіганням і використанням національних еталонів, створенням систем передачі розмірів одиниць вимірів; координує і здійснює науково-методичний супровід робіт із забезпечення єдності вимірювань у газузі акустичних вимірювань; здійснює координацію науково-метрологічної діяльності, пов'язаної з метрологічним забезпеченням вимірювальних систем та систем керування; бере участь в розроблянні проектів технічних регламентів та інших нормативно-правових актів, а також нормативних документів у сфері метрології і метрологічної діяльності; проводить перевірку законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, які знаходяться в експлуатації, із застосуванням національних еталонів.

За участю ДП НМІ «Система» розроблена структура автоматизованого інформаційного фонду стандартів і створена база даних стандартів Міжнародної організації зі стандартизації (ISO) і Міжнародної електротехнічної комісії (IEC).

Основним предметом діяльності Державного підприємства «Всеукраїнський державний науково-виробничий *центр стандартизації, метрології, сертифікації* та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт») є: надання підприємствам, установам, організаціям і громадянам консультаційних, інформаційних послуг у сфері стандартизації, метрології, оцінки відповідності (сертифікації), систем управління та захисту прав споживачів; здійснення наукової, науково-технічної, науково-організаційної та іншої діяльності в сфері стандартизації, метрології, оцінювання (підтвердження) відповідності (сертифікації) та захисту прав споживачів.

1.5 Міжнародна стандартизація

Національна стандартизація, як правило, відбиває у своїх стандартах особливості та рівень промислового розвитку конкретної країни. Проте розвиток міжнародного товарообміну вимагає єдиного підходу до оцінювання якості продукції, аж до її пакування, зберігання і транспортування. В єдиній міжнародній стандартизації зацікавлені як індустріально розвинені країни, так і країни, що розвиваються [22, 25].

Міжнародна стандартизація сформувалася на базі міжнародного розподілу праці, поглиблення на цій основі процесів спеціалізації та кооперації виробництва. У зв'язку з цими вимогами, що постійно зростають у теперішній час, у світі виникли міжнародні організації, які сьогодні сприяють розвитку національних систем стандартизації та їх гармонізації згідно з вимогами світового господарства і ринку.

Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) була заснована у Лондоні у 1946 р. ISO як неурядова організація має консультативний статус ООН і є найбільшою міжнародною організацією з широкого кола питань. Її членами є 160 країн світу. Основною метою ISO є забезпечення розвитку стандартизації та суміжних з нею галузей для сприяння міжнародному обміну товарами і послугами, а також розвитку співробітництва в інтелектуальній, науковій, технічній та економічній діяльності.

ISO складається з керівних і робочих технічних органів. Вищим органом ISO є Генеральна асамблея, яка скликається один раз на три роки. У періодах між сесіями Генеральної асамблеї роботою ISO керує Рада. Поточну адміністративно-технічну роботу виконує Центральний секретаріат.

Робочими технічними органами ISO є технічні комітети зі своїми підкомітетами і робочими групами. Сфера діяльності ISO розподілена між 214 технічними комітетами, кожний з яких має свою галузь діяльності. Вони виконують весь обсяг робіт з розроблення, погоджування та подання на затвердження проектів міжнародних стандартів.

Міжнародна електротехнічна комісія (IEC) заснована у Лондоні у 1906 р. Сьогодні вона є однією з провідних міжнародних організацій з питань стандартизації у галузі електричних, електронних і суміжних технологій. У 1947 р. IEC приєдналася до ISO на автономних правах як її електротехнічний відділ. IEC вирішує

завдання з координації та уніфікації національних стандартів у галузі електротехніки, радіоелектроніки та зв'язку.

До складу ІЕС входить 60 членів з усіх регіонів світу. Основна роль у роботі ІЕС відводиться промислово розвиненим країнам.

Структура ІЕС аналогічна структурі ISO. Вищим керівним органом ІЕС є Рада, в якій представлені національні комітети країн. Основну роботу в ІЕС виконують технічні комітети. Кожний комітет працює над визначеною для нього галуззю техніки; одна частина з них розробляє стандарти загально-технічного та міжгалузевого характеру, а інша – стандарти на конкретні види продукції.

Міжнародна організація законодавчої метрології (OIML) була заснована підписанням міжурядової конвенції у 1956 р. Основним завданням OIML є забезпечення єдності вимірювань у міжнародному масштабі з метою досягнення порівнянних і точних результатів усіх видів вимірювань, які виконуються у різних країнах. Вона уніфікує закони, правила та інструкції у сфері діяльності національних метрологічних служб.

До складу OIML входять представники національних метрологічних служб 54 країн – членів організації. Вищим органом організації є Міжнародна конференція із законодавчої метрології; вона скликається один раз на шість років. Виконавчим органом OIML є Міжнародне бюро законодавчої метрології, яке знаходиться у Парижі. Бюро – це центр, в якому збирається вся документація із законодавчої метрології; воно займається всіма організаційними і координаційними питаннями. Бюро координує роботу секретарів-доповідачів, які закріплені за метрологічними службами окремих країн і розробляють загальні питання законодавчої метрології та питання щодо конкретних видів вимірювальної техніки.

Для розроблення рекомендацій стосовно методів і засобів вимірювання та оцінювання їх похибок, уніфікації термінів, визначень та інших проблем створюються робочі групи, в які входять спеціалісти декількох країн.

До європейських організацій, що займаються стандартизацією, відносяться: **Європейський комітет зі стандартизації (CEN)**, створений 23.03.1963 р., і **Європейський комітет зі стандартизації в електротехніці (CENELEC)**. У межах переходу до єдиного європейського ринку CEN затвердив понад тисячі європейських стандартів. У країнах Європейського союзу національні стандарти з

систем якості створюються або безпосередньо на базі стандартів ISO серії 9000, або посиляються на стандарти EN серії 29000.

Після проголошення незалежності Україна бере активну участь у роботі міжнародних і європейських організацій, які займаються стандартизацією. 01.01.1993 р. Україна стала членом Міжнародної організації ISO, а 14.02.1993 р. – членом Міжнародної електротехнічної комісії ІЕС, що дає їй можливість брати участь у діяльності відповідних міжнародних робочих органів, технічних комітетів зі стандартизації і користуватися понад 12 тисячами міжнародних стандартів. У березні 1992 р. Україна підписала угоду про проведення державами колишнього СРСР узгодженої політики у галузі стандартизації, метрології та сертифікації. Угодою передбачено, що державні стандарти колишнього СРСР є власністю всіх держав, які підписали угоду, і використовуються як державні або міждержавні до розроблення своїх національних стандартів.

Стан і розвиток національної системи стандартизації, сертифікації та метрології є одним з чинників, від якого залежить національна та економічна безпека України. У зв'язку з цим центральні державні органи зі стандартизації проводять єдину технічну політику за напрямками: гармонізація національних стандартів з відповідними міжнародними та європейськими стандартами або їх пряме впровадження; забезпечення якомога більшої відповідності національних стандартів вимогам міжнародного ринку, зокрема вимогам Світової організації торгівлі (WTO); забезпечення простого доступу експортерів до міжнародних стандартів через розвиток національного інформаційного фонду стандартів; удосконалення чинних систем сертифікації шляхом покращення підготовки та підвищення кваліфікації персоналу, акредитації органів сертифікації на базі міжнародних стандартів і програм. Світова організація торгівлі надає перевагу стандартам, які розробляються Міжнародною організацією зі стандартизації та Міжнародною електротехнічною комісією. Ці стандарти – фундамент світової торгівлі.

З метою подолання бар'єрів у міжнародній торгівлі і забезпечення національного режиму контролю відповідності імпортованих товарів нормам і принципам Світової організації торгівлі

Україна приєдналася до Кодексу добросовісної практики щодо підготовки, прийняття та впровадження стандартів WTO.

Основними тенденціями розвитку робіт у галузі стандартизації, оцінювання і сертифікації на сьогодні є:

- розширення і деталізація використання національних і міжнародних стандартів при проектуванні, виробництві і експлуатації всіх видів товарів з метою забезпечення їх якості;
- ініціювання законодавчої і координаційної діяльності органів влади у галузі застосування стандартів, норм і правил, які сприяють інтеграції українського економічного простору в європейський, ресурсозбереженню, охороні прав людини, захисту довкілля тощо;
- удосконалення чинних систем сертифікації шляхом покращення підготовки та підвищення кваліфікації персоналу, акредитації органів сертифікації на базі міжнародних стандартів і програм;
- створення найсучасніших інформаційних систем у галузі стандартизації та сертифікації.

Впровадження міжнародних стандартів у вітчизняну нормативну документацію веде до значної економії коштів, які витрачаються на проведення науково-дослідних робіт, сприяє скороченню термінів розроблення національних стандартів і технологічних процесів, спрощує проектування необхідного обладнання та інструментів.

1.6 Техніко-економічна ефективність стандартизації

Стандартизація є невід'ємною часткою робіт при створенні нової техніки і характеризується високою економічною ефективністю. Економічна ефективність визначається тим, що за рахунок стандартизації показники якості продукції приводяться у відповідність останнім досягненням науки і техніки, підвищується рівень спеціалізації виробництва, скорочується час і трудомісткість технологічної підготовки виробництва при освоєнні виробництва нової продукції, гарантується взаємозв'язок властивостей вихідних матеріалів і готової продукції та ін.

Економічна ефективність стандартизації проявляється у грошовій або натуральній економії живої або упредетненої праці у суспільному виробництві внаслідок впровадження стандарту з урахуванням необхідних для цього витрат. У випадках, коли витрати

вимірюються у тих же одиницях, що й економія, економічний ефект може виражатися у натуральній формі (наприклад, скорочення циклів проектування, підготовки і здійснення виробництва, зниження трудомісткості праці, зменшення потреби у виробничих площах і обладнанні тощо). В інших випадках ефект може бути виражений у грошовій формі.

Економічна ефективність стандартизації може бути визначена у масштабі народного господарства, виробничої галузі або окремого підприємства. З цією метою виконують спеціальні економічні розрахунки у таких випадках: при включенні у план робіт зі стандартизації конкретної теми, пов'язаної з розроблянням стандартів; при поданні проектів стандартів на затвердження; після впровадження стандартів. Розрахунки проводяться у відповідності до чинних нормативних документів [2].

Економічна ефективність стандартизації може бути поділена на дві групи: ефект від стандартів, що поширюються на окремі види деталей або складальних одиниць, та ефект від стандартів загального використання, які розповсюджуються на всі види деталей і складальних одиниць [3, 4, 9].

До першої групи належать, наприклад, стандарти на зубчасті передачі, підшипники кочення і т.п.; стандарти, які встановлюють вимоги до якості конкретних виробів, оптимізації їхніх форми, розмірів та інших конструктивних елементів. Ці норми вимагають розробляння і використання стандартизованих деталей, забезпечують оптимальний рівень їх якості та матеріаломісткості. Скорочення кількості типорозмірів деталей завдяки стандартизації сприяє організації спеціалізованих виробництв. У свою чергу спеціалізовані виробництва мають можливість використовувати краще обладнання, висококваліфікований персонал, що сприяє підвищенню якості виробів і зниженню їх собівартість.

До другої групи належать такі системи стандартів, як Єдина система конструкторської документації (ЄСКД), Єдина система технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), Єдина система технологічної документації (ЄСТД) та ін. Ці стандарти сприяють оптимізації процесів проектування, виготовлення, експлуатації та ремонту, впровадженню сучасних методів організації виробництва. На базі стандартів другої групи у виробничу та управлінську сфери

запроваджуються персональні комп'ютери, системи автоматизації проектування (САПР) та автоматизації технологічних процесів.

У процесі виробництва найбільша ефективність забезпечується за рахунок спеціалізації, автоматизації, скорочення витрат металу шляхом максимального наближення форми і розмірів заготовок до форми і розмірів готової деталі.

В умовах експлуатації найбільший ефект стандартизації пов'язаний з тим, що висока якість і надійність стандартизованих деталей і складальних вузлів збільшує термін їх служби і зменшує потребу у запасних частинах. Крім того, стандартизація у галузі технічного обслуговування і ремонту підвищує рівень ремонтпридатності, дозволяє впроваджувати сучасну технологію ремонту, знижує час і вартість операцій технічного обслуговування.

Економічний ефект від стандартизації E можна обчислювати за формулою

$$E = [(C_1 + E_H K_1) - (C_2 + E_H K_2)] P_2, \quad (1.1)$$

де E – собівартість одиниці продукції або роботи; E_H – нормативний коефіцієнт ефективності (для деталей і складальних одиниць машинобудівного виробництва він становить приблизно 0,12); P – обсяг річної програми (замовлення); K – питомі капітальні вкладення (виробничі фонди); індекс 1 означає стан до стандартизації, індекс 2 – після стандартизації.

При визначенні *економічного ефекту* на підприємстві враховують зниження собівартості стандартної продукції, підвищення на неї відпускної ціни за рахунок підвищення її якості, збільшення обсягу реалізації стандартизованої продукції внаслідок підвищення попиту, зменшення основних і оборотних фондів підприємства за рахунок інтенсивнішого використання обладнання і скорочення тривалості виробничих циклів.

Визначення величини економічного ефекту повинно провадитися, починаючи з початкової стадії стандартизації, і супроводжувати весь процес розроблення стандарту з метою встановлення оптимального рівня показників стандартизації.

Витрати на впровадження стандартів на продукцію пов'язані головним чином з технологічною підготовкою виробництва, освоєнням випуску продукції за стандартом, що впроваджується. До

витрат на впровадження входять такі витрати: на розроблення або перегляд технічної документації, необхідної для виробництва нової продукції; на забезпечення підприємства новими видами сировини, матеріалів і комплектуючих виробів; на нові інструменти, прилади і обладнання або на модернізацію наявного; на будівництво нових, розширення чи реконструкцію наявних приміщень; на підготовку або перепідготовку кадрів тощо.

Але іноді випуск стандартизованої продукції вищої, ніж звичайна якості вимагає від виробництва великих початкових витрат, що суттєво підвищує собівартість її виготовлення. У той же час в експлуатації така продукція дуже вигідна, бо має кращі споживчі властивості. У такому випадку необхідно встановити, наскільки економічний ефект при експлуатації перевищує сумарні витрати виробництва.

Проте не завжди є можливим і доцільним визначити економічну ефективність стандартизації. Це стосується головним чином загальнотехнічних і організаційно-методичних стандартів, спрямованих на встановлення порядку проведення робіт (інструкції, положення, стандарти у сфері управління виробництвом і т.п.), стандарти на терміни, означення, класифікацію, позначення тощо. У цьому випадку стандартам даються якісні оцінки їх доцільності та витрати на їх розроблення і впровадження.

Працівники підприємств, проектно-конструкторських і науково-дослідних організацій заслуговують заохочення за своєчасне та якісне розроблення і впровадження стандартів.

1.7 Основи сертифікації промислової продукції

***Сертифікація** – це проводжувана третьою стороною процедура, за допомогою якої визначений в установленому порядку орган документально засвідчує (гарантує) відповідність продукції чи послуги вимогам нормативного документа, за яким здійснювалося виготовлення продукції чи надання послуги.*

Ідея сертифікації виникла і поступово розвинулася на основі впровадження стандартизації та розвитку зовнішньоторговельних і економічних відносин. У сучасних умовах сертифікація відіграє важливу роль, захищаючи внутрішній ринок від просування на нього продукції сумнівної якості. Вона також дає можливість об'єктивно оцінити власну продукцію, надати споживачеві підтвердження її

безпеки, забезпечити контроль за відповідністю продукції вимогам якості та екологічної чистоти і тим самим підвищити її конкурентоспроможність. Саме з метою надання таких гарантій споживачеві виникла необхідність об'єднати зусилля багатьох країн у справі розроблення єдиних методів гарантії якості продукції, що надходить на ринок.

Важливою умовою взаємного визнання якості продукції стало проведення випробувань її «третьою стороною». Під *третьою стороною* розуміють особу (або орган), визнаний незалежними і від виробника (перша сторона), і від споживача (друга сторона) [4, 26].

Спочатку на підставі двох- і трьохсторонніх угод був встановлений порядок робіт з визначення відповідного рівня якості певних видів продукції. На основі практики дії цих угод була створена *Міжнародна система сертифікації (ISC)*. Для безпосередньої організації робіт з ISC при Міжнародній організації зі стандартизації (ISO) створений Постійний комітет Ради ISO з сертифікації (СЕРТИКО). Діяльність СЕРТИКО спрямована на досягнення взаємного визнання національних систем сертифікації і застосування міжнародних стандартів ISO у галузі сертифікації.

Щоб упевнитися у відповідності продукції заданим вимогам, її піддають випробуванням. Під *випробуванням* розуміють технічну операцію, яка полягає у визначенні однієї або декількох характеристик даної продукції відповідно до встановленої процедури, за прийнятими правилами. Випробування здійснюють у *незалежних випробувальних лабораторіях*, причому цей термін стосується як юридичного, так і технічного органа, що здійснює випробування.

Кожна випробувальна лабораторія повинна отримати *акредитацію*, тобто офіційне визнання того, що дана лабораторія є правочинною проводити конкретні випробування або конкретні типи випробувань. Акредитацією випробувальних лабораторій у рамках ISC займається Міжнародна конференція з акредитації лабораторій (ILAC). Угоди з акредитації лабораторій можуть також носити й двосторонній характер, наприклад, угоди між національними службами акредитації Великобританії, Франції і США, між Італією і ФРН і т.п.

Неузгодженість національних систем сертифікації у певний момент стала перешкодою у торгівлі між країнами-членами Європейського союзу. Відмінності стосувалися як технічних проблем,

так і адміністративних аспектів, пов'язаних з відмінностями різноманітних нормативних документів.

Рада Європейського союзу у 1989 р. прийняла важливий документ «Глобальна концепція з сертифікації і досліджень». Основна ідея цього документа полягає у формуванні довіри до товарів та послуг шляхом використання таких процедур і документів, як сертифікація і акредитація, що спираються на єдині європейські норми. Основні рекомендації Глобальної концепції ЄС полягають у наступному: заохочення до створення централізованих національних систем акредитації; застосування основних європейських стандартів, спрямованих на забезпечення якості, та акредитації випробувальних лабораторій; гармонізація інфраструктури випробувань і сертифікації у країнах ЄС.

З метою реалізації зазначених рекомендацій європейські країни створили низку міжнародних організацій з сертифікації, акредитації та випробувань.

Якщо країни Західної Європи дотримуються єдиних правил сертифікації, випробувань з використанням міжнародних стандартів, то у США сертифікація гарантується лише на національному рівні.

Роботи з сертифікації продукції і послуг розпочалися в Україні у 1992 р. з прийняття Закону України «Про захист прав споживачів». Прийнятий у 1993 р. Кабміном України декрет «Про стандартизацію та сертифікацію» сприяв подальшому розвитку стандартизації та сертифікації. На підставі законодавчих актів була створена Державна система сертифікації УкрСЕПРО. У 1997 р. Україна увійшла до Міжнародної системи сертифікації МЕКСЕ. Визнання роботи системи УкрСЕПРО міжнародними експертами показало, що українська система стандартизації та сертифікації відповідає міжнародним нормам і правилам і не створює перешкод у торгівлі.

З 13 серпня 2010 року Державна система сертифікації припинила своє існування. Держспоживінспекція України ввела новий порядок видачі сертифікатів відповідності якості, при якому документи видаються регіональними відділеннями без фіксації в електронній базі даних.

Відповідно до наказу ДП «УкрНДНЦ» від 29 грудня 2017 року № 500 «Про скасування національних нормативних документів» з 01 січня 2018 року здійснюється перехід від обов'язкової сертифікації

продукції в системі УкрСЕПРО до добровільної сертифікації та підтвердження відповідності продукції технічним регламентам.

На базі ДП «Укрметртестстандарт» створено «Добровільну систему УкрСЕПРО», яка увібрала у себе найкращий досвід, набутий державною системою сертифікації та базується на її основних принципах і підходах до оцінювання відповідності продукції, робіт і послуг.

Організаційну структуру «Добровільної системи УкрСЕПРО» утворюють:

- ДП «Укрметртестстандарт»;
- науково-технічна рада Системи УкрСЕПРО;
- регіональні органи з сертифікації – члени Системи УкрСЕПРО.

Система добровільної сертифікації має на меті:

- запобігання реалізації продукції небезпечної для життя, здоров'я та майна громадян і навколишнього природного середовища;
- створення умов для участі суб'єктів підприємницької діяльності в міжнародному економічному і науково-технічному співробітництві та міжнародній торгівлі;
- сприяння споживачеві в компетентному виборі продукції, робіт і послуг.

