

## Практична робота №1

### ДЕРЖАВНА МЕТРОЛОГІЧНА СИСТЕМА УКРАЇНИ

**Мета:** сформувати уявлення про структуру державної метрологічної системи України, її основні елементи та функції; навчитися визначати роль метрологічних органів і процедур (еталони, простежуваність, повірка/калібрування) у забезпеченні єдності вимірювань.

#### Короткі теоретичні відомості

Державне регулювання у сфері метрології в Україні ґрунтується на положеннях Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», який визначає правові, організаційні та науково-технічні засади забезпечення єдності вимірювань у державі. У межах цього регулювання формалізовано понятійний апарат метрології, встановлено вимоги до результатів вимірювань і засобів вимірювальної техніки, а також окреслено структуру національної метрологічної системи. Особливе місце в законодавстві займає визначення сфер законодавчо регульованої метрології, тобто сукупності видів вимірювань, для яких держава встановлює обов'язкові правила та процедури через їхню суспільну значущість. До таких сфер належать, зокрема, вимірювання, що можуть впливати на життя і здоров'я людини, безпеку праці та експлуатації об'єктів, охорону довкілля, забезпечення справедливості торговельних операцій і захист прав споживачів, а також вимірювання в системах обліку енергетичних ресурсів і комунальних послуг, де похибки безпосередньо визначають економічні наслідки для суб'єктів господарювання та населення. Отже, метрологічне регулювання виконує не лише технічну, а й соціально-економічну та правову функції, створюючи основу для довіри до вимірювальної інформації у критично важливих сферах.

Складовою інституційної основи метрологічного забезпечення є національна метрологічна служба, яка функціонує як сукупність

уповноважених органів, наукових і випробувальних установ та інших організацій, діяльність яких спрямована на реалізацію державної політики в галузі метрології. Її завданням є організація та координація робіт, що гарантують єдність вимірювань, порівнюваність результатів у часі та просторі, а також їх відповідність встановленим вимогам точності. Національна метрологічна служба забезпечує формування та підтримання інфраструктури метрологічних робіт: створення і збереження еталонної бази, методичне забезпечення вимірювань, організацію процедур оцінювання відповідності засобів вимірювальної техніки, ведення реєстрів і системи обліку, а також наглядові й контрольні функції у межах законодавчо регульованих вимірювань. Важливо, що інституційний компонент метрологічної системи передбачає розподіл повноважень між різними рівнями управління та виконавцями робіт, що забезпечує керованість і відтворюваність процедур у масштабі країни.

Нормативно-правова база метрології виступає методологічним «каркасом» системи, оскільки саме вона встановлює обов'язкові вимоги до одиниць вимірювання, методів і методик виконання вимірювань, правил застосування засобів вимірювальної техніки, критеріїв допустимих похибок, а також порядку документування результатів і забезпечення їх юридичної значущості. До цієї бази належать закони, підзаконні акти, технічні регламенти, національні стандарти, нормативні документи з метрології та суміжних сфер (зокрема, стандарти систем менеджменту якості та лабораторної компетентності). Сукупність нормативних вимог забезпечує уніфікацію підходів до вимірювань, мінімізує ризики неоднозначної інтерпретації результатів і встановлює єдині правила для всіх суб'єктів, від державних органів до підприємств і лабораторій. Таким чином, нормативно-правова база є інструментом гармонізації метрологічної діяльності та підвищення відтворюваності вимірювань у різних галузях економіки й науки.

Технічною основою системи забезпечення єдності вимірювань є еталони – матеріалізовані засоби або комплекси засобів, які відтворюють і зберігають розмір одиниці фізичної величини з найвищою в державі (для відповідного рівня) точністю та забезпечують передавання цього розміру іншим засобам вимірювань. Еталонна база формує верхній рівень ієрархії забезпечення точності: від національних еталонів і вторинних еталонів до робочих еталонів, що застосовуються у практичній діяльності лабораторій і підприємств. Наявність еталонів та їх належне утримання дають змогу створити єдину систему відтворення одиниць вимірювань, що критично важливо для порівнюваності результатів як у межах країни, так і в міжнародному контексті. Еталони є «точкою відліку» для всіх процедур калібрування та повірки, тому їхній статус, порядок застосування та вимоги до збереження регламентуються відповідними нормативними документами.