У діяльності «Системи УкрСЕПРО» беруть участь органи з сертифікації незалежно від форми власності, які задовольняють встановленим у «Системі УкрСЕПРО» вимогам і уклали відповідний договір з ДП «Укрметртестстандарт». Порядок отримання права на проведення робіт в «Системі УкрСЕПРО» визначає обов'язкові умови, за яких за регіональними органами сертифікації зберігаються надані їм права; встановлює права та обов'язки сторін, а також відповідальність за порушення вимог «Системи УкрСЕПРО» та неправомірне використання Знаків відповідності. У процесі своєї діяльності регіональні органи сертифікації дотримуються встановлених вимог щодо здатності та компетентності здійснювати сертифікацію продукції вимогам застосованих нормативних документів та згідно з документами, чинними у системі управління якістю.

Органи сертифікації, спеціалізовані за видами продукції, не залежать ані від виробника, ані від споживача; їхні рішення є об'єктивними і остаточними. Органи сертифікації проводять

сертифікацію конкретної продукції, акредитують випробувальні центри (лабораторії), видають виробникам продукції висновки і сертифікати відповідності продукції або зауваження стосовно її якості.

Випробувальні лабораторії (центри) проводять випробування продукції, що сертифікується, за пропозицією органів сертифікації беруть участь у здійсненні технічного нагляду за виробництвом сертифікованої продукції або в атестації цього виробництва. Випробувальна лабораторія несе відповідальність за об'єктивність результатів випробувань продукції, що сертифікується.

Для проведення сертифікації продукції заявник (у тому числі й іноземний) подає до акредитованого органу сертифікації продукції **заявку** відповідної форми, яка має бути розглянута протягом одного місяця. Після цього заявник отримує рішення, яке містить основні умови і порядок (модуль) проведення сертифікації.

За рішенням органу сертифікації продукції може бути проведена **сертифікація системи якості** заявника. Вона проводиться з метою забезпечення певності органу сертифікації продукції у тому, що продукція, яка випускається підприємством, відповідає обов'язковим вимогам нормативних документів; що всі технічні, адміністративні і людські чинники, які можуть вплинути на якість продукції, знаходяться під контролем; що неякісна продукція своєчасно виявляється, а підприємство постійно вживає заходи щодо запобігання виготовленню такої продукції.

На вимогу органу сертифікації продукції або за ініціативою виробника може проводитися **атестація виробництва**. Вона повинна передбачати отримання кількісної оцінки стабільності відтворення показників продукції. Для показників, що підтверджуються сертифікацією, передбачається видача рекомендацій щодо оптимальної кількості зразків (проб, виборок), які випробуються з метою сертифікації, способів і правил їх відбору, а також правил і порядку проведення технічного нагляду за виробництвом сертифікованої продукції.

Випробування з метою сертифікації здійснює випробувальна лабораторія. Заявник надає зразки (проби) продукції для випробувань та технічну документацію на них. Кількість зразків та правила їх відбирання встановлюються органом сертифікації. Продукція, що

імпортується, також проходить випробування, якщо не існує угоди щодо взаємного визнання результатів випробувань.

При позитивних результатах протоколи випробувань передаються органу сертифікації продукції, а копії – замовнику. Якщо хоча б по одному показнику отриманий негативний результат, випробування з метою сертифікації припиняються, і відповідна інформація надається замовнику і органу сертифікації продукції, який скасовує заявку. Повторні випробування можуть бути проведені тільки після подання повторної заявки та надання органу сертифікації продукції переконливих доказів того, що підприємство вжило необхідні заходи з метою усунення причин, які викликали невідповідність.

При наявності протоколів з позитивними результатами випробувань, сертифікату якості або атестату виробництва залежно від прийнятої схеми (модуля) сертифікації орган сертифікації оформляє *сертифікат відповідності*, Сертифікат відповідності — документ, виданий для підтвердження того, що продукція, система якості, система управління якістю, система управління довкіллям та персонал відповідають встановленим вимогам конкретного стандарту чи іншим нормативним документам, визначеним чинним законодавством (згідно із Законом України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» від 15.01.2015 № 124-VIII).

Таким чином, сертифікація у наш час стала одним з найважливіших механізмів управління якістю, який дозволяє об'єктивно оцінити продукцію. Для підприємства-виробника сертифікація продукції дає можливість збільшити довіру до якості своєї продукції, розширити ринок збуту, збільшити обсяг виробництва. Для споживача сертифікація корисна тим, що захищає його від продукції, небезпечної для здоров'я і життя людини, полегшує вибір якісної продукції, сприяє постійному підвищенню якості вживаної продукції.

2 ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ

2.1 Основні поняття

Метрологія – наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їхньої єдності та досягнення необхідної точності [5, 6].

Вимірювання служать для пізнання довкілля і природних закономірностей. Вони поєднують теорію з практичним життям суспільства і використовуються всюди: у науці, у будь-якому виробництві, при обліку матеріальних цінностей і ресурсів, в економіці й побуті.

Метрологія служить теоретичною основою вимірювальної техніки, одного з основних факторів технічного прогресу в усіх галузях діяльності людини. Жодне наукове дослідження не може обійтися без вимірювальної інформації. Без розвитку методів і засобів вимірювання неможливий прогрес у науці та техніці. Проблема забезпечення високої якості продукції та зменшення витрат на її виробництво знаходиться у прямій залежності від ступеня метрологічного забезпечення виробництва

Метрологія відрізняється від інших природничих наук тим, що її фундаментальні положення приймаються за угодами, а не диктуються об'єктивними закономірностями. Дуже велике значення метрології в економіці. Це стосується не лише обліку матеріальних ресурсів. Неточність вимірювань, відсутність належної вимірювальної техніки може призвести до непоправних утрат при виробництві, зберіганні та продажі сировини, напівфабрикатів і готової продукції.

За головними галузями використання метрологія поділяється на три види: наукову, промислову і законодавчу.

Наукова метрологія – це частина метрології, що вивчає загальні метрологічні питання, незалежно від вимірюваних величин, а саме: загальні та теоретичні проблеми, які стосуються одиниць вимірювання, забезпечення єдності вимірювань, проблем похибок під час вимірювань тощо.

Промислова метрологія займається вимірюваннями на виробництві та контролем якості. Тому вона контролює і регламентує процеси вимірювання, стан і використання засобів вимірювання на виробництві, методи і періодичність перевірок засобів вимірювання та ін.

Законодавча метрологія охоплює сукупність взаємообумовлених норм, вимог і правил, спрямованих на забезпечення метрологічної єдності вимірювань, які набувають обов'язкову правову силу. Законодавча метрологія є засобом державного регулювання метрологічної діяльності за допомогою чинних законів і законодавчих положень. Норми і правила законодавчої метрології мають бути гармонізованими з рекомендаціями і документами відповідних міжнародних організацій.

Метрологія у народному господарстві має такі головні функції: забезпечує єдність вимірювань фізичних величин, технічних параметрів, властивостей речовин тощо; забезпечення точності вимірювань; контроль і регулювання параметрів технологічних процесів; облік матеріальних ресурсів і продукції за масою, обсягом виробництва, витратами енергії та інших ресурсів і т.п.

Єдність вимірювання полягає у тому, що результати вимірювань, виражені у прийнятних одиницях, повинні бути однаковими незалежно від місця і часу вимірювань, використовуваних методів і засобів вимірювання. Тобто одна і та ж одиниця фізичної величини має бути адекватною при вимірюванні у різних місцях, різними засобами, методами та різними експериментаторами.

Точність вимірювань означає максимальне наближення їх результатів до істинного значення вимірюваної величини. Вона забезпечується як використовуваними методами і засобами вимірювання, так і діями власне експериментатора. Недостатня точність вимірювання може стати перепорою для випуску конкурентоспроможної високоякісної продукції.

Недоліки в обліку матеріальних ресурсів і продукції створюють серйозні проблеми у роботі та економічному стані підприємств, здійсненні регулярного й ефективного грошового обігу і товарообміну. На основі досягнень метрологічної науки розробляються правила метрологічної підготовки і виконання вимірювань, опрацювання і оформлення їх результатів. Виконання метрологічних правил є обов'язковим в усіх підприємствах і установах країни. Повне, якісне і повсякчасне виконання цих правил забезпечується і контролюється органами метрологічних служб України.

Для забезпечення науково-технічного прогресу метрологія

повинна випереджати у своєму розвитку інші галузі науки, бо для кожної з них точні вимірювання і достовірна інформація є основоположними.

2.2 Фізичні величини та їх одиниці

Метрологія вивчає і має справу лише з вимірюваннями фізичних величин, тобто величин, для яких може існувати фізично здійснювана і відтворювана одиниця величини.

Фізичною величиною називається властивість, спільна у якісному відношенні у багатьох матеріальних об'єктів та індивідуальна у кількісному відношенні у кожного з них [5]. Наприклад, властивість *міцність* як якісна характеристика властива різним матеріалам – сталі, пластмасам, деревині, тканинам, але ступінь міцності, її кількісне значення для кожного з них своя. Тому можливість визначення певного розміру (значення) є визначальною ознакою поняття «фізична величина».

У теорії вимірювань оперують поняттями істинного вимірюваного і дійсного значення фізичної величини.

Істинне вимірюване значення фізичної величини – це таке значення фізичної величини, яке ідеально відображає певну властивість об'єкта. Проте процес вимірювання повинен враховувати фізичну природу властивостей об'єкта, що вивчаються, і якісні межі, в яких це вимірювання має сенс. Тому одним з постулатів теорії метрології є положення про те, що істинне значення вимірюваної фізичної величини існує, але визначити його шляхом вимірювання неможливо. До нього можна наблизитися в міру того, як підвищується можливість точного вимірювання.

Оскільки істинне вимірюване значення фізичної величини визначити неможливо, на практиці оперують поняттям дійсного значення. *Дійсне значення* – це значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що його можна використати замість істинного для даної мети. Це значення змінюється у залежності від необхідної точності вимірювань. Ступінь наближення дійсного значення до істинного залежить від методики і точності застосованого засобу вимірювання. Тому практично користуються *вимірним значенням* фізичної величини, під яким розуміють значення, відлічене по відліковому пристрою засобу вимірювання.

При вимірюваннях часто використовують поняття постійної і змінної величини. *Постійною величиною* називають фізичну величину, розмір якої за умовами задачі вимірювання не змінюється за час, що перевищує тривалість вимірювання. У свою чергу *змінна величина* – це фізична величина, розмір якої змінюється у процесі вимірювання.

Система взаємопов'язаних фізичних величин, в якій декілька величин приймають за незалежні, а інші визначають як залежні від них, називається *системою фізичних величин* [6].

Фізичні величини прийнято поділяти на основні і похідні. Фізична величина, що входить у систему фізичних величин і прийнята за незалежну від інших величин цієї системи, називається *основною величиною*. Фізична величина, що входить у систему величин та визначається через основні величини цієї системи, називається *похідною величиною*.

Кількісними характеристиками фізичних величин є їхній розмір. Розміром фізичної величини є її одиниці. *Одиницею* фізичної величини називається величина певного розміру, яку прийнято за основу для кількісної відображення однорідних з нею величин. Наприклад, одиниця маси, довжини або лінійного розміру, часу, температури і т.п. Кожна одиниця фізичної величини має свою *розмірність* – вираз, що зв'язує вимірювану величину з основними одиницями системи вимірювання при коефіцієнті пропорційності, рівному одиниці. Наприклад, розмірність одиниці маси – кілограм, довжини – метр, часу – секунда тощо.

Одиниці фізичної величини поділяються на кратні та часткові. *Кратні* одиниці у ціле число разів *більші* за одиницю, від якої вони утворюються, а *часткові*, навпаки – у ціле число разів *менші* за одиницю, від якої вони утворюються.

З початком матеріальної культури людям доводилося мати справу з вимірюваннями. У стародавні часи дуже часто як міра довжини використовувалися частини людського тіла: довжина верхньої фаланги великого пальця – дюйм, довжина стопи – фут, відстань від ліктя до кінця середнього пальця – лікоть та ін. Мірою часу служив рух Місяця і Сонця, у зв'язку з чим місяць тривав чотири тижні, а тиждень – сім днів.

Оскільки різні народи знаходилися у різних умовах і на різних стадіях розвитку, поступово у світі склалася велика кількість різноманітних *систем одиниць фізичних величин* – сукупність певних одиниць, прийнята у певному суспільстві. Наприклад, досить своєрідна система одиниць склалася в Англії: довжина вимірювалася у дюймах, футах, ярдах, мілях; маса - у фунтах тощо. Зв'язок між кратними (або частковими) одиницями був не досить зручний. В англійській системі мір ярд дорівнює 3 футам, а фут – 12 дюймам.

У різних країнах одиниця з однією назвою могла мати різну величину. Так, російський фунт відповідав масі 400 г, англійський – 453 г. Навіть сьогодні можна зустрітися з тим, що одиниці вимірювань з однією назвою не лише у різних країнах, а навіть у межах однієї країни для різних речовин мають різний розмір у метричних одиницях. Наприклад, у США барель нафтовий становить 159,0 л, а барель для сухих речовин – 115,6 л; галон сухий – 4,4 л, галон рідинний – 3,785 л; той же рідинний галон в Англії – 4,546 л. Із зростанням міжнародного товарообміну така різноманітність створювала великі незручності.

Спрощення вимірювань і розрахунків у міжнародних торговельних відносинах створила метрична система одиниць.

Під час Великої французької революції кінця XVIII століття комісія Паризької академії наук під керівництвом Лагранжа запропонувала десяткову систему одиниць з кратними і частковими елементами. За одиницю маси – *кілограм* – була прийнята маса 1 кубічного дециметра чистої води при температурі + 4⁰С, а за одиницю довжини – *метр* – 1/40 000 000 частка довжини паризького меридіана. Ця система одиниць була законодавчо прийнята 7 квітня 1795 р. Національними зборами Франції.

20 травня 1875 р. 17 держав-учасниць підписали міжнародну *Метричну конвенцію* – перше свідчення міжнародного наукового співробітництва вчених Європи, Азії й Америки. Вона мала велике значення для уніфікації одиниць вимірювання у міжнародному масштабі.

У 1960 р. одинадцятьою Генеральною конференцією з мір та ваг була рекомендована як практична система одиниць для вимірювань фізичних величин Міжнародна система, яка отримала назву *System International Unites (Міжнародна система одиниць)* з міжнародним

скороченням SI (українською мовою — СІ). В Україні з 1963 р. система СІ була введена для переважного застосування.

Система СІ має низку переваг над системами, які існували раніше: вона універсальна, охоплює всі галузі науки, техніки, господарства та ін. Тому вона отримала визнання у багатьох країнах світу.

За **основні** у системі СІ прийняті сім одиниць: довжини – метр (м), маси – кілограм (кг), часу – секунда (с), сили електричного струму – ампер (А), термодинамічної температури – Кельвін (К), сили світла – кандела (кд), кількості речовини – моль (моль).

Від основних одиниць утворені різноманітні **похідні** одиниці. Як приклад — декілька наступних похідних одиниць фізичних величин, які використовуються у технологічних процесах. Одиницею швидкості є метр за секунду (м/с). Вона дорівнює швидкості частинки, що рівномірно рухається і проходить за секунду шлях довжиною в один метр. Одиниця сили на честь І.Ньютона названа ньютон (Н). Згідно з другим законом Ньютона вона дорівнює силі, під дією якої тіло з масою 1 кг отримує прискорення 1 м/с^2 . Похідні одиниці інших фізичних величин визначаються аналогічним способом.

У межах системи СІ до когерентної системи одиниць додано десяткові кратні та часткові одиниці від одиниць СІ, які утворюються множенням цих одиниць на множник, що дорівнює числу 10 у додатному (для кратних одиниць) або від'ємному (для часткових одиниць) степені – від 10^{24} до 10^{-24} . При цьому назви кратних і часткових одиниць утворюються приєднанням до назви вихідної одиниці того чи іншого префікса. Так, кратні одиниці мають префікси, взяті з грецької мови: дека- (10^1), гекто- (10^2), кіло- (10^3), мега- (10^6) і т.п., а часткові одиниці, мають префікси, взяті з латинської мови: деци- (10^{-1}), санти- (10^{-2}), мілі- (10^{-3}), мікро- (10^{-6}) і т.п.

Національний стандарт ДСТУ ОІЛМ D 2:2007 [7] встановлює узаконені одиниці вимірювань. Узаконені одиниці вимірювань підлягають обов'язковому застосуванню. Однак з практичних причин, іноді потрібно широко застосовувати одиниці, які не є узаконеними одиницями вимірювань.

Тому поруч з одиницями системи СІ сьогодні досить широко використовуються **позасистемні одиниці вимірювання** — одиниці вимірювання, які на відміну від системних одиниць фізичних величин

не входять до складу жодної із систем, але використовуювуться на практиці.

Значного поширення набули одиниці тиску: атмосфера, бар, міліметри ртутного стовпа, міліметр водяного стовпа. Позасистемними одиницями часу є хвилина, година; одиницями довжини — ангстрем, світловий рік, парсек; одиницями площі — ар, гектар; одиницями електричної енергії — кіловат-година; одиницями акустичних величин — децибел, фон, октава та ін.

Бар - позасистемна одиниця тиску, що дорівнює 10^5 Па приблизно 750,062 мм рт. ст. або 0,986923 атм. Дрібніша одиниця - мілібар - використовується в метеорології і для вимірювання тиску у вакуумі.

На морському флоті для визначення швидкості використовується позасистемна одиниця – вузол (одна морська миля за годину). Об'єм трюмів вантажних суден вимірюється у брутто-регістрових тоннах (BRT), кожна з яких дорівнює 100 кубічним футам.

Попри зручність і поширеність метричної системи навіть сьогодні деякі країни не відійшли від історично сформованих у них одиниць вимірювання. Відомо, що Велика Британія, США і Канада у більшості випадків користуються системою «британських імперських мір».

2.3 Основні характеристики вимірювань

Вимірюванням є відображення вимірюваних фізичних величин їх значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів [5, 8]. Власне це сукупність операцій, які виконуються за допомогою технічного засобу, який обов'язково має нормовані метрологічні властивості, тобто зберігає одиницю фізичної величини і дозволяє порівнювати з нею вимірювану величину.

Основними умовами виконання вимірюванням своїх функцій є представлення результатів вимірювання у єдиних узаконених одиницях та встановлення допустимих помилок (похибок) результатів вимірювань або меж, за які вони не повинні виходити при заданій імовірності.

Основними характеристиками вимірювань є: принцип вимірювання, метод і спосіб вимірювання, точність і достовірність вимірювання та його відтворюваність.

Принцип вимірювання – це фізичне явище, сукупність фізичних явищ або закон, які покладені в основу вимірювання певної величини

[6]. Наприклад, для вимірювання температури тіла може використовуватися безконтактний оптикометричний метод, термоелектричний ефект зміни електричного опору терморезистора, зміни об'єму термометричної речовини термометра та ін. Масу тіла можна визначити шляхом порівняння з певної мірою, а можна за допомогою тарованої пружини.

Також принципово розрізняються контактні і безконтактні способи вимірювань.

Контактним вимірюванням називають таке вимірювання, при якому чутливий (сприймаючий) елемент засобу вимірювання має механічний контакт з поверхнею об'єкту, що вимірюється. Це, наприклад, вимірювання лінійного розміру за допомогою штангенциркуля, мікрометра, індикатора і т.п.

Безконтактним вимірюванням називають таке вимірювання, при якому чутливий елемент засобу вимірювання не має механічного контакту з поверхнею об'єкту, що вимірюється. Прикладом може бути вимірювання лінійних розмірів, кутів, елементів різей за допомогою інструментальних оптичних мікроскопів.

Метод вимірювання – це сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципів вимірювання для знаходження конкретної вимірювальної інформації.

Найчастіше використовуються такі методи вимірювання: безпосередня оцінка, порівнювання з мірою, протиставлення, диференціальний, нульовий, заміщення, збіжності.

Метод безпосередньої оцінки полягає у тому, що вимірювана величина визначається безпосередньо за відліковим елементом вимірювального приладу (наприклад, вимірювання напруги електричної мережі вольтметром).

Вимірювання цим методом проводяться швидко і не вимагають високої кваліфікації експериментатора, оскільки немає потреби у якихось додаткових діях чи складних обчисленнях. Проте точність

таких вимірювань не висока і залежить від впливу зовнішнього середовища, розмірів і характеристик шкали відлікового пристрою приладу та ін.

Метод порівняння з мірою полягає у тому, що вимірювана величина порівнюється з величиною, відтвореною мірою.

При цьому чутливий елемент вимірювального приладу налаштовується на величину міри, а відліковий пристрій фіксує відхилення від неї (наприклад, визначення лінійного розміру за допомогою мініметра і набору кінцевих мір). Результат вимірювання визначається як сума значень використовуваної міри і показів індикатора вимірювального приладу. Точність цього методу вище попереднього.

Метод протиставлення – це такий метод порівняння з мірою, коли вимірювана і відтворена мірою величини одночасно діють на прилад порівняння, за допомогою якого визначається співвідношення між цими величинами. Значення шуканої величини визначається після досягнення рівноваги за значенням зрівноважуючої величини. Наприклад, маса вантажу визначається на важільних вагах за масою поставлених ваг.

Диференціальний метод полягає у тому, що вимірювальним приладом визначається різниця між вимірюваною величиною і величиною, відтворюваною мірою. Цей метод використовується, наприклад, для визначення в апаратах тиску, надмірного відносно атмосферного.

Нульовий (компенсаційний) метод полягає у порівнюванні вимірюваної величини з мірою, при якому результуючий ефект дії вимірювальної величини на прилад доводять до нуля.

Метод широко використовується в автоматичних вимірювальних приладах: автоматичних мостах, потенціометрах, аналізаторах рідин, газів та ін. На результати вимірювань практично майже не впливають зовнішні чинники і джерело живлення вимірювальних електричних схем.

Метод заміщення – це таке порівнювання вимірюваної величини з певною відомою величиною, яка відтворює міру, коли вимірювальну величину замінюють цією відомою величиною.

Метод збіжності є різновидом методу порівняння з мірою і полягає у тому, що різниця між шуканою і відтвореною мірою величинами вимірюється за збігом шкал або періодичних сигналів.

Цей метод використовується при вимірюванні точних сигналів часу, частот обертання тощо.

Крім перелічених методів у метрологічній практиці використовується багато інших методів, використання яких залежить від галузі промисловості і виду вимірюваної фізичної величини.

У зв'язку з тим, що на результати вимірювання впливають численні різноманітні чинники та умови проведення експериментів, **способи вимірювання** класифікуються за наступними ознаками.

За характером зміни вимірюваної величини у часі вимірювання поділяються на статичні і динамічні.

Статичні вимірювання – це вимірювання величини, яку можна вважати незмінною за час вимірювання. Статичні вимірювання провадяться, як правило, для встановлення взаємозв'язку між декількома фізичними величинами одного і того ж об'єкта дослідження. Це може бути, наприклад, стеження за параметрами певного технологічного процесу.

Динамічні вимірювання – вимірювання величини, що змінюється за час вимірювання або є несталою при різних збуреннях, що впливають на об'єкт дослідження або на засіб вимірювання. Динамічні вимірювання дають можливість вивчати динамічні властивості об'єкта і засобів вимірювання, особливо первинних перетворювачів (датчиків).

За кількістю вимірювальної інформації розрізняють одноразові й багаторазові вимірювання.

Одноразові вимірювання – це одноразові вимірювання однієї величини, коли число вимірювань дорівнює числу вимірюваних величин. Одноразове вимірювання зможе бути пов'язане з великими похибками. Для отримання точнішого результату варто проводити не менше трьох одноразових вимірювань і знаходити кінцевий результат як середнє арифметичне значення.

Багаторазові вимірювання характеризуються тим, що число вимірювань перевищує кількість вимірюваних величин. Звичайно мінімальне число вимірювань у даному випадку більше трьох. Перевага багаторазових вимірювань – у значному зниженні впливів випадкових факторів на похибку вимірювання.

За способом одержання числового значення вимірюваної величини вимірювання поділяються на прямі та непрямі вимірювання.

Прямими називаються такі вимірювання однієї величини, значення якої знаходять безпосередньо без перетворення її роду та використання відомих залежностей. (наприклад, вимірювання довжини лінійкою, температури – термометром, тиску – манометром і т.п.). Прямі вимірювання найпростіші та найпоширеніші у промисловості.

Непрямими вимірюваннями називаються вимірювання, у яких значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять після перетворення роду величини чи обчислення за відомими залежностями їх від декількох величин аргументів, що вимірюються прямо.

Використовується декілька видів непрямих вимірювань.

Опосередкованими називають такі непрямі вимірювання однієї величини з перетворенням її роду чи обчисленням за результатами вимірювань інших величин, з якими вимірювана величина пов'язана явною функційною залежністю. Наприклад, визначення об'єму тіла залежно від його форми і відповідних лінійних розмірів.

Сукупні вимірювання – це непрямі вимірювання, в яких значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, що пов'язують різні сполучення цих величин, які вимірюються прямо або опосередковано. Наприклад, у наборі гир за відомою масою однієї гирі визначають масу окремих гир за результатами прямих порівнянь мас різних поєднань гир.

Сумісні вимірювання – це непрямі вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, які пов'язують їх з іншими величинами, що вимірюються прямо або опосередковано. Результати таких вимірювань, як правило, використовуються у наукових дослідженнях (наприклад, визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення).

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

Вимірювання з максимально можливою точністю відповідно до наявного технічного рівня вимірювань. Це вимірювання за допомогою еталонів, спрямовані насамперед на відтворення встановлених одиниць фізичних величин або фізичних констант. Такі вимірювання необхідні при наукових дослідженнях високого рівня.

Контрольно-повірочні вимірювання – вимірювання, похибки яких не перевищують певних наперед заданих значень. До них відносяться лабораторні вимірювання фізичних величин за допомогою зразкових засобів вимірювання і технічних засобів високих класів точності.

Технічні вимірювання – вимірювання, які проводяться у промисловості і визначаються невисоким класом точності засобів вимірювання, як правило, на робочому місці.

Залежно від одиниць вимірювання фізичних величин способи вимірювання поділяються на абсолютні і відносні.

Абсолютними називаються вимірювання, значення яких подані у абсолютних одиницях фізичних величин (наприклад, тиск у паскалях, довжина у метрах, час у секундах та ін.).

Відносними називають вимірювання, значення яких подані як відношення вимірюваної величини до однойменної, умовно прийнятої за одиницю, або у відсотках (наприклад, відносні видовження або звуження, коефіцієнт використання матеріалу тощо).

Важливими характеристиками вимірювання є точність, достовірність і відтворюваність вимірювання.

Точність вимірювання відображає близькість його результатів до дійсного значення вимірюваної величини. Зараз можна виміряти фізичну величину з дуже високою точністю. Проте шляхи підвищення точності складні й дуже коштовні. Рівень точності вимірювання повинен бути обґрунтованим конкретними умовами та метою вимірювання.

Достовірність вимірювань – це ступінь довіри до результатів вимірювання і характеризується близькістю до нуля систематичної похибки вимірювання. Вимірювання можуть бути достовірними і недостовірними залежно від того, відомі чи невідомі ймовірні характеристики їх відхилень від дійсних значень відповідних величин. Результати вимірювань, достовірність яких невідома, не мають ніякої цінності і у деяких випадках можуть служити джерелом дезінформації.

Збіжність вимірювань відображає близькість повторних результатів вимірювань однієї й тієї ж величини в однакових умовах. Вона свідчить про близькість до нуля випадкових похибок.

Відтворюваність вимірювань – це така характеристика вимірювань, яка відображає близькість результатів вимірювань однієї

й тієї ж величини, виконаних у різних умовах (наприклад, у різний час, у різних місцях або різними методами).

2.4 Похибки вимірювань фізичних величин

Похибкою називається відхилення результату вимірювання від дійсного (істинного) значення вимірюваної величини. Поняття похибки характеризує недосконалість вимірювання. Протилежною до похибки характеристикою якості вимірювання є *точність вимірювання*. Точність і похибка пов'язані оберненою залежністю – вимірювання тим точніше, чим менше його похибка [3, 6, 8].

Причини виникнення похибок пов'язані з недосконалістю методів вимірювання, технічних засобів, органів чуттів експериментатора, зі зміною умов проведення експерименту тощо. Чинники, під впливом яких формується загальна похибка вимірювання, можна об'єднати у дві групи.

Перша – чинники, що з'являються нерегулярно і зникають несподівано. До них належать зокрема перекося або тимчасова зміна розмірів елементів засобів вимірювання, зміни зовнішніх умов під час вимірювання, послаблення уваги або помилка експериментатора тощо. Момент, характер дії цих чинників та їх інтенсивність не завжди можна встановити і вчасно усунути.

Друга група – чинники постійні, або такі, що закономірно змінюються у процесі вимірювання. До них належать методичні похибки, неточне налаштування нульового відліку засобу вимірювання, недосконалість деяких елементів засобу вимірювання та ін. Дія цих чинників зберігається протягом всіх послідовних вимірювань.

Оскільки похибка є найважливішою характеристикою результатів вимірювання і визначає ступінь довіри до нього, вона обов'язково має бути оцінена. Для різних видів вимірювань задача оцінювання їх результатів може розв'язуватися по-різному, і похибка може оцінюватися з різною точністю на підставі наявної інформації. Відповідно до цього розрізняють вимірювання з точним (тобто з максимально можливою точністю), наближеним і попереднім оцінюванням похибок.

При вимірюваннях з *точним* оцінюванням похибки враховуються індивідуальні метрологічні властивості та характеристики кожного із застосованих засобів вимірювання,

аналізується метод вимірювання, контролюються всі умови вимірювання з метою врахування їхнього впливу на результати вимірювання.

При вимірюваннях з *наближеним* оцінюванням похибки враховуються лише нормативні, типові метрологічні характеристики засобів вимірювання і оцінюють вплив на результат вимірювання лише відхилень умов вимірювання від нормальних.

Вимірювання з *попереднім* оцінюванням похибок виконуються за типовими методиками вимірювань, регламентованими науково-технічною документацією, якою визначаються методи і умови вимірювання, типи і точність засобів вимірювання, що використовуються, і на підставі цих даних заздалегідь визначається можлива похибка результату вимірювання.

В інженерній практиці звичайно використовуються два останні методи вимірювання і способи оцінювання похибок, які відносяться до категорії *технічні вимірювання*.

Найчастіше для оцінювання результатів вимірювання використовують поняття абсолютної і відносної похибок [5].

Абсолютною похибкою вимірювання називається різниця між результатом вимірювання та умовно істинним (дійсним) значенням вимірюваної величини:

$$\Delta = x_{\text{п}} - x_{\text{д}}, \quad (2.1)$$

де Δ – абсолютна похибка вимірювання; $x_{\text{п}}$ – результат вимірювання (показ засобу вимірювання); $x_{\text{д}}$ – дійсне значення вимірюваної величини.

Відотною похибкою вимірювання δ_x називається відношення абсолютної похибки вимірювання до умовно істинного (дійсного) значення вимірюваної величини, виражене у відсотках:

$$\delta_x = (\Delta/x_{\text{д}}) \cdot 100\%. \quad (2.2)$$

Оцінка якості вимірювання завжди наводиться із зазначенням похибки. При цьому перевага надається відносній похибці як інформативнішій. Вона дає можливість об'єктивно зіставляти та оцінювати якість вимірювань, зроблених у різний час або різними експериментаторами. Дійсно, абсолютна похибка в 1 мм не має

великого значення для дійсного розміру у 1000 мм, але є суттєвою, якщо вимірний розмір не перевищує 10 мм.

За своїм характером, походженням та іншими чинниками похибки поділяються на такі види.

За характером виявлення у часі розрізняють систематичні та випадкові похибки.

Систематичною похибкою вимірювання називається складова похибки, що залишається сталою або прогнозовано змінюється у низці вимірювань тієї ж величини. Причиною систематичної похибки може бути, наприклад, неточне градування відлікового елемента або неправильне налаштування нульової точки відліку засобу вимірювання.

Випадковою похибкою вимірювання називається складова похибки, що не прогнозовано змінюється у низці вимірювань тієї ж величини. Випадкова похибка може виникнути під впливом якогось тимчасового явища: зміна температури у зоні вимірювання, раптовий вплив промислової магнітної або електричної завади, помилка експериментатора тощо.

За джерелом виникнення розрізняють інструментальні, методичні та особисті похибки.

Інструментальні похибки вимірювання – це складові похибки вимірювання, зумовлені властивостями засобу вимірювання Вони можуть бути як систематичними, так і випадковими. Найчастіше вони становлять найбільшу частку у похибці вимірювання, тому має бути ретельний контроль за станом засобів вимірювання як при їх виготовленні й ремонті, так і під час експлуатації.

Методичні похибки вимірювання – це складові похибки вимірювання, зумовлені неадекватністю об'єкта вимірювання та його моделі, прийнятої при вимірюванні. Вибір оптимальної моделі та методики вимірювання залежить від задачі та умов вимірювання.

Особисті похибки вимірювання пов'язані безпосередньо з особистістю експериментатора: відсутність навиків роботи з даним приладом, неточність відліку показів засобу вимірювання, неуважність та ін.

За умовами виникнення розрізняють основні та додаткові похибки вимірювання.

Вони пов'язані із застосовуваними засобами вимірювання. Кожний засіб вимірювання має застосовуватися в умовах, визначених нормативно-технічною документацією на нього. Похибка вимірювання, визначена при нормальних умовах експлуатації засобу вимірювання, називається *основною*. Похибка, обумовлена виходом величин зовнішніх чинників за межі нормальних умов експлуатації, називається *додатковою*. Для оцінювання додаткових похибок у документації на засіб вимірювання звичайно вказують норми змінення показів приладу у випадку виходу умов вимірювання за межі нормальних.

Вимірювання може мати аномальну похибку – промах. ***Промахом*** називається результат вимірювання, що має надмірну величину.

Результати вимірювання можна визначити з різною точністю. На практиці використовуються наступні ***правила округлення результатів вимірювання***.

Якщо цифра старшого з розрядів, що відкидаються, менша 5, то інші цифри числа, що залишаються, не змінюються; якщо більше 5, то остання цифра, що залишається, збільшується на одиницю. Наприклад, числа 48,628 і 345,673 треба округлити до десятої частки. У першому випадку це буде 48,6, а у другому – 345,7.

Якщо цифра старшого з розрядів, що відкидаються, більше або дорівнює 5, але за нею слідує цифри, які відрізняються від нуля, то остання цифра, що залишається, збільшується на одиницю. Наприклад, результат вимірювання – 52,856. Необхідно округлити його до десятої частки вимірюваної величини. Сотя частка – 5, а за нею цифра 6, яка відрізняється від нуля. Тому при округленні останню значущу цифру збільшуємо на одиницю: 52,9.

Якщо цифра, що відкидається, дорівнює 5, а наступні за нею цифри невідомі або нулі, то останню цифру, яка залишається, не змінюють, у випадку, коли вона парна, і збільшують на одиницю, коли вона непарна. Наприклад, результат вимірювання необхідно округлити до десятої частки вимірюваної величини. Якщо це число 43,250, то результат округлення – 43,2. Якщо це число 43,75, то результат округлення – 43,8.

Найбільший вплив на якість вимірювання мають систематичні та випадкові похибки. Тому важливо усвідомлювати їх можливе походження, методи виявлення і оцінювання в умовах практичного використання. Знання величини похибки дозволяє внести поправку у результат вимірювання і тим самим підвищити його точність.

Найкраще відпрацьовані методи виявлення похибок при **прямих вимірюваннях**.

Як уже відзначалося, причиною виникнення *систематичної похибки* може бути методика вимірювання, засіб вимірювання або сам експериментатор. Як впливає з означення, систематична похибка може бути постійною або змінюватися закономірно (прогнозовано).

Постійну систематичну похибку дуже важко виявити, оскільки вона, будучи постійною для даної групи спостережень, не виявляється візуально при повторних спостереженнях. Тому проблема виявлення таких систематичних похибок є чи не найскладнішою у боротьбі з ними.

Постійні систематичні похибки є інструментальними похибками і звичайно виявляються методом *перевірки засобів вимірювання* (детальніше див. п. 2.8). Перевірка проводиться шляхом порівняння показань приладу, що перевіряється, з показаннями точнішого (зразкового) засобу вимірювання. Перевірка проводиться згідно з вимогами нормативно-технічної документації, а її результат заноситься у паспорт засобу вимірювання. Постійна похибка Δ_n визначається як різниця показів приладу, що перевіряється, x_n і зразкового засобу вимірювання $x_{зр}$:

$$\Delta_n = x_n - x_{зр}. \quad (2.3)$$

Визначена таким чином систематична похибка вилучається з результатів вимірювання введенням поправки, яка дорівнює похибці, взятій з протилежним знаком ($-\Delta_n$). Тобто дійсний результат вимірювання x_0 знаходиться як

$$x_0 = x_n - \Delta_n. \quad (2.4)$$

Для визначення *змінної* систематичної похибки рекомендується побудувати графік зміни результатів вимірювання у послідовності, в якій вони були отримані. Загальна картина розташування точок

дозволяє зробити висновок про наявність (або відсутність) змінної похибки та оцінити закономірність її зміни під час вимірювань.

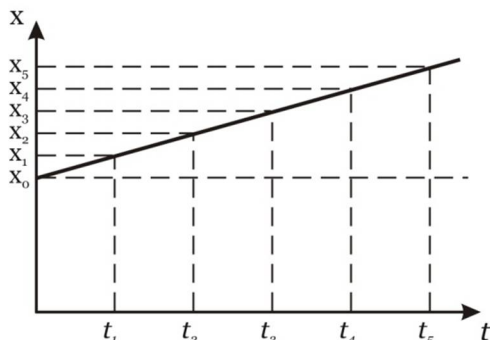


Рисунок 2.1 - Лінійна зміна спостережень x_i у часі t_i

Для виключення похибки треба взяти за графіком, що відображає закономірність зміни спостережень (рис. 2.1), два будь-яких спостереження, наприклад, x_1 і x_2 з відповідним фіксованим часом t_1 і t_2 ; тоді шукане дійсне значення величини буде

$$x_d = \frac{x_1 \cdot t_2 - x_2 \cdot t_1}{t_2 - t_1}. \quad (2.5)$$

У випадку, коли характер зміни систематичної похибки не є очевидним, рекомендується впевнитися, чи відповідає він лінійній залежності. Для цього застосовується метод симетричних спостережень. Декілька спостережень виконуються через рівні проміжки часу і потім розраховують середні арифметичні симетрично розташованих показів. Так, для спостережень, наведених на рис. 2.1, симетричними відносно показу $(x_3; t_3)$ середніми арифметичними будуть: $(x_1 + x_5)/2$ і $(x_2 + x_4)/2$. Якщо ці середньо арифметичні значення будуть рівні, то залежність має лінійний характер, і результат вимірювання визначається за формулою (2.5).

Якщо лінійний характер залежності не підтверджується, певної методики виявлення і оцінювання систематичної похибки немає. Тоді задача у кожному випадку вирішується індивідуально на підставі

застосованої методики вимірювання, і результат часто залежить від досвіду і кваліфікації експериментатора.

Виявити, оцінити та врахувати *випадкову похибку* значно важче, оскільки вона виникає як результат дії у момент експерименту багатьох непередбачуваних випадкових чинників, і сама є величиною випадковою. Тому у цьому випадку можна говорити лише про те, що дійсне значення фізичної величини лежить в інтервалі розкиду результатів вимірювання від x_{\min} до x_{\max} . Проте границі розкиду результатів вимірювання, а отже й що саме можна вважати випадковою похибкою, залежить від імовірності з'явлення того чи іншого значення змінної похибки. Тому аналіз випадкових похибок ґрунтується на розгляді результатів вимірювань і випадкових похибок як *випадкових величин*[3, 6].

Численними дослідженнями встановлено, що випадкові величини підлягають *закону нормального розподілу* (закону Гаусса, рис. 2.2).