У практичній площині забезпечення єдності вимірювань реалізується через повірку та калібрування засобів вимірювальної техніки. Повірка, як правило, розглядається як процедура підтвердження відповідності засобу вимірювань установленим метрологічним вимогам (зокрема в законодавчо регульованих сферах), що включає перевірку метрологічних характеристик і придатності приладу до застосування за призначенням. Калібрування, своєю чергою, спрямоване на встановлення співвідношення між показами засобу вимірювань та значеннями, відтвореними еталонами або калібраторами, з визначенням метрологічних характеристик (наприклад, похибки, поправки) у заданих умовах. Обидві процедури забезпечують контроль і підтримання точності вимірювань протягом життєвого циклу приладів, включно з етапами введення в експлуатацію, періодичного контролю та післяремонтної перевірки. Вони також формують доказову базу щодо надійності результатів вимірювань, що особливо важливо при розрахунках у торгівлі, енергообліку, медичних вимірюваннях, технологічних процесах та експертній діяльності.

Важливою складовою державного регулювання є метрологічний контроль і метрологічний нагляд як комплекс організаційних, технічних і адміністративних заходів, спрямованих на забезпечення дотримання встановлених вимог у законодавчо регульованих вимірюваннях. Метрологічний контроль охоплює перевірку правильності застосування методик вимірювань, відповідності засобів вимірювань установленим вимогам, дотримання міжповірочних інтервалів, коректності маркування, ведення протоколів та іншої технічної документації. Наглядові заходи спрямовані на попередження порушень, виявлення причин появи недостовірних результатів і забезпечення усунення невідповідностей. У межах такого контролю формується механізм відповідальності та дисципліни вимірювань, що знижує ризики маніпуляцій, помилок і системних відхилень, а також підвищує рівень довіри до вимірювальної інформації з боку держави, бізнесу та споживачів.

Ключовим принципом сучасної метрології, який забезпечує наукову обґрунтованість і практичну порівнюваність результатів, є простежуваність вимірювань. Простежуваність означає встановлення документованого зв'язку між результатом вимірювання і відповідними еталонами через безперервний ланцюг калібрувань (або повірок, якщо це передбачено регулюванням), причому на кожному етапі ланцюга визначаються характеристики точності та невизначеність вимірювань. Такий підхід гарантує, що отримане значення не є ізольованим показом приладу, а інтегроване в систему відтворення одиниць, де кожна «ланка» підтверджена документально (сертифікатами калібрування/повірки, протоколами випробувань, методиками, умовами виконання вимірювань). Простежуваність особливо важлива у випадках, коли результати вимірювань використовуються для прийняття рішень із високою ціною помилки, наприклад, у діагностиці, контролі безпеки, розрахунках за енергоресурси, сертифікації продукції чи доказовій експертизі. Вона забезпечує відтворюваність результатів у часі, можливість їх порівняння між різними лабораторіями та приладами, а також формує основу для

міжнародного визнання результатів вимірювань у межах технічного співробітництва та взаємного прийняття результатів випробувань.

### **Порядок виконання практичної**

1. Виписати з закону про метрологію та метрологічну діяльність визначення: єдність вимірювань, простежуваність, повірка, калібрування, ЗВТ.

2. Побудувати схему структури метрологічної системи (служби/органи – еталони – ЗВТ – споживач).

3. Навести 5 прикладів сфер законодавчо регульованої метрології (медицина, торгівля, енергооблік...).

4. Зробити висновок: чим відрізняються повірка та калібрування (за призначенням і наслідками).

## Практична робота №2

### ЗАКОНОДАВЧО-НОРМАТИВНА БАЗА У СФЕРІ МЕТРОЛОГІЇ

**Мета:** ознайомитися з основними законодавчими та нормативними документами у сфері метрології й суміжних напрямів; навчитися знаходити в документах ключові вимоги та застосовувати їх для типових ситуацій (вимірювання, використання ЗВТ, контроль, відповідальність).