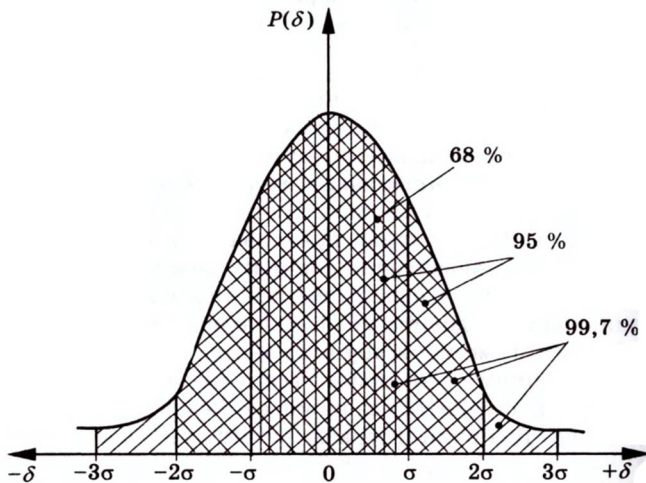


Рисунок 2.2 - Ступінь розсіювання похибок та довірчі ймовірності при нормальному законі розподілу

Згідно з цим законом центром розподілення випадкових величин є їх середнє значення. Появлення випадкових величин з меншими або більшими значеннями відносно центра розподілення є

рівномірним, і чим менше величина відхилення, тим більше ймовірність його появлення. Згідно з теорією ймовірності, якщо результат спостережень є сумою багатьох випадкових слабо пов'язаних між собою величин, кожна з яких вносить малий вклад у спільну суму величин, то при необмеженому збільшенні їх числа результат спостереження все більше наближається до нормального. Тобто, і розподіл випадкових похибок буде тим більше наближатися до нормального, чим більше спостережень бере участь в їх аналізі [8, 9].

За функцією розподілу ймовірностей та кількістю відхилень, виявлених при спостереженнях, можна визначити числову характеристику випадкових похибок при заданій ймовірності: довірчий інтервал.

Довірчими границями похибки вимірювання називаються верхня і нижня границі інтервалу, що накриває із заданою ймовірністю похибку вимірювання [5]. Іншими словами, довірчі границі випадкових похибок – це максимальна та мінімальна границі інтервалу, в який потрапляють похибки із заданою ймовірністю P , яка у цьому випадку називається *довірчою ймовірністю*. Інтервал з границями $\pm \delta_{dl}(P)$ називається *довірчим інтервалом*. Похибку поза довірчим інтервалом можна вважати незначущою.

Для оцінювання точності вимірювання та випадкових відхилень (похибок) результатів вимірювання необхідно задатися довірчою ймовірністю P і встановити границі довірчого інтервалу $\pm \delta_{dl}(P)$.

Різниця розмірів при спостереженнях називається *розсіюванням розмірів*. Основним параметром розсіювання згідно з законом нормального розподілу є *середнє квадратичне відхилення* σ .

Кількісно границі довірчого інтервалу розраховують на підставі середнє квадратичного відхилення результатів вимірювань σ_x . Середнє квадратичне відхилення характеризує *збіжність* результатів – ступінь їх концентрації відносно центра розподілення випадкових відхилень і розраховується за формулою:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (2.6)$$

де n – кількість вимірювань фізичної величини, що аналізується; δ_i – випадкове відхилення результату вимірювання x_i від середнє арифметичного значення вимірюваної величини \bar{x} (тобто $\delta_i = x_i - \bar{x}$).

У свою чергу середнє арифметичне значення вимірюваної величини знаходять як

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.7)$$

У таблиці 2.1 показано, яка величина розсіювання $\pm \sigma_x$ достатня для визначення прийнятних випадкових відхилень при обраній довірчій ймовірності P даного експерименту.

Таблиця 2.1 - Взаємозалежність ступеня розсіювання випадкової похибки і довірчої ймовірності

$\pm \sigma_x$	P
$\pm 1 \sigma_x$	0,68
$\pm 2 \sigma_x$	0,95
$\pm 3 \sigma_x$	0,997
$\pm 4 \sigma_x$	0,999

Як видно з таблиці, ступінь розсіювання $\pm 1 \sigma_x$ не відповідає високій точності вимірювань, оскільки 32% від загального числа вимірювань можуть вийти за границі довірчого інтервалу. При ступені розсіювання $\pm 4 \sigma_x$ лише 0,1% виходить за межі довірчого інтервалу. При звичайних технічних вимірюваннях, як правило, обирають довірчу ймовірність $P = 0,95 \dots 0,997$. Тому «критерій 3σ » найчастіше використовується для визначення грубої похибки як незначущої для даної виборки вимірювань [10].

Задаючись довірчою ймовірністю P , визначають границі довірчого інтервалу:

$$\delta_{di} = t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}, \quad (2.8)$$

де t_p – коефіцієнт Стюдента, який залежить від заданої довірчої ймовірності P та кількості вимірювань n у виборці (див. додаток А).

Результат прямого вимірювання при наявності випадкових похибок визначається як

$$x = \bar{X} \pm \delta_{di}. \quad (2.9)$$

Результатом *опосередкованого вимірювання* є величина, яку знаходять шляхом математичних дій двох і більше компонентів a_i , пов'язаних між собою різноманітними функціональними залежностями. Оскільки кожний з компонентів при прямому вимірюванні має певні похибки, то задача оцінювання похибки результату у цьому випадку зводиться до сумування похибок вимірювання компонентів. Проте внесок кожного з окремих компонентів у похибку результату залежить від їхнього взаємного функціонального зв'язку.

При лінійних опосередкованих вимірюваннях дійсний результат вимірювання у загальному вигляді знаходять як

$$x_d = \sum_{i=1}^n b_i \cdot a_i, \quad (2.10)$$

де b_i – постійні коефіцієнти при компонентах a_i .

Похибки вимірних компонентів можуть бути задані як своїми межами Δa_i , так і довірчими границями $\Delta a_i(P)$ при довірчій ймовірності P . При невеликій кількості компонентів (менше п'яти) оцінка похибки результату вимірювання Δx знаходиться як проста сума граничних похибок компонентів (без урахування знаку):

$$\Delta x = \sum_{i=1}^n \Delta a_i. \quad (2.11)$$

Проте така оцінка є завищеною, оскільки складові похибки мають максимальне значення і додаються незалежно від власного знаку при його визначенні. Реалістичнішу оцінку дає перехід до

статистичного сумування похибок компонентів. Вважаючи, що у заданих межах похибки компонентів розподілені рівномірно, довірчі границі похибки результату вимірювання розраховують за формулою:

$$\Delta x(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2 \cdot \Delta a_i^2}. \quad (2.12)$$

Якщо похибки компонентів вимірювання задані довірчими границями з однаковими довірчими ймовірностями, то, вважаючи розподілення цих похибок нормальним, довірчі границі результату вимірювання знаходяться за формулою:

$$\Delta x(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2 \cdot [\Delta a_i(P)]^2}. \quad (2.13)$$

При різних довірчих ймовірностях похибок компонентів їх необхідно привести до одного значення ймовірності P .

2.5 Математичне оброблення результатів вимірювання

У наукових дослідженнях і виробничій практиці для розв'язання різноманітних проблем використовують математичне оброблення результатів вимірювання.

Основна задача, яка розв'язується за допомогою математичної статистики, це отримання інформації про закономірності зміни ознаки, що вивчається, (у даному випадку – результатів вимірювання) для великої кількості об'єктів дослідження. У термінах математичної статистики це означає, що робляться висновки про властивості генеральної сукупності [6].

Генеральною сукупністю називається множина всіх об'єктів, які підлягають обстеженню за певною ознакою. Проте охопити *всю множину об'єктів* у реальному дослідженні практично неможливо. Аналізу і математичному обробленню піддається **вибіркова сукупність (вибірка)** – частина генеральної сукупності, яка відбиває основні її властивості і призначена для формування судження про всю генеральну сукупність.

Об'єктивну інформацію про вибірку сукупність достатньо великого розміру дає певна закономірність її розподілу. Найчастіше використовується нормальний закон розподілу сукупності. У цьому

випадку розподіл повністю визначається двома параметрами: середнім значенням і стандартними відхиленнями.

На практиці математичне оброблення результатів вимірювання найчастіше проводиться у двох напрямках: оброблення сукупності розсіяних результатів вимірювання і аналіз кореляції залежності між параметрами, що аналізуються.

Оброблення *сукупності рівнорозсіяних результатів вимірювання*, отриманих прямим спостереженням, проводиться з метою виявлення грубих помилок на основі закону нормального розподілу.

Результати *n* вимірювань фізичної величини x_i називаються *рівнорозсіяними*, якщо вони є незалежними, однаково розподіленими випадковими величинами. Розсіяні результати одержують при вимірюваннях, які проводяться одним або групою експериментаторів за допомогою однакових засобів вимірювання та у незмінному зовнішньому середовищі.

Статистичне оброблення зводиться до визначення границь довірчого інтервалу $\pm \delta_{di}$ при заданій довірчій ймовірності P та визначення грубої похибки як незначущої для даної виборки вимірювань за допомогою «критерію 3σ ».

Методика розрахунків фактично викладена у п. 2.4.

Даний метод аналізу може використовуватися у виробництві при контролі якості готових виробів. Зокрема, він дозволяє виявити браковані вироби – вироби, фактичні розміри яких відповідають виявленим грубим похибкам. Крім того, він дозволяє оцінити якість технологічного процесу, застосованого для виготовлення певної продукції. Наприклад, якщо отриманий довірчий інтервал відповідає заданій точності розмірів виробу (знаходиться у межах визначених конструкторською документацією допусків), то це означає, що технологічний процес виготовлення виробу забезпечує задану точність; якщо ні, то необхідно вжити заходи з удосконалення технологічного процесу.

Аналіз статистичної залежності між двома числовими змінними, між якими немає суворого функціонального зв'язку, називається

кореляційним аналізом. Його проводять у випадках, коли треба визначити показник, який свідчить про наявність або відсутність зв'язку між змінними. Ступінь залежності, або ступінь кореляційного зв'язку визначається *коефіцієнтом кореляції* r [6, 8]. Проте треба відзначити, що коефіцієнт кореляції – не ідеальний інструмент, він використовується лише у випадку, коли між змінними існує лінійна залежність типу $y = kx$.

Кореляційний аналіз ґрунтується на методі найменших квадратів. Згідно з ним сума квадратів відхилень величини y_i від величини kx_i має бути мінімальною.

Для проведення аналізу кореляційного зв'язку необхідно зробити n вимірювань вхідного параметра (аргумента) x_i та відповідного вихідного параметра (функції) y_i . Для аргумента x_i і аналогічно для функції y_i за формулою 2.7 знаходять середнє арифметичні значення відповідно величини \bar{x} і аналогічно - \bar{y} .

Далі для кожного вимірювання обчислюють випадкові відхилення результатів вимірювань:

$$\delta_{xi} = x_i - \bar{x}; \quad \delta_{yi} = y_i - \bar{y} \quad (2.14)$$

та їх квадрати δ_{xi}^2 та δ_{yi}^2 .

Коефіцієнт кореляції розраховується за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{xi} \cdot \delta_{yi}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{xi}^2 \cdot \sum_{i=1}^n \delta_{yi}^2}}. \quad (2.15)$$

Значення коефіцієнта кореляції r може змінюватися від -1 до $+1$. При додатній кореляції зі збільшенням значення параметра x_i значення параметра y_i збільшується, а при від'ємній – зменшується. При $r = 0$ кореляційний зв'язок відсутній. Якщо коефіцієнт кореляції близький до одиниці, то між параметрами існує функціональний зв'язок. Проміжні значення, які наближаються до нуля, указують на слабкий кореляційний зв'язок між x_i та y_i ; тобто поведінка вхідного

параметра x_i зовсім або майже не впливає на поведінку вихідного параметра y_i .

Визначення функціональної залежності та її ступені дозволяє виявити певні природні закономірності, можливий вплив того чи іншого фактора на результат праці, зміни встановлених раніше зв'язків у часі та ін. Зокрема, зменшення коефіцієнта кореляції при проведенні з часом декількох послідовних аналізів технологічного процесу свідчить про те, що в ньому виник певний недолік, і для запобігання браку треба вжити якісь заходи. Якщо лінійна залежність між параметрами відома заздалегідь (наприклад, згідно з певним фізичним законом), а коефіцієнт кореляції низький або знижується, то це свідчить або про недоліки роботи експериментатора, або про дефект засобу вимірювання.

2.6 Засоби вимірювання

Засоби вимірювання – технічні засоби, які використовуються при вимірюванні і мають нормовані метрологічні характеристики. З їх допомогою безпосередньо одержують результат вимірювання [5].

Засоби вимірювання мають такі основні складові елементи.

Чутливий елемент засобу вимірювання – частина першого у вимірювальному ланцюгу перетворювального елемента, який знаходиться під безпосередньою дією вимірюваного фізичного середовища. Приклад – індентор твердоміра або термopара при вимірюванні температури.

Перетворювальний елемент – елемент засобу вимірювання, в якому відбувається одне з низки послідовних перетворень вимірюваної величини. Приклад – рейковий механізм індикатора для вимірювання змін лінійних розмірів.

Вимірювальний елемент – частина конструкції засобу вимірювання, що складається з елементів, взаємодія яких викликає їх взаємне переміщення. Приклад – вимірювальний механізм вольтметра, складовими елементами якого є постійний магніт, деталі магнітопроводу та рухома рамка з пружинками.

Відліковий елемент – частина конструкції засобу вимірювання, призначена для відтворення значення вимірюваної величини. Він може бути показувальним і реєструвальним.

Показувальний елемент подає візуальний сигнал вимірювальної інформації. Приклад – шкала і стрілка амперметра, дисплей електронного годинника тощо. Реєструвальний елемент реєструє на носії сигнал вимірювальної інформації. Приклад – перо або олівець на паперовій стрічці, струмінь або лазерний промінь принтера тощо.

Всі засоби вимірювання мають метрологічні характеристики, пов'язані з певними їхніми конструктивними елементами (рис. 2.3).

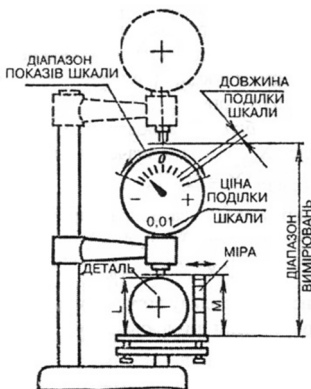


Рисунок 2.3 - Основні метрологічні характеристики засобів вимірювання

Основною частиною відлікового елемента засобу вимірювання є **шкала** у вигляді матеріальної планки або світлового показчика (дисплея). Шкала має сукупність відміток (поділок) і проставлених біля деяких з них чисел відліку, що відповідають низці послідовних значень вимірюваної величини [5, 8, 10].

Кожен засіб вимірювання має свій **діапазон вимірювання** – область значень величин, що вимірюються з допустимими похибками приладу. Наприклад, для штангенциркуля він може становити від 0 до 125 або до 250 мм.

Шкала засобу вимірювання має фізично обмежені розміри, тому характеризується діапазоном показів шкали. **Діапазон показів шкали** – область значень шкали приладу, обмежена початковим і кінцевим значеннями шкали. **Початкове** і **кінцеве значення** шкали – це найменше і найбільше значення вимірюваної величин, визначене на

шкалі. Діапазон показів шкали може не співпадати з діапазоном вимірювань.

Відлік числового значення фізичної величини можна здійснювати, якщо шкала має поділки, обмежені того чи іншого типу позначками (відмітками). **Поділка шкали** – частина шкали між двома сусідніми позначками. Відстань між осями (центрами) двох сусідніх позначок шкали, яка вимірюється уздовж уявної лінії, що проходить через середини найкоротших позначок шкали, називається **довжиною поділки шкали**. Її кількісною характеристикою є **ціна поділки шкали** – найменше значення вимірюваної величини, яке відповідає одній поділці.

Відлік показів засобу вимірювання у загальному випадку виконують згідно з формулою:

$$L = M + \sum_{i=1}^n n_k \cdot i_k + m_{k+1} \cdot i_{k+1}, \quad (2.16)$$

де L – значення відліку; M – розмір міри, за якою відліковий пристрій засобу вимірювання встановлено на нуль; n_k – число цілих поділок, яке підраховується по шкалі відлікового пристрою; i_k – ціна k -ої поділки шкали; k – номер останньої цілої поділки шкали; m_{k+1} – частка $(k+1)$ -ої поділки шкали з найменшою ціною поділки, оцінена візуально; i_{k+1} – ціна $(k+1)$ -ої поділки шкали.

Якість засобу вимірювання характеризується наступними показниками [5].

Точність засобу вимірювання називається характеристика засобу вимірювання, яка визначає близькість його показів до істинного значення вимірюваної величини, тобто близькістю до нуля всіх його похибок. Точність засобу вимірювання, як правило, указується у його паспорті. Проте вона не обов'язково означає точність вимірювання, оскільки остання залежить також від методу вимірювання і умов його виконання.

Чутливість засобу вимірювання характеризується відношенням зміни вихідної величини вимірювального приладу Δx (у мм, поділках, градусах і т.п.) до зміни вхідної величини ΔX , що її викликає (у відповідних одиницях):

$$S = \Delta x / \Delta X. \quad (2.17)$$

Поріг чутливості засобу вимірювання – найменше значення вимірюваної величини, яке може бути виявлене засобом вимірювання. Якщо вимірювана величина змінилася дещо менше порогу, експериментатор може її не помітити (наприклад, стрілка приладу залишиться нерухомою). Але така незмінність може бути позірною: прилад змінить показ (стрілка пересунеться), але ми його не побачимо неозброєним оком. Але, застосувавши, наприклад, лупу, таку зміну можна помітити. Це означає, що за допомогою додаткових засобів (наприклад, лупи, інструментального мікроскопа та ін.) можна зменшити поріг чутливості.

Стабільність засобу вимірювання – це здатність засобу вимірювання зберігати свої метрологічні характеристики в заданих границях протягом заданого інтервалу часу.

Надійність засобу вимірювання характеризується збереженням безвідмовної роботи протягом достатньо тривалого часу. Надійність характеризується такими показниками, як час безвідмовної роботи, загальним терміном роботи, напрацювання на відмову та ін.

За метрологічними ознаками засоби вимірювання поділяються на такі групи: еталони, зразкові і робочі (виробничі) засоби вимірювання [5, 6, 8, 10].

Еталон – це засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення та (або) зберігання одиниці фізичної величини та передавання її розміру відповідним засобам, що стоять нижче за повірочною схемою, і офіційно затверджений як еталон [5].

Еталони становлять особливу групу засобів вимірювання. Мета їх використання – передача розміру фізичної одиниці зразковим, а від них – робочим засобам вимірювання.

Якщо еталон забезпечує зберігання та відтворення одиниці фізичної величини з найвищою в країні точністю, то він називається *первинним*.

Первинні еталони основних одиниць відтворюють одиницю відповідно до її визначення. Наприклад, за означенням, прийнятим Резолюцією 1 XVII-ї Генеральної конференції з мір і ваг 1983 року, один метр дорівнює довжині шляху, який проходить у вакуумі світло

за 1/299 792 458 частку секунди. Визначене через швидкість світла значення первинного еталону метра може бути відтворене у будь-якій лабораторії світу за допомогою гелій-неонового лазера.

Первинний еталон, затверджений офіційно як вихідний для країни, називається *державним*. Державні еталони затверджуються уповноваженим державним органом країни, і на кожний з них розробляється стандарт. Державні еталони зберігаються у метрологічних інститутах та інших органах державної метрологічної служби країни.

Посідання власними еталонами та їх зберігання є дуже коштовною, але й дуже важливою справою для країни. Воно дозволяє у багатьох випадках роботи метрологічних органів уникнути залежності від міжнародних організацій.

У метрологічній практиці використовуються *вторинні еталони*, яким передається розмір одиниці фізичної величини від первинного еталона. Вони створюються і затверджуються у тих випадках, коли це необхідне для організації повірочних робіт або збереження і запобігання зношуванню державного еталону. Вторинні еталони можуть використовуватися як комплекси засобів вимірювання: поодинокі еталони, групові еталони та еталонні набори.

Вторинний еталон, призначений для збереження одиниці фізичної одиниці та передачі її розміру зразковим засобом вимірювання найвищої точності, називається *робочим еталон*ом. Наприклад, вторинним еталон

ом одиниці маси «кілограм» є платино-іридієва гиря відповідної маси, а робочий еталон кілограму виготовляється з нержавіючої сталі.

Передача одиниці фізичної величини здійснюється згідно з *повірочною схемою* [5] - нормативним документом, що регламентує метрологічну підпорядкованість засобів вимірювання, які беруть участь у передаванні розміру одиниці фізичної величини від еталону або вихідного зразкового засобу вимірювання до інших засобів вимірювання зі встановленням методів і похибок передавання.

Крім національних еталонів одиниць фізичних величин існують міжнародні еталони, які зберігаються у Міжнародному бюро мір і ваг. Програмою діяльності Міжнародного бюро передбачені систематичні міжнародні звіряння національних еталонів найбільших метрологічних лабораторій різних країн з міжнародними еталонами та між собою.

Зразкові засоби вимірювання служать для повірки по ним інших засобів вимірювання, меншої точності та затверджений як зразковий. Всі зразкові засоби вимірювання є засобами повірки. На зразкові засоби вимірювання видаються свідоцтва з вказаними метрологічними характеристиками та розрядом за повірочною схемою. Усі зразкові засоби вимірювання у свою чергу підлягають обов'язковій повірці у терміни, визначені відповідними державними органами. Зразкові засоби вимірювання зберігаються у метрологічних інститутах, лабораторіях державної та відомчої метрологічної служби.

Робочі засоби вимірювання призначені для визначення параметрів (характеристик, розмірів) виробів, технічних пристроїв, технологічних процесів, довкілля та ін., необхідних безпосередньо у різноманітній діяльності людини. Поділ засобів вимірювання на зразкові та робочі полягає найчастіше не у конструкції, а в їхньому призначенні. Лише небагато зразкових засобів вимірювання за конструкцією та деякими метрологічними характеристиками відрізняються від робочих. Принципово один і той же засіб вимірювання може використовуватися і як робочий, і як зразковий. Проте, якщо засоби вимірювання призначаються для використання як зразкові, вони ставляться в особливе положення, ізолюються від інших засобів вимірювання, крім призначених для повірки та градування. До роботи на них допускаються спеціально визначені особи високої кваліфікації.

Засоби вимірювання загалом класифікуються за різноманітними ознаками.

За призначенням засоби вимірювання можуть використовуватися для вимірювання лінійних і кутових розмірів (лінійка, мікромметр, курвіметр; кутомір), маси і сили (ваги технічні та лабораторні; динамометри), тиску (манометри), температури (термометри, термомпари, термофарби), часу (секундоміри, годинники, хронометри), електричних величин (амперметри, вольтметри), швидкості руху (спідометри; анемометри) та ін.

За характером використання засоби вимірювання можуть бути стаціонарні (наприклад, щитові засоби вимірювання) і переносні (корабельні, літакові, індивідуального використання).

За видом енергії, що використовується, засоби вимірювання можуть бути механічними, пневматичними, електричними, гідравлічними та ін.

За принципом дії засоби вимірювання можуть бути приладами прямої дії і порівняння. Прилади прямої дії відображають вимірювану величину на відліковому елементі пристрою, який має шкалу, градуйовану безпосередньо в одиницях, що вимірюються (наприклад, термометр, вольтметр). Прилади порівняння призначаються для порівняння вимірюваної величини з величинами, значення яких відомі. Такі прилади використовуються на практиці та у наукових цілях для вимірювання деяких електричних величин (наприклад, вимірювальний міст Уїнстона для вимірювання електричного опору), тиску повітря тощо.

За способом подання інформації засоби вимірювання поділяються на аналогові і цифрові.

Аналогові засоби вимірювання – прилади прямого вимірювання. Їхні покази змінюються безперервно зі зміною стану фізичної величини, що вимірюється. Прикладом таких приладів можуть бути термометри або прилади, відліковий елемент яких складається зі шкали і стрілки. Перевагою аналогових засоби вимірювання є безперервність і точна відповідність показів, але часто можуть виникнути помилки, пов'язані зі зчитуванням показів експериментатором.

Особливість цифрових вимірювальних приладів полягає у тому, що результат вимірювання відбивається на відліковому елементі пристрою у вигляді числа, як правило, десяткового, або символів. Це забезпечує зручність відліку і, головне, усуває суб'єктивні помилки експериментатора. Але зміна показів відбувається дискретно, тобто безперервність контролю за зміною стану фізичної величини відсутня.

За конструкцією засоби вимірювання поділяються на міри, вимірювальні прилади, вимірювальні установки, вимірювальні системи і вимірювальні перетворювачі [9, 10].

Міра – засіб вимірювання, який служить для відтворення фізичної величини одного або декількох розмірів з необхідною точністю. На практиці використовують однозначні і багатозначні міри, а також набори мір. Однозначна міра відтворює фізичну величину одного розміру. Наприклад, плоскопаралельна кінцева міра довжини, міра маси (гиря), кварцовий генератор (певної частоти).

Багатозначна міра відтворює низку однойменних величин різного розміру, наприклад, штрихова міра довжини або кутова міра (багатогранна призма). Комплект мір, що використовується не лише самостійно, але й у різних поєднаннях з метою відтворення низки однойменних величини різного розміру, називається набором мір. Прикладом таких наборів можуть бути набори плоскопаралельних кінцевих мір довжини або набори гир.

Міри характеризуються номінальним і дійсним значенням. *Номінальне значення* міри – це значення величини, яке вказане на мірі або приписане їй, а *дійсне значення* – це фактичне значення величини, що відтворюється мірою. Дійсне значення зазначається у спеціальному свідченні як результат високоточного вимірювання з використанням офіційного еталону.

При вимірюваннях з використанням мір фізичні величини, що вимірюються, порівнюють з відомими значеннями величин, представленими мірами.

Вимірювальний прилад – це засіб вимірювання, призначений для вироблення сигналу вимірюваної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття експериментатором. Такий прилад може становити сукупність декількох перетворювачів і обов'язково мати відліковий елемент.

За способом утворення показів останній може бути показувальним або реєструвальним. *Показувальний елемент* має відліковий пристрій у вигляді шкали або дисплея з цифровим відліком (наприклад, вольтметр, твердомір, ваги). *Реєструвальний елемент* містить механізм, який реєструє покази на рухомій паперовій стрічці або на електронному носії (наприклад, параметри польоту літака у «чорній скриньці»).

За призначенням вимірювальні прилади поділяються на *універсальні*, що призначені для вимірювання однакових фізичних величин різних об'єктів (наприклад, штангенциркуль, мікрометр), та *спеціалізовані*, які служать для вимірювання параметрів однотипних виробів (наприклад, розмірів елементів зубчастих коліс) або одного параметра різних виробів (наприклад, твердості, шорсткості).

Вимірювальна установка – це сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювання (мір, вимірювальних приладів та перетворювачів), призначених для вимірювання однієї або декількох фізичних величин об'єкта вимірювання або для перевірки інших засобів

вимірювання і розташованих в одному місці. Вимірювальна установка випрацьовує сигнал вимірюваної інформації у формі, зручній для експериментатора. Вона універсальніша за вищезазначені засоби вимірювання, дозволяє вимірювати більшу кількість величин одночасно і обробляти широку номенклатуру виробів. Приклад: установка для вимірювання питомого електричного опору електротехнічних матеріалів.

Вимірювальна система – це сукупність засобів вимірювання, засобів контролю, діагностування та допоміжних пристроїв, об'єднаних між собою каналами зв'язку і призначених для вироблення сигналу інформації у формі, зручній для передачі й використання в автоматичних системах керування, регулювання, діагностування і т.п. Система може мати декілька чутливих елементів, розташованих у різних точках контролюваного об'єкту з метою одночасного вимірювання однієї або декількох фізичних величин, властивих цьому об'єкту.

Звичайно такі системи автоматизовані, функціонально пов'язані з обчислювальними системами, забезпечують введення інформації безпосередньо в автоматичні системи керування (регулювання) технологічними процесами і одночасно відображують результати вимірювання у формі, зручній для сприйняття їх експериментатором.

Вимірювальний перетворювач – це засіб вимірювання, який реалізує перетворення сигналу вимірюваної інформації у форму, зручну для оброблення, збереження або подальшого передавання. Вимірювальні перетворювачі або входять конструктивно у склад вимірювального приладу, або застосовуються разом з ним. При цьому спостерігач не може сприймати оброблюваний сигнал інформації, але інформація постійно передається у пам'ять комп'ютера, підсилювача сигналу або в інші компоненти вимірювального приладу. Вимірювальні перетворювачі різноманітні за конструкцією, але всі мають нормовані метрологічні характеристики. До вимірювальних перетворювачів відносяться термометри, вимірювальні трансформатори струму і напруги, вимірювальні підсилювачі і т.п.

Вибір засобу вимірювання здійснюється на підставі його метрологічних характеристик, конструктивних особливостей і розмірів об'єктів вимірювання, організаційних умов вимірювання, потрібної продуктивності праці вимірювального обладнання, а також

економічних міркувань. Важливе значення має правильний вибір засобу вимірювання з допустимим у даному випадку максимумом його похибок. Адже недостатня точність засобу вимірювання призводить до зниження якості продукції, збільшення її собівартості та до збільшення загальних витрат на виробництво.

Вибір засобу вимірювання проводиться у відповідності з державними стандартами, які встановлюють допустиму похибку засобу вимірювання у залежності від вимог до граничних відхилень контрольованого параметра.

2.7 Похибки засобів вимірювання

Засіб вимірювання – інструмент більшої або меншої складності. Під час його експлуатації можуть проявитися багато факторів, які впливатимуть на результат вимірювання. Вони пов'язані головним чином з конструкцією засобу вимірювання (наприклад, градування шкали, взаємодія елементів приладу під час вимірювання, їх поступове зношування і т.п.) і впливом на нього зовнішнього середовища. Тобто покази засобу вимірювання можуть відрізнитися від дійсного значення вимірюваної величини. Такі відхилення називаються *похибками засобів вимірювання* [5, 8] Розрізняються похибки абсолютні, відносні, зведені тощо.

Значення похибок засобів вимірювання встановлюються відповідно до стандартів при нормальних умовах експлуатації. Під *нормальними умовами* експлуатації розуміють такі умови використання засобів вимірювання, при яких чинники, що можуть вплинути на процес вимірювання (температура, вологість, тиск, частота і напруга в електричній мережі, зовнішні магнітні поля, вібрація тощо), мають значення, установлені стандартами. Останні вказуються у технічних умовах для відповідних засобів вимірювання. Так, у нормальних умовах температура повинна становити $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$; тиск – 101325 Па ; вологість – не більше 80%; напруга – $220 \pm 10\text{В}$ та ін.

Абсолютною похибкою засобу вимірювання називається різниця між показом засобу вимірювання та дійсним значенням вимірюваної величини за умови *відсутності методичних похибок і похибок від взаємодії засобу вимірювання з об'єктом вимірювання*. На практиці вона фактично співпадає з абсолютною похибкою вимірювання Δ і визначається за формулою 2.1.

Для засобу вимірювання більш показовою є відносна похибка. **Відносною похибкою засобу вимірювання** називається відношення абсолютної похибки засобу вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини, виражене у відсотках (δ_x за формулою 2.2).

Важливою характеристикою засобу вимірювання є зведена похибка. **Зведеною похибкою засобу вимірювання γ** називається відношення абсолютної похибки засобу вимірювання Δ до певної нормувальної характеристики приладу N :

$$\gamma = (\Delta / N) \cdot 100\%. \quad (2.18)$$

За нормувальне значення, характерне для даного засобу вимірювання, найчастіше приймають верхній поріг вимірювання: кінцеве значення діапазону вимірювань або іншу градуювальну характеристику. Наприклад, вольтметр зі шкалою на 150 В вимірює напругу в електричній мережі. Прилад показує 100 В, а дійсне значення напруги становить 100,6 В. У такому випадку зведена похибка становить $\gamma = 0,4\%$. Для зменшення зведеної похибки треба вибирати засоби вимірювання таким чином, щоб вимірювана величина відповідала більшій частині нормувальної характеристики приладу.

Конструктивні особливості засобу вимірювання є головною причиною систематичних похибок (див. п. 2.4). Систематичні похибки, пов'язані із засобом вимірювання, називаються **технологічними похибками**. Вони індивідуальні для кожного засобу вимірювання і при вимірюванні певної фізичної величини різними приладами повинні враховуватися окремо для кожного з них.

Треба пам'ятати, що характеристики елементів засобів вимірювання змінюються у процесі експлуатації. Це може бути вплив часу або екстремальних умов експлуатації, агресивного середовища тощо. Зокрема, властивості матеріалу окремих елементів можуть змінюватися за рахунок старіння, деякі деталі зношуються за час експлуатації або змінюють свою форму і розміри під дією температури, корозії та інших чинників.

Як уже згадувалося, технологічні похибки засобів вимірювання виявляються під час повірок, і при вимірюванні враховуються як поправки з протилежним знаком.

2.8 Повірка засобів вимірювання

Всі засоби вимірювання періодично проходять перевірку на відповідність чинним вимогам з точності, стабільності, надійності та ін. Існує система державного і відомчого метрологічного нагляду за засобами вимірювання. Система метрологічного нагляду – це комплекс правил, положень, вимог технічного, економічного і правового характеру, які визначають організацію і порядок проведення повірки, ревізії та експертизи засобів вимірювання. Всі вони проводяться відповідно до законодавчих установлень і поширюються на всі засоби вимірювальної техніки, які перебувають в експлуатації в Україні.

Повірка засобів вимірювання – це визначення похибок засобів вимірювання і встановлення їх придатності до застосування [5]. Вона полягає у порівнянні показів засобів вимірювання, що повіряються, з показами точніших (зразкових, еталонних) засобів вимірювання. Повірка виконується метрологічним органом з метою визначення відповідності точностних характеристик засобів вимірювання регламентованим значенням [6, 8].

За призначенням повірки можуть бути первинними, періодичними, інспекційними, позачерговими, експертними та ін.

Первинна повірка засобів вимірювання – повірка, яка виконується вперше після виготовлення засобів вимірювання або після їх ремонту чи за умов імпортованих поставок партії засобів вимірювання.

Періодична повірка засобів вимірювання проводиться протягом експлуатації засобів вимірювання через встановлений проміжок часу (міжповірочний інтервал). Проводиться з метою підтримування їх придатності для подальшої експлуатації.

Інспекційну повірку засобів вимірювання проводять органи державного нагляду з метою виявлення метрологічних недоліків у засобах вимірювання, що перебувають в експлуатації, на складах і базах постачання.

Позачергова повірка виконується до терміну чергової періодичної повірки. Може проводитися після тривалого зберігання або при пошкодженні повірочних тавра, пломби чи при втраті документів з метою встановлення їх придатності для експлуатації.

Експертну повірку проводять органи державної метрологічної служби при метрологічній експертизі засобів вимірювання на вимогу

суду, прокуратури, держарбітражу та ін., коли виникають спірні питання.

За методикою проведення повірки розрізняють повірки комплектні, поелементні, із застосуванням необхідних засобів порівняння.

Комплектна повірка - це повірка засобу вимірювання, під час якої його метрологічні характеристики визначають як для єдиного цілого без визначення метрологічних характеристик його окремих частин.

Поелементною повіркою називають повірку засобу вимірювання, під час якої метрологічні характеристики засобу вимірювання визначають за метрологічними характеристиками його окремих елементів. Поелементну повірку застосовують у тих випадках, коли комплектна повірка цього засобу вимірювання дуже трудомістка або виникають труднощі з підбором зразкових мір для повірки або коли закономірності взаємодії всіх елементів засобу вимірювання точно відомі, а можливість сторонніх впливів на його покази виключена.

Повірка шляхом безпосереднього зіставлення проводиться методом зіставлення показів двох засобів вимірювання – зразкового і того, що повіряється. Безпосередньо порівнюють штрихові міри довжини (лінійки, рулетки), міри ємності (вимірювальні циліндри, бюретки, мірні колби і т.п.). Безпосереднє зіставлення застосовується, як правило, для не дуже точних засобів вимірювання.

Повірка мір за допомогою приладів порівняння (компараторів) проводиться, наприклад, за допомогою зразкових ваг різних класів точності при повірці гир, мостів постійного або змінного струму для вимірювання мір опору, ємності і т.п.

Повірка засобів вимірювання за зразковими мірами зводиться до вимірювання зразкової міри приладом, що повіряється. Наприклад, штангенциркулем вимірюють зразкову кінцеву міру. Різниця між показом штангенциркуля та величиною зразкової міри визначає його похибку.

Однією з важливих форм метрологічного нагляду за засобами вимірювання є метрологічна ревізія підприємств, які виготовляють, ремонтують, експлуатують, зберігають або торгують засобами вимірювання.

Метрологічна ревізія полягає у повірці стану засобів вимірювання, у контролі за виконанням правил їхньої повірки підприємством та відповідних нормативів органами державної метрологічної служби. Метрологічна ревізія як форма контролю за збереженням єдності вимірювань охоплює не лише засоби вимірювання, а й контролює правильність документального їх відображення.

Результати метрологічної ревізії оформляються актом, у який заносять фактичні результати повірки, зауваження, пропозиції щодо заміни засобів вимірювання, а також пропозиції стосовно усунення недоліків і термінів їх виконання.

При суперечливих результатах метрологічної ревізії або на письмову вимогу органів суду, прокуратури, арбітражу або міліції призначається **метрологічна експертиза**, яка дає кінцеву оцінку прийнятих у документації технічних рішень та висновків щодо реалізації метрологічних норм і правил. Як правило, проводиться також метрологічна експертиза відповідної технічної документації.

Повірку можуть здійснювати тільки ті органи, які акредитовані Держспоживінспекцією України: головні державні і територіальні метрологічні органи, метрологічні служби підприємств та організацій, повірочні лабораторії метрологічних служб, повірочні лабораторії закордонних виробників, які імпортують свої вироби в Україну і т.п.

Держспоживінспекція може делегувати право проведення акредитації підпорядкованим територіальним метрологічним органам. Фахівці територіальних органів, які проводять державну повірку засобів вимірювання, повинні бути атестовані і володіти статусом повірника згідно з встановленою державною процедурою.

Повірки проводяться у терміни, визначені спеціальними графіками. Результати повірок записуються у паспорти (атестати) вимірювальних інструментів і приладів.

Позитивні результати повірки можуть закріплюватися повірочним тавром – знаком встановленої форми, що наносять на засоби вимірювальної техніки, які визнані придатними для застосування за результатами їх повірки.

3 СИСТЕМА ДОПУСКІВ І ПОСАДОК

3.1 Точність виготовлення деталей машин, її характеристики

В умовах сучасного серійного виробництва підприємству доводиться виготовляти або купувати велику кількість однотипних деталей, які потім використовуються при складанні вузлів, приладів, та інших різноманітних машин і механізмів. Запорукою зручного, якісного і швидкого складання є можливість використання будь-якої з партії виготовлених деталей без додаткової підготовки чи оброблення. Така їхня властивість називається взаємозамінністю.

Під взаємозамінністю розуміють властивість незалежно виготовлених деталей і вузлів, що сполучаються при складанні, займати своє положення без додаткових операцій регулювання або припасування. Взаємозамінність ґрунтується на виготовленні деталей із заданим ступенем точності.

Номінальний розмір деталі визначається конструктором, виходячи з розрахунку на міцність, жорсткість або виходячи з інших показників згідно з функціональним призначенням деталі. Він зафіксований у технічній документації на деталь. Виготовити всі деталі партії одного точного розміру неможливо. Залежно від передбаченого для деталі класу точності допускаються певні відхилення від розміру, визначеного конструктором. Вони у свою чергу визначають граничні розміри (максимальний і мінімальний) деталей у партії, що виготовляється. Діапазон між максимальними і мінімальними граничними розмірами деталей у партії утворює поле допустимих відхилень розмірів, або допуск на номінальний розмір деталі.

Терміни, визначення числових значень і позначення допусків і посадок установлює система стандартів «Єдина система допусків та посадок» (ЄСДП). Основні терміни та визначення з'єднань та їх елементів наведено у ДСТУ 2500-94 [11]. Стандарт ДСТУ ISO 286-1-2002 [12] наводить основи системи допусків і посадок, узгоджені з ISO, разом з розрахованими значеннями стандартних допусків і основних відхилів.

Обидва стандарти представляють всесвітньо прийнятну систему допусків і посадок. Для спрощення у них розглянуті лише терміни, допуски і відхили циліндричних деталей круглого перерізу. Але на цих термінах базуються поняття про допуски та посадки не тільки

гладких елементів (циліндричних і обмежених паралельними площинами), а й будь-яких інших (конічних, різбових тощо).

Згідно зі стандартом **розміром** називається числове значення лінійної величини (діаметра, довжини тощо) у вибраних одиницях вимірювання. У машинобудуванні розміри деталей задаються у міліметрах [9, 12, 23]

На практиці розрізняють розміри валу і отвору. Термін **вал** застосовується для позначення всіх *зовнішніх* елементів деталей, включаючи і нециліндричні елементи, а термін **отвір** – аналогічно для позначення відповідно *внутрішніх* елементів деталей. Іншими словами, під терміном «вал» розуміють будь-яку поверхню, яка у сполученні охоплюється іншою, а під терміном «отвір» – поверхня, яка охоплює сполучену з нею поверхню (наприклад, вал і підшипник ковзання, шпонка і паз, в який вона входить).