#### Короткі теоретичні відомості

Нормативна база, що регламентує метрологічну діяльність та суміжні процеси технічного регулювання в Україні, є багаторівневою системою взаємопов'язаних правових і нормативних документів. Вона охоплює законодавчі акти, підзаконні нормативно-правові документи, національні стандарти та гармонізовані міжнародні й європейські стандарти, сукупна дія яких спрямована на забезпечення єдності вимірювань, належної якості вимірювальної інформації, безпечності продукції та прозорості процедур підтвердження відповідності встановленим вимогам. Така система виконує не лише регуляторну, а й методологічну функцію, оскільки встановлює єдині підходи до термінології, класифікації об'єктів регулювання, визначення вимог до засобів вимірювальної техніки та результатів вимірювань, а також процедури контролю й оцінювання відповідності.

Фундаментальним елементом цієї бази є Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», який визначає правові та організаційні засади функціонування метрологічної системи. У межах цього закону закріплюються базові поняття (зокрема, вимірювання, похибка, невизначеність, еталон, калібрування, повірка, засіб вимірювальної техніки), що забезпечує однозначність їх застосування у нормативній і практичній площині. Закон також встановлює сфери законодавчо регульованої метрології, тобто такі види вимірювань, результати яких мають істотне значення для

безпеки, охорони здоров'я, захисту прав споживачів, чесності торговельних операцій, енерго- та ресурсообліку, а також інших суспільно значущих процесів. Для цих сфер визначаються підвищені та обов'язкові вимоги до точності, методик вимірювань, застосування засобів вимірювальної техніки, а також до порядку їх введення в експлуатацію і контролю в процесі використання. Відповідно, закон регламентує механізми метрологічного контролю та нагляду, які передбачають перевірку дотримання вимог щодо стану і застосування засобів вимірювань, правильності методик та належного документування результатів, що, у підсумку, забезпечує юридичну значущість вимірювальної інформації та зменшує ризики системних похибок, маніпуляцій або некоректного обліку.

Системоутворювальну роль у нормативному забезпеченні відіграє Закон України «Про стандартизацію», який встановлює правові та організаційні засади розроблення, прийняття і застосування стандартів. Він визначає види стандартів (національні, міждержавні, міжнародні тощо) та принципи стандартизації, зокрема пріоритет гармонізації з міжнародними та європейськими документами, відкритість і прозорість процесів, добровільність застосування стандартів (за винятком випадків, коли обов'язковість їх застосування встановлена законодавством або технічними регламентами). На практиці стандартизація забезпечує уніфікацію технічних вимог, методів випробувань, метрологічних процедур та термінології, що сприяє взаємній порівнюваності результатів, сумісності технічних рішень і підвищенню якості продукції та послуг. Крім того, стандарти слугують інструментом перенесення науково-технічних досягнень у практику через фіксацію оптимальних або загальновизнаних технічних рішень і методик.

Важливою складовою нормативної системи є Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», який формує правові засади технічного регулювання у частині встановлення обов'язкових вимог до продукції та процедур підтвердження відповідності цим вимогам. Технічні

регламенти в такій системі виконують роль нормативних актів, що визначають обов'язкові вимоги, насамперед у контексті безпеки та надійності продукції, процесів або послуг. Закон також регламентує процедури оцінювання відповідності, включно з вибором модулів/процедур, оформленням результатів, застосуванням маркування відповідності та визначенням ролей учасників процесу (виробників, уповноважених представників, органів з оцінки відповідності, випробувальних лабораторій). З погляду метрології цей закон є принципово важливим, оскільки значна частина вимог технічних регламентів реалізується через контроль параметрів, що підлягають вимірюванню, а отже — потребує застосування достовірних методик та засобів вимірювань з підтвердженими метрологічними характеристиками. Таким чином, технічне регулювання та метрологічне забезпечення виступають взаємодоповнювальними механізмами гарантування якості й безпеки. Практичне функціонування системи забезпечується підзаконними нормативно-правовими актами (постановами, наказами, правилами, порядками), які деталізують вимоги законодавства та визначають конкретні процедури реалізації метрологічних і регуляторних механізмів. Саме підзаконні документи, як правило, встановлюють порядок проведення перевірки й калібрування, вимоги до метрологічних служб, регламенти ведення обліку та маркування засобів вимірювальної техніки, визначають періодичність контролю, форми протоколів, сертифікатів та іншої доказової документації. Вони забезпечують практичну застосовність законодавчих норм, переводячи загальні принципи у конкретні технологічні й адміністративні алгоритми.