Лінія, що на кресленні відповідає номінальному значенню розміру, називається **нульовою**. Якщо нульова лінія розташована горизонтально, то додатні відхилення відкладаються вверх від неї, а від’ємні – вниз (рис. 3.1).

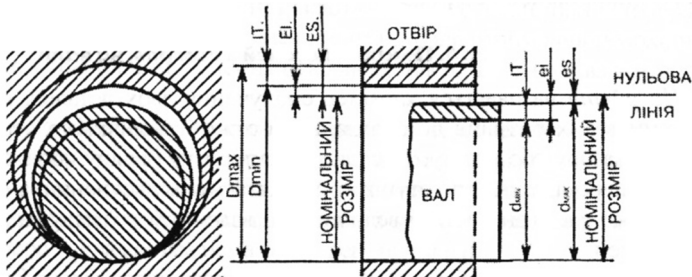


Рисунок 3.1 - Розташування допусків і граничних відхилень отвору і валу відносно нульової лінії

Точність виготовлення визначається допуском на номінальний розмір. **Стандартним допуском IT** (International Toleranz) називається різниця між найбільшим D_{max} і найменшим D_{min} граничними розмірами, встановленими чинною системою стандартів допусків і посадок:

$$IT = D_{\max} - D_{\min}. \quad (3.1)$$

Величина допуску залежить від номінального розміру деталі і міри її точності – квалітету. **Квалітетом** називається сукупність допусків, що розглядаються як відповідні одному рівню точності для всіх номінальних розмірів. Стандартом установлені квалітети 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, ... 17, 18. Найбільшій точності відповідають квалітети 01, 0; найменшій – 17, 18. Найточніші квалітети (01, 0, 1, 2, 3, 4), як правило, застосовуються при виготовленні зразкових мір і калібрів. Квалітети від 5-го до 11-го застосовуються для сполучуваних елементів деталей, а квалітети від 12-го до 18-го – для не сполучуваних [9, 11, 23].

Допуск **IT** розраховується за формулою

$$IT = k \cdot i, \quad (3.2)$$

де k – кількість одиниць допуску, установлена для кожного квалітету, i – одиниця допуску, яка залежить лише від розміру (додаток Б).

На кресленнях та інших технічних документах прийнято наводити один спільний розмір для вала та отвору – номінальний розмір D – і вказувати граничні відхилення від нього. **Граничні відхилення** – це алгебраїчна різниця між гранично допустимими і номінальними розмірами. Згідно зі стандартами у таблицях і текстах граничні відхилення та інші позначення для отворів пишуться великими латинськими буквами, а для валів – малими.

Верхнє відхилення ES, es становить алгебраїчну різницю між найбільшим граничним і відповідним номінальним розмірами:

$$ES = D_{\max} - D; \quad es = d_{\max} - D. \quad (3.3)$$

Нижнє відхилення EI, ei знаходиться як алгебраїчна різниця між найменшим граничним і відповідним номінальним розмірами:

$$EI = D_{\min} - D; \quad ei = d_{\min} - D. \quad (3.4)$$

Позначення ES, EI відносяться до граничних віхилень отвору, а es, ei – до відповідних відхилень валу.

Скорочено допуск за визначеним квалітетом позначається сполученням великих латинських літер **IT** з порядковим номером квалітету. Наприклад, **IT9** означає допуск за дев'ятим квалітетом.

Для певних квалітетів та в інтервалі більшості номінальних розмірів значення допуску є постійним для розмірів будь-яких елементів (валів, отворів, пазів, уступів тощо) і у будь-яких полях допусків. Іншою особливістю допусків за системою ЄСДП є те, що, починаючи з п'ятого квалітету, допуск під час переходу до наступного, грубішого квалітету збільшується на 60%. Тобто через кожні п'ять квалітетів допуск збільшується приблизно у 10 разів.

Числові значення допусків (граничних відхилень) для різних, основних відхилень і квалітетів наведені у ДСТУ ISO 286-2-2002 [13].

Допуск є мірою точності розміру. Чим точнішою має бути деталь, тим меншими допускаються відхилення від визначеного номінального розміру. Допуск безпосередньо впливає на трудомісткість виготовлення і собівартість деталей. Оскільки кожний наявний метод оброблення може дати свою досягну точність виготовлення, визначений конструктором квалітет точності певного розміру поверхні дозволяє орієнтовно обрати спосіб її оброблення.

При виборі (призначенні) квалітетів необхідно враховувати низку чинників.

Техніко-економічні чинники. Вищі квалітети підвищують якість виробу, але це ускладнює процес виготовлення і різко збільшує вартість виробів. Тому потрібно призначати таку точність, яка при найменших витратах забезпечить задану працездатність.

Технологічні можливості досягнення заданої точності. Можливість досягнення заданої точності залежить від наявних у виробника технологій, обладнання та його стану.

Середній рівень точності, який забезпечує працездатність виробу за заданих умов експлуатації. Він визначається за досвідом виготовлення і експлуатації подібних виробів.

Можливість перевірки наміченої точності розмірів. Для цього потрібно, щоб досяжна точність наявних засобів вимірювання відповідала необхідній точності виготовлення виробу.

3.2 Шорсткість поверхонь

Поряд з точністю шорсткість поверхні виготовленої деталі дуже важлива з точки зору забезпечення тривалої і надійної її експлуатації.

Основні терміни, визначення понять та інші характеристики структури поверхонь визначаються ДСТУ ISO 4287:2012 [14].

Шорсткість поверхні – це сукупність мікронерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділена за допомогою базової довжини. Графічне зображення реального профілю, отримане у площині, перпендикулярній до поверхні під час вимірювання шорсткості, називається *профілограмою* (рис. 3.2).

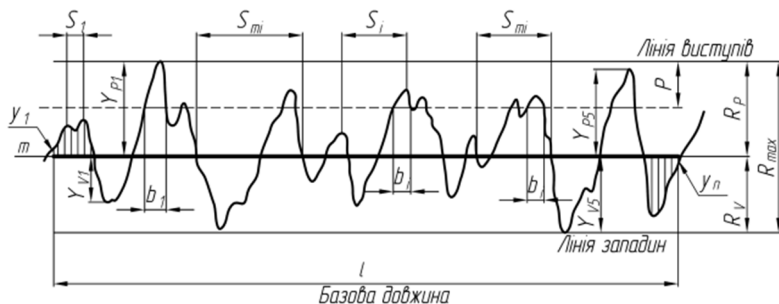


Рисунок 3.2 – Профілограма та основні параметри шорсткості поверхні

Профілограма відображає стан базової поверхні. **Базова поверхня** має форму номінальної поверхні, а її положення відповідає загальному напрямку реальної поверхні у просторі.

Аналіз шорсткості поверхонь базується на системі середньої лінії профілю - системі відліку, основою якою для оцінювання параметрів шорсткості поверхні вибрана середня лінія профілю.

Середня лінія профілю m – базова лінія, яка має форму номінального профілю та ділить реальний профіль так, що в межах базової довжини сума квадратів відхилень профілю від цієї лінії є мінімальна (рис. 3.2). Профілограму розглядають на середній лінії профілю на ділянці базової довжини l .

Базова довжина l - довжина середньої лінії профілю, що використовується для відокремлення нерівностей, які характеризують шорсткість поверхні.

На профілограмі відхилення профілю від середньої лінії розглядаються як виступи і западини. **Виступом профілю** називається частина реального профілю, що з'єднує дві сусідні точки перерізу його середньою лінією профілю і направлена *із тіла*. **Западиною профілю** називається частина реального профілю, що з'єднує дві

сусідні точки перерізу його середньою лінією профілю та направлена в тіло.

Кількісною характеристикою відхилення будь-якої точки профілю є **відхилення профілю** y_i – відстань між точкою реального профілю та середньою лінією.

Величини виступів і западин обмежуються на профілограмі лініями виступів і западин профілю. **Лінією виступів профілю** називається лінія, що еквідистантна середній лінії та проходить через **найвищу точку** профілю в межах базової довжини. **Лінією западини профілю** називається лінія, що еквідистантна середній лінії та проходить через **нижчу точку** профілю в межах базової довжини.

ГОСТ 2789-73 [15] встановлює перелік нормованих параметрів мікронерівностей, які повинні застосовуватися при встановленні вимог та контролі шорсткості поверхні, числові значення параметрів та загальні вказівки стосовно вимог до шорсткості поверхні. Цей стандарт поширюється на шорсткість поверхонь виробів незалежно від їх матеріалу та способу виготовлення (отримання поверхні).

Кількісно шорсткість поверхонь оцінюється такими основними параметрами [10, 23].

Середнє арифметичне відхилення профілю Ra - середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю у межах базової довжини:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (3.5)$$

де y_i – відхилення профілю - відстань між будь-якою точкою профілю і середньою лінією, яка виміряна по нормалі, що проведена до середньої лінії через цю точку профілю; n – кількість дискретних відхилень профілю; l – базова довжина.

Висота нерівностей профілю по десяти точках Rz – сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю та глибин п'яти найбільших западин профілю у межах базової довжини:

$$Rz = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 |y_{p_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{v_i}| \right], \quad (3.6)$$

де u_{ri} – висота i -го найбільшого виступу профілю; u_{vi} – глибина i -ої найбільшої западини профілю (рис. 3.2).

Найбільша висота нерівностей профілю R_{max} – відстань між лінією виступів і лінією западин профілю в межах базової довжини (рис. 3.2).

Параметри R_a та R_z характеризують усереднену висоту нерівностей, дублюючи один одного. Обидва ці параметри є певною мірою умовними, і жоден з них не має переваг перед іншими при оцінюванні шорсткості поверхні. Однак ГОСТ 2789-73 [15] називає параметр R_a кращим тому, що він забезпечений надійнішими засобами вимірювань.

За необхідності, додатково до параметрів шорсткості поверхні встановлюються вимоги до напрямку нерівностей поверхні, до способу або послідовності способів отримання поверхні.

Шорсткість поверхні згідно з ГОСТ 2.309-73 [16] позначається такими знаками (рис. 3.3):



Рисунок 3.3 – Знаки для позначення шорсткості

Знак, наведений на рис. 3.3а, встановлюється на поверхні, для якої спосіб оброблення не визначений конструктором. Знак, наведений на рис. 3.3б, передбачає обов'язкове видалення шару матеріалу тим чи іншим способом, наприклад, точінням, шліфуванням, травленням тощо. Знак, наведений на рис. 3.3в, показує, що поверхня може бути одержана без зняття шару металу, наприклад, литтям, штампуванням, наплавленням тощо.

Числові значення параметрів R_a , R_z , R_{max} задаються у мікрометрах. Вони можуть бути також призначені найбільшим допустимим значенням параметра, наприклад, $\sqrt{R_a 6,3}$ або найменшим допустимим значенням параметра, наприклад, $\sqrt{R_z 50 \text{ min}}$.

Вибір числових значень параметрів шорсткості повинен

проводитися відповідно до умов роботи виробу та вимог експлуатації нормованої поверхні. Шорсткість поверхні може бути призначена за одним із способів:

- за рекомендаціями з вибору числових значень параметрів для найтипівіших видів поверхонь, наведених у довідковій літературі;

- за стандартами на деталі та виробу, а також на поверхні, з якими вони з'єднуються, наприклад, вимоги до шорсткості поверхонь під підшипники кочення;

- за відсутності рекомендацій з визначення параметрів шорсткості їх вибір пов'язують з допусками розмірів і форми поверхонь, хоч однозначного зв'язку між цими параметрами немає.

Для вимірювання шорсткості застосовуються прилади – профілометри і профілографи [10].

Існують контактні та безконтактні *профілометри*. У контактних приладах як щуп застосовується алмазна голка, що переміщається по певній лінії вздовж поверхні. Нерівності викликають механічні коливання голки, внаслідок чого формується електричний сигнал, пропорційний розмірам нерівностей. До безконтактних відносяться оптичні профілометри, що використовують методи тіньової проекції, світлового перерізу та інтерференції, та лазерні, які використовують метод зсуву частоти випромінювання. Покази профілометрів виводяться на дисплей приладу і дають уявлення про характер нерівностей досліджуваної поверхні - їх висоту та глибину.

Профілограф - це прилад, який також призначається для контролю параметрів шорсткості поверхні, однак у профілографі результати вимірів представляються у вигляді кривої - профілограми, що визначає і хвилястість, і шорсткість поверхні. Оброблення результатів проводиться графоаналітичним методом.

Крім перелічених пристроїв: профілометрів та профілографів - існують комбіновані прилади, які називаються *профілографи-профілометри*. Це прилади, призначені для запису вимірюваних параметрів мікронерівностей поверхні (профілограми) на паперовий носій і одночасного спостереження в режимі реального часу за результатами вимірювань, які проводяться за допомогою пристрою, що показує,- цифрового або аналогового.

3.3 Посадки, загальні відомості

Конструктор визначає номінальний розмір деталі і граничні відхилення. Поле, обмежене найбільшим і найменшим граничними розмірами, яке визначається величиною допуску і його положенням відносно номінального розміру (графічно – відносно нульової лінії), називається **полем допуску**. Поле допуску – поняття, ширше за допуск; оскільки воно характеризується своєю і величиною, і його розміщенням відносно розміру (нульової лінії).

При утворенні складальних з'єднань велику роль відіграє саме положення поля допуску відносно нульової лінії, яке визначається основними відхиленнями. **Основним відхиленням** називається одне з двох граничних відхилень (верхнє чи нижнє), що визначає положення поля допуску відносно нульової лінії. Таким відхиленням є, як правило, найближче до нульової лінії відхилення.

ДСТУ ISO 286-1-2002 [12] передбачає 28 основних відхилень, які позначаються для отворів буквами **A, B, C, CD, D, ..., Y, Z, ZA, ZB, ZC**, а для валів – **a, b, c, cd, d, ..., y, z, za, zb, zc**. Значення основних відхилень валів і отворів не залежить від обраного квалітету.

Для **отворів** основні відхилення, позначені буквами **A...H**, знаходяться **над** нульовою лінією і задаються лише нижнім відхиленням **EI**. Основні відхилення, позначені буквами **J...ZC**, знаходяться **під** нульовою лінією; вони у свою чергу задані верхнім відхиленням **ES**. Для **валів** основні відхилення, позначені буквами **a...h**, знаходяться **під** нульовою лінією і задаються верхніми відхиленнями **es**, а основні відхилення, позначені буквами **j...zc** – **над** нею. Вони задаються нижніми відхиленнями **ei** (рис. 3.4).

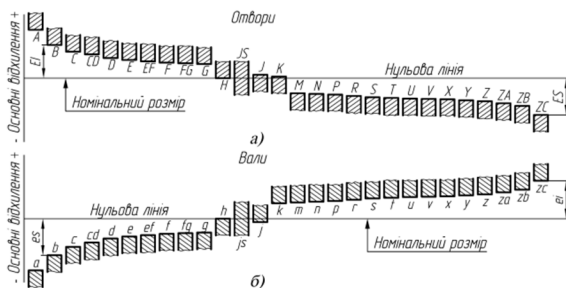


Рисунок 3.4 - Схема розташування полів допусків отворів (а) та валів (б) відносно нульової лінії

Інакше кажучи, буквами $A...H$ ($a...h$) позначають відхилення «в тіло» отвору або валу (тобто спрямоване на збільшення можливого зазору), а буквами $J...ZC$ ($j...zc$) – відхилення у протилежному напрямку. Якщо відхилення позначається буквами H (h), воно є дотичним до нульової лінії.

Для кожного поля допуску основне відхилення власне можна розглядати як координату, яка визначає відстань даного поля допуску від нульової лінії. Друге відхилення можна розрахувати, додаючи або віднімаючи допуск IT , який для даного номінального розміру залежить від обраного квалітету:

$$EI = ES - IT, \text{ або } ES = EI + IT. \quad (3.7)$$

$$ei = es - IT, \text{ або } es = ei + IT; \quad (3.8)$$

На практиці робити розрахунки не треба. У ДСТУ ISO 286-2-2002 [13] наведені значення нижніх і верхніх граничних відхилень для всіх розмірів, основних відхилень і квалітетів.

У діапазоні розмірів від 1 до 500 мм ДСТУ ISO 286-2-2002 [13] розділяє поля допусків на основні і додаткові. З основних полів виділена вужча низка полів для переважаючого застосування. При виборі полів допусків у першу чергу застосовуються *переважаючі поля допусків*. У випадках, коли за рахунок переважаючих допусків неможливо забезпечити конструктивні і технологічні вимоги, застосовують *основні поля допусків*, і лише в окремих випадках – *додаткові поля допусків*.

Величина поля допуску однакова і для валів, і для отворів. Поле допуску позначається сполученням літери (літер) основного відхилення і порядкового номера квалітету: **g6**, **d7**, **H8**, **N10**, **FG11**. Позначення поля допуску вказується після номінального розміру елемента: **40g6**, **35H7**.

При виготовленні виробу завжди виникає необхідність сполучення двох або більше деталей. Кожне окреме сполучення утворює посадку. **Посадкою називається характер з'єднання двох деталей, визначений різницею їх розмірів до складання** [11].

Вид посадки визначається величиною і взаємним розташуванням полів допусків сполучуваних деталей. Посадка характеризує більшу або меншу свободу відносного переміщення або

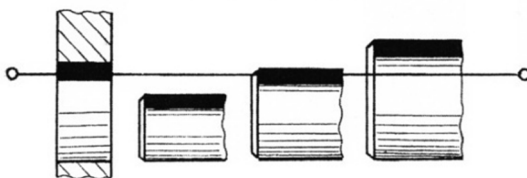
ступінь опору взаємному зсуненню з'єднаних деталей, тобто наявність і величину отриманого у сполученні зазору чи натягу. Згідно з [11,12] **зазором** називається додатна різниця між розміром отвору і валу до складання, коли розмір отвору *більший* за розмір валу, а **натягом** – від'ємна різниця між розміром отвору і валу до складання, коли розмір отвору менший за розмір валу.

Згідно зі стандартами системи ЄСДП однакові посадки можна отримати і у системі отвору, і у системі валу [3, 9. 11].

Посадка у системі отвору – це така посадка, в якій необхідні зазори і натяги утворюються сполученням різних полів допусків валів з полем допуску *основного отвору*. Основний отвір - це отвір, нижнє відхилення якого EI дорівнює нулю, залишається незмінним, а різні посадки отримують за рахунок зміни граничних розмірів валів, які з цим отвором сполучаються.

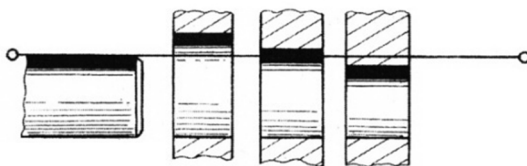
Посадка у системі валу – це така посадка, в якій необхідні зазори і натяги утворюються сполученням різних полів допусків отворів з полем допуску *основного вала*. Основний вал – це вал, верхнє відхилення якого es дорівнює нулю, залишається незмінним, а різні посадки отримують за рахунок зміни граничних розмірів отворів, які з цим валом сполучаються (рис. 3.5).

Посадки: з зазором, перехідна, з натягом



a

Посадки: з зазором, перехідна, з натягом



б

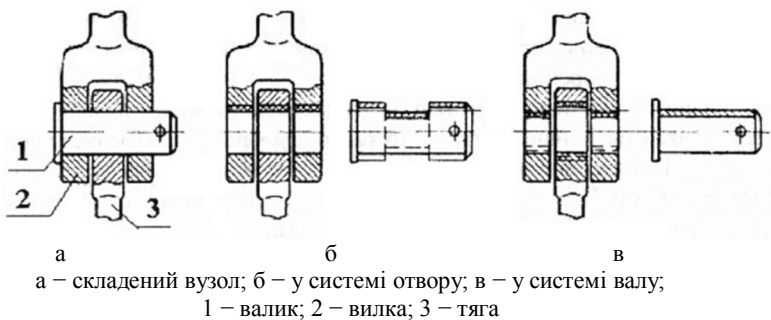
а – система отвору; б – система валу

Рисунок 3.5 - Системи посадок

Формально обидві системи посадок рівноправні, але практично майже завжди посадки у системі отвору економічніші за посадки у системі валу. Це пояснюється тим, що трудомісткість виготовлення точних отворів значно вище ніж точних валів. При застосуванні посадок у системі отвору кількість типорозмірів обладнання та інструментів зменшується, і відповідно зменшуються витрати на їх виготовлення і експлуатацію.