Значну роль у нормативній базі відіграють національні стандарти (ДСТУ), що містять технічні вимоги, методики випробувань, правила вимірювань, вимоги до термінології та документування. ДСТУ можуть застосовуватися як для добровільного впровадження найкращих практик, так і як нормативна основа для виконання вимог законодавства, якщо на стандарт є посилання в технічному регламенті, підзаконному акті або договорі. У

контексті метрології стандарти забезпечують уніфікацію методів вимірювання, визначення метрологічних характеристик, правила оцінювання похибок та невизначеності, вимоги до умов проведення вимірювань і оформлення результатів. Це безпосередньо впливає на відтворюваність та порівнюваність даних між різними лабораторіями, підприємствами й установами.

У разі гармонізації нормативної бази важливого значення набувають міжнародні та європейські стандарти (ISO/IEC, EN), які впроваджуються в Україні шляхом прийняття як національних стандартів або через застосування у встановленому порядку. Їх використання спрямоване на забезпечення сумісності технічних вимог із міжнародною практикою, полегшення взаємного визнання результатів випробувань і оцінки відповідності, а також підвищення конкурентоспроможності продукції на зовнішніх ринках. Гармонізовані стандарти часто виступають «практичним інструментом» виконання вимог технічних регламентів: дотримання положень такого стандарту, як правило, забезпечує презумпцію відповідності певним суттєвим вимогам регламенту, що спрощує доказування належного рівня безпечності та якості.

### **Порядок виконання практичної**

1. Скласти таблицю – документ, що він регулює та приклад застосування.
2. Знайти в кожному законі: мету, ключові терміни, об'єкти регулювання.
3. Пояснити різницю: стандарт vs технічний регламент (стандарт здебільшого добровільний, регламент – обов'язковий для вимог безпеки/відповідності).
4. Скласти висновок, як ці документи взаємопов'язані у життєвому циклі продукції/вимірювань.

## Практична робота №3

### СКЛАДОВІ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ

**Мета:** засвоїти класифікацію похибок вимірювань (систематичні, випадкові, грубі), навчитися обчислювати абсолютну та відносну похибки, оцінювати розсіювання результатів і виконувати базову оцінку невизначеності вимірювання за результатами серії вимірювань.

### Короткі теоретичні відомості

Похибка вимірювання є кількісною характеристикою відхилення результату вимірювання від істинного (або прийнятого за істинне) значення вимірюваної величини та відображає вплив сукупності чинників, пов'язаних із методом вимірювання, засобом вимірювальної техніки, умовами проведення вимірювань і діями оператора. У метрологічній практиці похибки умовно класифікують на систематичні, випадкові та грубі. Систематична похибка характеризується сталим знаком і закономірністю прояву; вона зумовлюється, наприклад, методичними спрощеннями, некоректним калібруванням приладу, дрейфом нуля, впливом температури, вологості чи електромагнітних завад, а також відхиленням умов вимірювання від нормованих. Випадкова похибка проявляється як розсіювання результатів при повторенні вимірювань у незмінних умовах; її причиною є дія великої кількості малих некерованих факторів, що змінюються випадково. Груба похибка (промах) пов'язана з одиничними суттєвими порушеннями процедури вимірювання (неправильне зчитування шкали, помилковий запис, неправильне підключення, некоректний вибір діапазону тощо) і, як правило, призводить до появи аномальних результатів, які підлягають виявленню та вилученню з вибірки за узгодженими критеріями.

Для кількісного опису похибок застосовують абсолютну та відносну похибки. Нехай  $x$  – результат вимірювання,  $x_{\text{іст}}$  – істинне значення (у практиці

часто використовують еталонне, дійсне або прийняте за істинне значення  $x_{\text{ref}}$ ).