Систему валу вигідно використовувати тоді, коли осі, валики, штифти і т.п. можуть бути виготовлені з точних холоднотягнутих прутків і використовуються при складанні без додаткового механічного оброблення зовнішньої поверхні. Зокрема, посадки у системі валу застосовують при сполученні підшипників з корпусними деталями, тому що підшипники перед складанням нема сенсу перегочувати.

Доцільність використання системи валу наведена на рис. 3.6.



а – складений вузол; б – у системі отвору; в – у системі валу;
1 – валик; 2 – вилка; 3 – тяга

Рисунок 3.6 - Шарнірне з'єднання вилки з тягою

У шарнірному з'єднанні (рис. 3.4,а) повинна бути забезпечена рухома посадка валика 1 відносно тяги 3 і нерухома відносно вилки 2. Якщо цей вузол виготовити у системі отвору, то валик доведеться робити східчастим (рис. 3.4, б), причому бічні частини валика мають бути більшого діаметра, ніж середня. Монтаж такого вузла утруднений, він може погіршити умови експлуатації. Якщо використати посадку у системі валу, валик 1 виготовлятиметься циліндричним (рис. 3.4, в), що забезпечить доцільність виготовлення і експлуатації вузла.

Отже, для утворення посадок можна застосовувати будь-яку комбінацію полів допусків, установлену стандартом. Посадки повинні призначатися або у системі отвору, або у системі валу, причому система отвору є переважаючою. При виборі характеру посадки конкретного з'єднання залежно від умов його роботи треба також враховувати рекомендації з доцільності призначення того чи іншого квалітету точності. Приклади умовних позначень полів допусків і граничних відхилень на кресленнях наведені у табл. 3.2 [3, 23].

Таблиця 3.2 - Позначення полів допусків і граничних відхилень на кресленнях

Позначення у випадку:	Граничні відхилення, призначені для:		
	валу	отвору	посадки
Умовне позначення полів допусків	$\text{Ø}64k6$	$\text{Ø}64H7$	$\text{Ø}64 \frac{H7}{k6}$
Позначення числових значень граничних відхилень	$\text{Ø}64 \begin{matrix} +0,021 \\ +0,002 \end{matrix}$	$\text{Ø}64 \begin{matrix} +0,030 \end{matrix}$	$\text{Ø}64 \begin{matrix} +0,030 \\ +0,021 \\ +0,002 \end{matrix}$
Умовне позначення полів допусків із зазначенням їх числових значень	$\text{Ø}64k6 \begin{matrix} (+0,021) \\ (+0,002) \end{matrix}$	$\text{Ø}64H7 \begin{matrix} (+0,030) \end{matrix}$	$\text{Ø}64 \frac{H7(+0,030)}{k6(+0,021)}$

3.4 Види посадок та їх призначення

Види з'єднань деталей машин дуже різноманітні. Їх класифікують залежно від форми сполучуваних поверхонь, характеру контакту і ступеня свободи взаємного переміщення [3, 9, 23].

Наприклад, розрізняють з'єднання гладкі циліндричні і конічні; гвинтові, зубчасті, шліцові, сферичні і плоскі; рухомі під час роботи механізму і нерухомі, нерознімні чи рознімні тощо.

Всі з'єднання відрізняються одне від одного характером сполучення, тобто посадкою. За цією ознакою посадки поділяються на посадки із зазором, перехідні та з натягом [3, 9].

Посадкою з зазором називається посадка, за якою у з'єднанні завжди утворюється зазор, тобто найменший граничний розмір отвору більший за найбільший граничний розмір валу або дорівнює йому. Максимальну і мінімальну величину зазору можна розрахувати за формулою:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei; \quad (3.9)$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es. \quad (3.10)$$

Посадки з зазором призначаються для рухомих і нерухомих з'єднань. У рухомих з'єднаннях наявність зазору забезпечує свободу переміщення, розміщення шару мастилу, компенсацію температурних деформацій і відхилень форми, розташування поверхонь, помилок складання тощо. Для важливих з'єднань (типу сполучень валу з підшипником ковзання), які повинні працювати в умовах рідинного тертя, зазори розраховуються на основі гідродинамічної теорії змащування.

У нерухомих з'єднаннях посадки з зазором застосовуються для виконання безперешкодного складання змінних деталей, відносна нерухомість яких забезпечується шпонками, болтами, штифтами і т.п.

Посадки групи **H/h** мають мінімальний зазор, який дорівнює нулю, їх використовують переважно для забезпечення високої точності центрування і поступального переміщення деталей.

Посадки високої точності **H5/h4**, **H6/h5** застосовуються у нерухомих з'єднаннях, які часто розбираються. В окремих випадках ці посадки застосовуються і для рухомих з'єднань при поздовжньому переміщенні деталей з невисокою швидкістю (наприклад, шпindel у корпусі задньої бабки верстата). Посадки високої точності мають обмежене застосування через значну складність виготовлення деталей.

Посадки **H7/h6**, **H8/h7** широко застосовуються у нерухомих з'єднаннях при високих вимогах до точності центрування деталей, які часто розбираються (наприклад, змінні шестерні, фрикційні муфти тощо), або у рухомих з'єднаннях при зворотно-поступальних переміщеннях (поршні, шпindelі і т.п.).

Посадки $H8/h8$, $H8/h9$, $H9/h8$, $H9/h9$ мають ширші допуски і використовуються для рухомих і нерухомих з'єднань при невисоких вимогах до точності центрування і співвісності для полегшення складання та розбирання; наприклад, для установлення на вали шківів, зубчастих коліс та інших деталей, які працюють при невеликих і постійних за величиною навантаженнях.

Посадки $H11/h11$, $H12/h12$ призначаються для рухомих і нерухомих з'єднань низької точності. У випадку нерухомих з'єднань їх застосовують для деталей, які підлягають зварюванню, а в рухомих з'єднаннях – там, де одна деталь має вільно ковзати по іншій при регулюванні. Як правило, це вали тихохідних передач, розпірні втулки, шарніри низької точності.

Посадки групи H/g характеризуються мінімальним, у порівнянні з іншими посадками, гарантованим зазором (S_{min}). Застосовуються для плавних, найчастіше зворотньо-поступальних переміщень; допускають повільне обертання за малих навантажень

Посадки високої точності $H5/g4$, $H6/g6$, $G6/h5$, $G5/h4$ застосовуються в особливо точних механізмах (наприклад, плунжерні і золотникові пари). Посадки $H7/g6$, $G7/h6$ використовують у парах повзун – напрямні, пересувні шестерні на валах коробок передач високої точності.

Посадки групи H/f характеризуються помірним гарантованим зазором, застосовуються для забезпечення вільного обертання в підшипниках ковзання загального призначення за легких і середніх режимів роботи (електродвигуни, поршні компресорів і т.п.).

Посадкам $H7/f7$, $F8/h6$ забезпечують добрі умови змащування, їм надається перевага для підшипників валів у коробках передач, для головних валів токарних і фрезерних верстатів, поршнів у гальмівних циліндрах тощо. Точніші посадки $H6/f6$, $F7/h5$ застосовуються у таких з'єднаннях, де потрібна підвищена точність центрування.

Посадки зниженої точності $H8/f8$, $F8/h8$, $H8/f9$, $F9/h9$ призначаються для підшипників ковзання валів, що працюють при значних частотах обертання, з гарантованим зазором при невисоких вимогах до точності.

Посадки групи H/e характеризуються значним гарантованим зазором и забезпечують вільне обертання при високих швидкостях і значних навантаженнях за наявності рідинного змащування. Звичайно

це підшипники ковзання великих машин: турбогенераторів, електродвигунів великої потужності і т.п.

Посадки високої точності **H6/e7**, **E8/h6** призначаються головним чином для підшипників рідинного тертя у машинах підвищеної точності, зокрема для корінних підшипників колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння. До цієї ж групи належать посадки середньої точності **H7/e8**, **H8/e8**, **E8/h7**, які працюють при великих швидкостях обертання і невеликих навантаженнях (шийки розподільчих валів двигунів внутрішнього згоряння, напрямні точних клапанів і т.п.).

Посадки групи **H/d** (**D/h**) компенсують значні відхилення розташування сполучуваних поверхонь і температурні деформації, забезпечують вільне переміщення, регулювання і складання деталей; вони характеризуються великими гарантованими зазорами. Наприклад, посадки **H7/d8**, **D8/h7**, **H8/d8** достатньо високої точності забезпечують рух при важких режимах і значному нагріванні, наприклад, підшипники ковзання парових турбін, а також у сільськогосподарських і будівельних машинах.

Посадки групи **H/c**, **C/h**, **H/b**, **B/h**, **H/a**, **A/h** характеризуються значними гарантованими зазорами; їх найчастіше застосовують для з'єднання з невисокими вимогами точності в основному у грубих квалітетах там, де треба компенсувати значні відхилення розташування сполучуваних поверхонь або температурні зміни розмірів деталей, а також для сполучень, які працюють в умовах забруднення.

Перехідною посадкою називається посадка, за якою можливе отримання як зазору, так і натягу у з'єднанні у залежності від дійсних розмірів отвору та валу.

Перехідні посадки часто застосовують, якщо під час центрування допускаються невеликі зазори або потрібно забезпечити легке складання, наприклад, для змінних деталей. Натяги у перехідних посадках відносно малі і не вимагають перевірки деталей на міцність.

Посадки типу **H/j_s**, **J_s/h** характеризується тим, що для них ймовірнішим є зазор, але можливі й невеликі натяги. Такі посадки, як **H7/j_s6**, **J_s7/h6**, застосовуються для встановлення підшипників кочення, тонкостінних втулок у корпус, шківів на вали малих електромашин.

Посадки групи **H/k** є найпоширенішими з перехідних посадок. Ймовірність отримання зазорів та натягів в цих посадках є приблизно однаковою. Такі посадки забезпечують високу точність центрування, і одночасно з'єднання досить легко розбирається під час ремонтів.

У посадок **H7/k6**, **K7/h6** натяги і зазори близькі до нуля; вони застосовують для встановлення зубчастих коліс, шківів, маховиків на валах редукторів та інших машин. Посадки **H6/k5**, **K6/h5** застосовуються у випадках, коли потрібна вища точність з'єднання.

Посадки групи **H/m**, **M/h** забезпечують переважно натяг; ймовірність одержання зазорів відносно мала. Зокрема, посадки **H7/m6**, **M7/h6** застосовують для нерухомих з'єднань деталей на валах, які швидко обертаються (наприклад, посадки деталей на кінцях валів електродвигунів).

Посадки групи **H/n**, **N/h** практично завжди утворюють натяг. Для складання необхідні значні зусилля або застосування термічних методів. Розбираються такі з'єднання лише під час капітальних ремонтів. Посадки застосовують для забезпечення високої точності центрування в умовах дії значних зусиль, ударів, вібрації. Найчастіше застосовують переважні посадки H7/n6, N7/h6.

Посадкою з гарантованим натягом називається посадка, за якою у з'єднанні завжди утворюється натяг, тобто найбільший граничний розмір отвору менший за найменший розмір валу або дорівнює йому. Величина максимального і мінімального натягів розраховується за формулами:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI; \quad (3.11)$$

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = ei - ES. \quad (3.12)$$

Посадки з гарантованим натягом застосовуються для створення нерухомих і нерознімних з'єднань. Відносна нерухомість сполучуваних деталей забезпечується завдяки пружним деформаціям, які виникають при з'єднанні валу з отвором. без додаткових засобів кріплення, що спрощує конфігурацію деталей та їх складання.

Надійність посадок з натягом залежить від механічних властивостей матеріалу деталей, геометрії та шорсткості поверхонь, величини натягу, методу складання тощо. У кожному конкретному випадку вибір способу складання визначається розмірами

сполучуваних деталей, величиною натягів, наявністю необхідного для складання обладнання і т.д.

Посадки **H/p**, **P/h** характеризуються нормальним гарантованим натягом; для них встановлюються точніші квалітети: 4...6 для валів і 6...7 для отворів. Так, посадка **H7/p6** застосовується для з'єднання тонкостінних деталей або деталей, які зазнають невеликі навантаження.

Посадки **H/r**, **R/h**, **H/s**, **S/h**, **H/t**, **T/h** характеризуються помірним натягом і є переважними у цій групі посадок. Вони допускають передачу навантажень середньої величини без додаткового кріплення. Складання може проводитися напресуванням або термічним деформуванням деталей. Наприклад, посадки **H7/r6**, **H7/s6** застосовуються для з'єднання зубчастих коліс на валах коробок швидкостей, втулок якорів електродвигунів, кондукторних втулок з корпусом кондуктора та ін.

Посадки **H/u**, **U/h**, **H/x**, **H/z** характеризуються великим гарантованим натягом, тому можуть передавати великі та динамічні навантаження без додаткового кріплення. Посадки типу **H7/u7** застосовуються для закріплення вагонних коліс на осях, втулок підшипників ковзання у важкому машинобудуванні, при насаджуванні вінців черв'ячних коліс, маховиків і т.п. У свою чергу посадки **H8/x8**, **H8/z8** застосовуються для важко навантажених з'єднань, що зазнають великі крутні моменти та осьові навантаження.

Вибір посадок може провадитися декількома методами [9, 24].

Методом прецедентів, або **аналогів**, полягає у тому, що посадка обирається за аналогією з відомою посадкою, яка надійно працює у вузлі подібної конструкції. Складність методу полягає у правильній оцінці та співставленні умов праці посадки у вузлі, що проектується, і в аналога.

Метод подібності – це розвиток методу прецедентів. Посадки обираються на підставі рекомендацій галузевих технічних документів або літературних джерел. Недолік методу полягає у відсутності точних кількісних оцінок умов роботи сполучення.

Розрахунковий метод є найбільш обґрунтованим. Проте формули, емпіричні залежності відомі не для всіх видів посадок та й не завжди точно відбивають характер фізичних явищ у сполученні.

Правильний вибір посадок значною мірою залежить від кваліфікації конструктора і завжди може бути підкоригований за досвідом дослідної експлуатації.

4 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

4.1 Поняття якості продукції

Якість продукції – сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення [17].

Якість відноситься до числа найважливіших показників діяльності людини. Проблема забезпечення і підвищення якості продукції актуальна для всіх підприємств. Поняття якості багатозначне. Під ним розуміють і якість підприємства, пов'язану із забезпеченням організаційно-технологічного рівня виробництва, і якість роботи, що включає систему прийняття рішень, контроль якості на виробництві і т.п., а також врешті - власне якість продукції, що є наслідком якості всієї роботи підприємства.

Будь-яке виробництво включає певні функції, спрямовані на досягнення поставлених завдань у галузі якості. Ці задачі вирішуються шляхом контролю якості та наступного регулювання наявних технологічних процесів.

Якість визначається дією випадкових і суб'єктивних чинників. Для контролю за ними і попередження впливу негативних чинників служать різні системи управління якістю. Відсутність на підприємстві продуманої системи управління якістю і ефективного контролю якості як її складовою є, як правило, причиною занепаду і навіть краху такого підприємства.

До якості продукції ставляться певні вимоги. Вимоги до продукції – це умови та особливості, яким мають відповідати вироби. Вони часом можуть змінюватися зі зміною суспільних потреб і вимог на ринку аналогічної продукції.

Вимоги поділяються на *поточні*, що пред'являються до продукції, яка випускається нині, і обґрунтовані можливостями виробництва та характером попиту, і *перспективні*, які розроблені на підставі прогнозів використання нових видів сировини, нових технічних ідей і методів виробництва. Поточні й перспективні вимоги можуть регламентуватися стандартами. Перспективні вимоги встановлюють на основі фундаментальних і прикладних наукових досліджень. Згодом перспективні вимоги стають поточними, а замість них з'являються вимоги вищого рівня, що забезпечує безперервне вдосконалення продукції.

Під управлінням якістю продукції розуміють постійний, планомірний, цілеспрямований процес впливу на всіх рівнях на фактори і умови, що забезпечує створення продукції оптимальної якості та повноцінне її використання.

Для досягнення конкретних цілей управління якістю важливо правильно встановити співвідношення між цілями і засобами управління якістю продукції. Такий взаємозв'язок встановлюється на підставі власного досвіду, нових досягнень у відповідній науково-технічній галузі, а також оптимального використання стандартів, технічних умов та відомчих нормативів.

Управління якістю продукції здійснюється шляхом систематичного контролю відповідності показників якості стандартам, технічним умовам та іншій нормативно-технічній документації, які мають відповідати потребам споживачів. Важливим елементом у цьому напрямку є встановлення обґрунтованих завдань на випуск продукції з певними значеннями показників, які мають бути досягнуті при виробництві продукції.

4.2 Основні принципи контролю якості продукції

У виробництві технічний контроль включає:

- вхідний контроль сировини, напівфабрикатів, комплектуючих виробів, інструментів, допоміжних матеріалів тощо;
- поопераційний контроль продукції та дотримання встановленого технологічного процесу;
- систематичний контроль стану обладнання, робочого і вимірювального інструментів, інших засобів контролю;
- контроль моделей та дослідних зразків продукції;
- приймальний контроль готової продукції.

Контроль може бути вибіркоким, поопераційним або суцільним.

Вибірковий контроль проводиться за планом, який ґрунтується на статистичних методах, які обумовлюють обсяг вибірки, яка підлягає контролю, критерії та періодичність оцінювання. Вибірка має формуватися випадковим методом. Вибірковий метод не може гарантувати необхідну якість всієї виготовленої партії виробів, і тому існує ризик постачання неякісної продукції.

Способи **поопераційного контролю** залежать від особливостей виробничих ділянок або об'єктів виробництва. Такими способами

можуть бути візуальний огляд, вимірювання розмірів, лабораторний аналіз, механічні випробування, контроль за дотриманням вимог технологічного процесу та ін.

Суцільний контроль застосовується у випадках низької якості матеріалів, що постачаються на підприємство; коли наявні обладнання і технологія не забезпечує однорідності продукції, що виготовляється; після операцій, які мають вирішальне значення для наступного оброблення або складання; при складанні у випадках відсутності повної взаємозамінності та ін.

Критерієм готовності підприємства до випуску продукції необхідної якості є наявність у технологічній документації повністю оформлених операцій контролю, упевненість у наявності ефективного вимірювального оснащення, висновок про виконання у повному обсязі заходів, розроблених за результатами попередніх випробувань та інших контрольних заходів.

Функція контролю якості полягає у нагляді за процесами забезпечення якості, виявленні відхилень від нормативів, а також характеру і причин відхилень та їх усунення. Функція контролю якості передбачає: контроль за розроблянням нової продукції, вхідний контроль сировини і напівфабрикатів, поетапний заводський контроль на робочих місцях, вихідний контроль готової продукції і періодичний контроль продукції на місцях тривалого зберігання.

Забезпечення якості продукції не може бути ефективним, якщо турбота про якість починається лише з моменту початку виробничого процесу. Контроль починається з розробляння нової конструкції виробу, що передбачає розробляння і встановлення вимог до якості та технічного рівня майбутньої продукції. Вхідному контролю піддаються всі сировинні матеріали, напівфабрикати і комплектувальні вироби, які надходять на підприємство. За технологічним процесом на робочих місцях проводиться поопераційний контроль кожної виготовленої деталі. Після складання готовий виріб проходить декілька видів приймального контролю залежно від складності та призначення виробу.

У деяких випадках проводиться контроль продукції на місцях тривалого зберігання. Періодичність і види контролю залежать від особливостей конструкції і призначення виробу та умов зберігання.

При виявленні дефектів у процесі виробництва або експлуатації керівні органи управління якістю продукції вживають необхідні заходи.

Щоб оцінити рівень якості виробу, треба функціональні *показники якості* даного виробу порівняти з іншими однотипними. Обрані для порівняння функціональні показники утворюють певну номенклатуру показників якості.

Номенклатура показників повинна забезпечувати порівнянність різних зразків одного виду, тобто зразків продукції однієї назви та області застосування. Всі обрані аналоги і оцінювана продукція повинні бути ідентичними за призначенням та областю застосування і мати однакові класифікаційні показники.

Основою для оцінювання рівня якості продукції є базовий зразок.

Базовий зразок – це зразок продукції, який представляє передові науково-технічні досягнення і виділяється з групи аналогів оцінюваної продукції.

Як базові зразки обирають кращі з групи аналогів на основі методу попарного співставлення послідовно всіх аналогів за значенням оцінних показників. У результаті попарного співставлення аналогів залишаються аналоги, кожний з яких не поступається жодному з решти тих, що порівнювалися, за сукупністю оцінних показників. Виділені таким чином аналоги і є базовими зразками.

4.3 Показники якості

Як зазначалося вище, для управління якістю продукції і підвищення її необхідно оцінювати рівень якості. Оцінювання рівня якості проходить у декілька етапів. Спочатку обирають номенклатуру показників якості і одночасно обирають для порівняння базові показники якості [4, 22]. Після цього обирають способи оцінювання значень показників якості. Зміст етапів і обсяг робіт на кожному з етапів суттєво залежить від мети оцінювання, його необхідної точності та форми представлення результатів оцінювання.

Показником якості продукції називається кількісна характеристика однієї або декількох властивостей продукції, що характеризують якість, яку розглядають стосовно до визначених умов її виготовлення, експлуатації або споживання.

На рівень параметрів якості продукції впливає значна кількість чинників, які діють як самостійно, так і у взаємозв'язку між собою або на окремих етапах життєвого циклу виробу, або на кількох одночасно. Звичайно всі ці чинники поділяються на групи: технічні, організаційні, економічні і суб'єктивні.

До технічних чинників належать: конструкція виробу, технологія виготовлення; обладнання і засоби виготовлення, обслуговування і ремонту; технічний рівень бази проектування, виготовлення, експлуатації та ін. Змінюючи методи виробництва, з однієї й тієї ж сировини можна виготовити продукцію зі суттєво відмінними властивостями. Недотримання затвердженої технології призводить до зниження якості, виникнення дефектів.

До організаційних чинників належать: розподіл праці і спеціалізація виробничих підрозділів, форма організації виробничих процесів, ритмічність виробництва, культура праці робітників, форми і методи контролю, порядок приймання готової продукції та її зберігання, технічного обслуговування в експлуатації, ремонту та ін. Для покращення якості продукції керівництво підприємства має постійно працювати над покращенням організації всіх етапів виробництва на підставі досягнень науково-технічної думки.

До економічних чинників належать: собівартість і ціна та їх співвідношення; рівень витрат на експлуатацію, технічне обслуговування і ремонт; ступінь продуктивності виробничих процесів та ін. Санкції за випуск і постачання продукції неналежної якості сприяють внесенню коректив у технологічні та організаційні форми виробничих процесів.

До суб'єктивних чинників відносяться всі чинники, безпосередньо пов'язані з участю людини і її впливом на вищезгадані чинники. У першу чергу мова йде про професійну підготовку людей, які зайняті проектуванням, виготовленням і експлуатацією виробів; характер їх зацікавленості у результатах праці та підвищенні якості продукції. Створення умов матеріального і морального заохочення за випуск високоякісної продукції також підвищує рівень її якості.

Взаємозв'язок і взаємний вплив всіх цих чинників дуже складний і залежить від складності виробу, технології його виготовлення та експлуатації (споживання). На різних етапах життєвого циклу виробу діють різні чинники. Важливо враховувати їх

за результатами контролю рівня якості на всіх етапах виробництва та експлуатації.

Через велику різноманітність продукції, що виробляється у світі, важко дати перелік показників якості продукції. Існує декілька класифікацій цих показників. Найчастіше розглядають декілька груп показників: показники призначення; надійності; ергонометричні; естетичні; технологічні; патентно-правові, екологічні, економічні та ін. Для промислової продукції найважливішими є показники призначення, надійності, технологічні та економічні.

Показники призначення характеризують властивості продукції, що визначають основні функції, для виконання яких вона призначена, і обумовлюються галуззю її використання. До показників призначення відносяться конструктивні показники, показники функціональної та технічної ефективності. Для виробів машинобудування показники призначення характеризують корисну роботу, яку має виконувати виріб. Наприклад, якщо мова йде про автомобілі, то як показники призначення розглядаються швидкість, вантажопідйомність, споживання палива на 100 км та інші.

Показники надійності є одними з найважливіших властивостей продукції. Чим відповідальніші функції продукції, тим вище повинні бути вимоги до надійності. Надійність виробів багато у чому залежить не лише від їх конструкції, але й від умов експлуатації: вологості, зовнішніх навантажень, температури, тиску і т.п.

Надійність – це властивість виробу зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують його здатність виконувати потрібні функції у заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування. Залежно від призначення і умов застосування надійність продукції характеризується безвідмовністю, довговічністю та ремонтопридатністю.

Безвідмовність – властивість виробу безперервно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або певного напруження. Основним поняттям, яке використовується при визначенні безвідмовності, є відмова. *Відмовою* називають подію, яка полягає у порушенні працездатного стану об'єкту при умові, що значення всіх параметрів, які характеризують його здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам конструкторської документації. Відмова усувається ремонтом. До показників безвідмовності

відносяться: час імовірної безвідмовної роботи, середнє напрацювання на відмову, інтенсивність відмов, параметр потоку відмов.

Довговічність – властивість виробу зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту. Інакше кажучи, довговічність визначає час ефективного використання виробу.

Розрізняють довговічність фізичну і моральну. *Фізичній довговічності* відповідає час праці виробу до того моменту, коли черговий ремонт коштує більше, ніж виготовлення нового виробу і стає не вигідним. Цей час може включати декілька проміжних ремонтів. *Моральна довговічність* визначає термін використання виробу до моменту, коли виріб застаріває за своїми можливостями, і на ринку з'являється нова модель, яка має кращі споживчі властивості. Це може статися ще до вичерпання виробом свого фізичного ресурсу.

До показників довговічності відносяться: ресурс між середніми ремонтами, середній термін ефективної праці і т.п.

Ремонтпридатність – властивість виробу, яка полягає у пристосованості виробу до попередження і виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень і підтриманню та відновленню працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і ремонту. Ремонтпридатність характеризується середнім часом відновлення працездатного стану, вірогідністю відновлення працездатності протягом певного інтервалу часу, середньою трудомісткістю ремонту і технічного обслуговування.

Граничний стан відремонтованих виробів визначається неефективністю їх подальшої експлуатації через старіння і часті відмови або збільшення витрат на ремонт. Граничний стан може визначатися також моральним старінням.

Показники технологічності характеризують властивості продукції, які обумовлюють оптимальний розподіл витрат, матеріалів, роботи і часу при технологічній підготовці виробництва, виготовлені і експлуатації продукції. До показників технологічності відносяться: питома трудомісткість та матеріаломісткість виготовлення виробів, коефіцієнт використання матеріалів, питома енергоємність, собівартість та ін.

Економічні показники – це витрати на проектування, виготовлення та випробування дослідних зразків, собівартість

виготовлення продукції, витрати на витратні матеріали при експлуатації (споживанні) виготовленої продукції і т.п.

Показники якості дозволяють дати кількісну характеристику всіх їх властивостей. Розрізняють одиничні і комплексні показники. *Одиничний показник якості* – це показник, який характеризує одну з властивостей продукції (наприклад, вантажопідйомність або потужність машини, швидкість і т.п.). *Комплексний показник якості* характеризує якість за двома або декількома оцінюваними властивостями. Застосовують також *інтегральний показник якості*, який оцінює загальний корисний ефект продукції (підтримка заданого рівня точності, термін праці до капітального ремонту машини тощо), який залежить від сумарних чинників, що визначають її працездатність.

Показники якості, як і фізичні величини, можуть мати розмірність або бути безрозмірними. Розмірність мають, як правило, одиничні показники якості. Безрозмірні показники – це найчастіше відносні показники або експертні оцінки якості.

4.4 Методи контролю якості продукції

Оцінювання рівня якості продукції служить основою для вироблення рекомендацій з метою підтримання та покращення якості виробів, що випускаються. Для проведення оцінювання необхідно провести вибір номенклатури показників якості та обґрунтувати її необхідність і достатність; розробити методи визначення значень показників якості; обрати базові зразки (див. п. 4.2), значення показників яких служитимуть основою для порівняння та визначення фактичних показників якості оцінюваної продукції. Від вибору базового зразка значно залежить результат оцінювання якості продукції. Важливим чинником може бути також правильний вибір форми подання і способу оброблення результатів оцінювання.

Для точного оцінювання якості виробів залежно від призначення і умов експлуатації обирають такі показники, які найповніше характеризують відмінні, найважливіші властивості щойно спроектованого виробу. За показники базових зразків-аналогів, як зазначалося вище, обирають найкращі вітчизняні та закордонні зразки, які на момент оцінювання відповідають найвищим вимогам в експлуатації чи споживанні. Крім того, основою базових показників можуть бути науково-технічна документація та стандарти, що

регламентують оптимальні значення показників якості продукції, а також відомі перспективні вироби, які ще розробляються.

Оцінювання якості продукції проводиться наступними методами [22, 25, 26].

Вимірювальний метод ґрунтується на інформації, яка отримується з використанням технічних вимірювальних засобів. За допомогою вимірювального методу визначають такі значення, як маса виробу, частота обертання ротору двигуна, розмір виробу, швидкість автомобіля, сила струму та ін.

Розрахунковий метод базується на використанні інформації, яку отримують за допомогою функціональних або емпіричних залежностей. Цей метод використовується при проектуванні продукції, коли вона ще не може бути об'єктом експериментальних досліджень. Розрахунковий метод служить для визначення показників, важливих при експлуатації виробу і доступних до прямого вимірювання: його маси, показників продуктивності, потужності, міцності та ін.

Диференційний метод оцінювання рівня якості продукції здійснюється співставленням одиничних показників оцінюваного виду продукції з відповідними базовими показниками.

Для кожного з показників розраховуються відносні показники якості оцінюваної продукції за формулою:

$$Q_i = P_i/P_{i\text{баз}}, \quad (4.1)$$

де P_i – числове значення i -того показника якості оцінюваної продукції; $P_{i\text{баз}}$ – числове значення i -того показника якості базового зразка.

При оцінюванні декількох показників виробу можливі три варіанти: всі показники $Q_i > 1$; всі показники $Q_i < 1$; деякі показники Q_i більше одиниці, а деякі – менші. У першому випадку оцінюваний виріб краще аналогу і має право на подальше виготовлення і постачання на ринок. Якщо маємо справу з другим випадком, розроблений виріб не є конкурентоспроможним, і треба починати розробляти новий. Найчастіше виробництво зустрічається з третім варіантом. У цьому випадку необхідно з'ясувати, чи має більшість

найважливіших показників значення $Q_i > 1$. У протилежному випадку прийняти однозначне рішення важко.

Збільшення абсолютного значення показника відповідає покращенню якості продукції. За цим показником розраховують відносний показник якості (наприклад, потужності, терміну служби, продуктивності, коефіцієнта корисної дії і т.п.).

Зустрічаються випадки, коли оцінити рівень якості важко. У таких випадках доцільно розділити всі показники на дві групи. У першу групу включають показники, які визначають найсуттєвіші властивості продукції, а у другу – другорядні. У кожній групі можуть створюватися певні підгрупи, в яких показники мають споріднені характеристики. На цій підставі для кожної підгрупи можна визначити свій оцінний показник. Такі показники порівнюються іншим, комплексним методом.

Комплексний метод оцінки рівня якості передбачає використання комплексного (узагальненого) показника якості. Цей метод застосовується у випадках, коли узагальнений показник якості, виражений лише одним числом, є функцією від окремих одиничних (групових, комплексних) показників якості продукції.

Рівень якості за комплексним методом визначається відношенням узагальненого показника якості оцінюваної продукції $Q_{оц}$ до узагальненого показника базового зразка $Q_{баз}$, тобто

$$Q = Q_{оц} / Q_{баз}. \quad (4.2)$$

Складність комплексного оцінювання полягає у складності об'єктивного знаходження узагальненого показника. Звичайно у цих випадках за узагальнений показник приймають один з головних показників призначення продукції. Наприклад, продуктивність, питому собівартість, ресурс і т.п.

У деяких випадках існує можливість виявити характер взаємозв'язків між показникам якості оцінюваної продукції, об'єднаними в одну групу (підгрупу), і таким чином визначити узагальнений показник.

У тих випадках, коли є труднощі з визначенням головного показника і встановленням його функціональної залежності від вихідних показників якості продукції, визначають середньозважені показники якості.

При оцінюванні складної продукції, яка має широкую номенклатуру показників якості, може скластися ситуація, що за допомогою диференційного методу практично неможливо зробити конкретний висновок, а використання лише одного комплексного методу не дозволяє об'єктивно врахувати всі значущі властивості оцінюваної продукції. У таких випадках для оцінювання використовується змішаний метод.

Суть *змішаного методу* полягає у тому, що для оцінювання якості продукції застосовують одиничні і комплексні показники якості, одночасно використовуючи елементи і комплексного, і диференційного методів. Оцінювання проводиться у наступній послідовності.

Одиничні показники якості, які, як правило, визначають за допомогою прямих вимірювань, об'єднуються у декілька груп, для яких визначають груповий комплексний показник якості. Найбільш значимі одиничні показники можна у групі не включати, а розглядати окремо. Об'єднання показників у групи повинно проводитися у залежності від їх значущості та мети оцінювання.

Знайдені величини групових комплексних і окремо виділених найважливіших одиничних показників піддають порівнянню з відповідними значеннями базових показників, тобто застосовують принципи диференційного методу.

Для визначення параметрів якості під час виготовлення виробів використовуються такі основні засоби контролю якості [4, 28]:

- засоби неавтоматичного контролю;
- автомати й автоматичні системи контролю;
- засоби контролю за допомогою автоматичних систем управління технологічними процесами.

Засоби неавтоматичного контролю використовуються для отримання інформації про один або декілька параметрів, які характеризують якість виробу. Звичайно вони застосовуються при ручному контролі та відрізняються низькою продуктивністю і порівняно великою трудомісткістю контролю.

Автомати й автоматичні системи контролю забезпечують отримання інформації про параметри, які всебічно характеризують якість контрольованого об'єкту. До складу таких систем входять автоматичні транспортувальні, сканувальні та сортувальні пристрої і

реєстратори різних видів. В основному такі системи призначені для розбракування контрольованих виробів за принципом «придатний – непридатний» або розсортування виробів за одним або декількома параметрами (наприклад, сортування кульок для підшипників за діаметром).

Засоби контролю автоматичних систем управління технологічними процесами призначені для вироблення такої інформації, яка може бути використана для активного впливу на хід технологічного процесу у випадку його порушення. До складу таких систем, окрім автоматичних ліній контролю, входять засоби обчислювальної техніки та автоматики для формування керуючої дії.

ЛІТЕРАТУРА

основна

1. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення. [Чинний від 1995-01-01]. К.: Держстандарт України, 1994. 37 с.
2. Допуски, посадки та технічні вимірювання: практикум. Частина 1: навч. посібн. / Ю.І. Адаменко та ін. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 164 с.
3. Дудніков А.А. Основи стандартизації, допуски, посадки, і технічні вимірювання: підручник. К.: ЦНЛ, 2006. 352 с.
4. Шаповал М.І. Основи стандартизації, управління якістю і сертифікація: підручник. К.: вид. Європ. ун-ту, 2002. 174 с
6. Цюцюра В.Д., Цюцюра С.В Метрологія та основи вимірювань: навч. посібник. К.: «Знання-Прес», 2003. – 180 с.
7. ДСТУ ОІЛМ D 2:2007 Метрологія. Узаконені одиниці вимірювань. [Чинний від 01.07.2009]. К.: Держстандарт України, 2010. 20 с.
8. Нестерчук Д.М., Квітка С.О., Галько С.В. Основи метрології та засоби вимірювання: навч. посібник. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 256 с.
9. Базієвський С.Д., Дмитрик В.Ф. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: підручник. К.: Слово, 2004, 504 с.
10. Якимчук Г.К., Адаменко Ю.І., Плівак О.А. Допуски і посадки: Довідник. – Частина 1. – К.: Основа, 2011. – 96 с.
11. ДСТУ 2500-94 Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми. [Чинний від 01.07.1995]. К.: Держстандарт України, 1994. 33 с.
12. ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. [Чинний від 01.10.2003]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 41 с.
13. ДСТУ ISO 286-2-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів [Чинний від 2004-10-1]. Київ: РВВ ДП «УкрНДНЦ», 2004. 43 с.
14. ДСТУ ISO 1101:2009 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Геометричні допуски. Допуски форми, орієнтації,

розташування та биття. – [Чинний від 01.07.2011] К.: Мінекономрозвитку України, 2013. 32 с.

15. ДСТУ ISO 4287:2012 Технологічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні, профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури. [Чинний від 01.03.2013]. К.: Мінекономрозвитку України, 2013. 19 с.

16. ДСТУ 2925-94 Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення [Чинний від 01.01.1996]. К.: Держстандарт України, 1995. 27 с.

17. Гаврилюк В.І., Кукляк М.Л. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання. К.: НМК, 1990. 214 с.

додаткові

18. Кірш М.Л., Лазурка І.І. Метрологія, стандартизація та сертифікація: метод. реком. до лаб. практикуму. Чернівці: Чернів. нац. ун-т, 2010. 100 с.

19. Бичовський Р.В., Столярчук П.Г., Гамула П.Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація. Львів: вид. НУ «Львівська політехніка», 2002. 560 с.

20. Головка Д.Б., Рего К.Г., Скрипник Ю.О. Основи метрології та вимірювання: навч. посібник. К.: Либідь, 2001. 408 с..

21. Бичківський Р.В., Столярчук П.Г., Гамула П.Р. Львів: Львівська політехніка, 2002. 560 с.

22. Івченко Л.Й., Петрикін В.В. Державні стандарти в машинобудуванні і металообробці: навч. посібник. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 320 с.

23. Железна А.О., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань. К.: Кондор, 2004. 796 с.

24. Янушкевич Д.А., Коваль О.А., Міжнародна та національна стандартизація. Харків; ХНІДУ, 2010. 295 с.

25. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю: підручник. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 672 с.

26. Стандартизація, метрологія та контроль: підручник / О.В.Рабінович, І.Ф.Червоний, М.О.Маняк та ін.; за ред. проф. Червоного І.Ф. – Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 184 с.

27. Агеєв Є.Я. Управління якістю: навч. посібник. Львів: Новий світ, 2009. 240 с.

28. Топольник В.Г., Котляр М.А. Метрологія, стандартизація і управління якістю. Львів: «Магнолія-2006», 2012. 212 с.

Додаток А
Коефіцієнт Стьюдента t_p

n - 1	Довірча імовірність P		
	0,90	0,95	0,99
1	6,31	12,7	63,70
2	2,92	4,30	9,92
3	2,35	3,18	5,84
4	2,13	2,78	4,60
5	2,02	2,57	4,03
6	1,94	2,45	3,71
7	1,89	2,36	3,50
8	1,86	2,31	3,36
9	1,83	2,26	3,25
10	1,81	2,23	3,17
11	1,80	2,20	3,11
12	1,78	2,18	3,05
13	1,77	2,16	3,01
14	1,76	2,14	2,98
15	1,75	2,13	2,95
16	1,75	2,12	2,92
17	1,74	2,11	2,90
18	1,73	2,10	2,88
19	1,73	2,09	2,86
20	1,72	2,09	2,85
21	1,72	2,08	2,83
22	1,72	2,07	2,82
23	1,71	2,07	2,81
24	1,71	2,06	2,80
25	1,71	2,06	2,79
26	1,71	2,06	2,78
27	1,70	2,05	2,77
28	1,70	2,05	2,76
29	1,70	2,05	2,76
30	1,70	2,04	2,75

Додаток Б
Формули розрахунку допусків
(за ДСТУ 2500-94)

Квалітети		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Число одиниць допуску k		2,7	3,7	5	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500	
Значення допусків для номінальних розмірів, мкм	до 500мм включно	$k \cdot i, \text{де } i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D$																	
	понад 500 до 3150мм включно	$k \cdot i, \text{де } i = 0,004 \cdot D + 2,1$																	

Примітки:

1. D – середнє геометричне з крайніх значень кожного інтервалу номінальних розмірів в мм. Для інтервалу до 3 мм приймається $D = \sqrt{3}$.

2. Значення k , починаючи з 5-го квалітету, приблизно відповідають геометричній прогресії з коефіцієнтом 1,6.

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

4. Починаючи з 6-го квалітету, значення допусків помножують на 10 в разі переходу з цього квалітету на п'ять квалітетів грубіше (за винятком значення 7,5, яке округляють до 8 для 6-го квалітету в інтервалі розмірів від 3 до 6 мм). Це правило є дійсним і для допусків грубіших 16-го квалітету.