Тоді абсолютна похибка визначається як:

$$\Delta = x - x_{\text{іст}}$$

$$\Delta = x - x_{\text{ref}}$$

У задачах, де важливий лише модуль відхилення, використовують модуль абсолютної похибки:

$$|\Delta| = |x - x_{\text{іст}}|$$

Відносна похибка характеризує похибку, нормовану до значення величини, і задається формулою:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{\text{іст}}} \cdot 100\%$$

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{\text{ref}}} \cdot 100\%$$

Якщо застосовують модуль, то:

$$|\delta| = \frac{|\Delta|}{|x_{\text{іст}}|} \cdot 100\%$$

У контексті технічних вимірювань також часто використовують границю (межу) допустимої абсолютної похибки приладу  $\Delta_{\text{max}}$ , яка нормується в документації, та відповідну границю відносної похибки:

$$\delta_{\text{max}} = \frac{\Delta_{\text{max}}}{x} \cdot 100\%$$

де  $x$  беруть як номінальне або поточне значення залежно від методики нормування.

Сучасна метрологія дедалі більше переходить від опису точності термінами «похибка» до оцінювання невизначеності вимірювання, що узгоджується з міжнародною практикою (концепція GUM). Невизначеність вимірювання – це параметр, пов’язаний з результатом вимірювання, який характеризує розсіювання значень, що можуть бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині. Нехай виконано  $n$  повторних вимірювань  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Тоді середнє значення (оцінка результату) визначається як:

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

Розсіювання результатів характеризують вибіркоким стандартним відхиленням:

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

Стандартна невизначеність типу А (статистична), тобто оцінена за результатами повторних спостережень, для середнього значення дорівнює:

$$u_A(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}}.$$

Невизначеність типу В визначають на основі нестатистичної інформації: паспортних даних засобу вимірювання, класу точності, сертифіката калібрування, попередніх даних, довідкових величин, умов експлуатації тощо. Якщо, наприклад, відомо, що систематичне відхилення (або межа похибки) лежить в інтервалі  $\pm a$  і розподіл вважають рівномірним (прямокутним), то стандартна невизначеність типу В оцінюється як:

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Якщо ж припускають трикутний розподіл у межах  $\pm a$ , то:

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{6}}$$

У разі наявності кількох незалежних складових невизначеності (наприклад, статистична складова, інструментальна складова, вплив температури, дискретність відліку тощо) обчислюють комбіновану стандартну невизначеність:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_m^2}$$

Для подання результату з заданим рівнем довіри використовують розширену невизначеність:

$$U = k \cdot u_c$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення (часто беруть  $k \approx 2$  для рівня довіри близько 95% за умов, наближених до нормального розподілу). Тоді результат вимірювання подають у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm U$$

### Порядок виконання практичної

1. Виконати серію з 10 вимірювань однієї величини (наприклад, напруга джерела).
2. Обчислити: середнє  $\bar{x}$ , розмах, стандартне відхилення  $s$ .
3. Оцінити невизначеність типу А:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

4. Оцінити тип В (за паспортом приладу або ціною поділки).
5. Знайти комбіновану:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

6. Записати результат:

$$x = \bar{x} \pm U, \quad U = k \cdot u_c$$

## Практична робота №4

### ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВТ

**Мета:** навчитися визначати та аналізувати основні метрологічні характеристики ЗВТ (діапазон, роздільна здатність, чутливість, допустима похибка, клас точності); набути навичок порівняння показів ЗВТ із еталонним/зразковим засобом та формування висновку про придатність.

#### Короткі теоретичні відомості

Метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) являють собою сукупність нормованих та/або експериментально визначених параметрів, які кількісно описують здатність приладу забезпечувати вимірювання заданої фізичної величини з установленою точністю в певних умовах застосування. Саме ці характеристики визначають придатність ЗВТ до виконання вимірювань за призначенням, а також слугують основою для його повірки, калібрування, метрологічної атестації і подальшого використання у сферах, де вимірювальна інформація має технічну або юридичну значущість. У практиці метрологічного забезпечення значення характеристик установлюють переважно шляхом порівняння показів досліджуваного ЗВТ з еталонним (зразковим) засобом вимірювань або з еталонними значеннями, відтворюваними калібраторами, із подальшим розрахунком похибок, невизначеності та інших показників якості.

Діапазон (межі) вимірювань визначає інтервал значень вимірюваної величини, у межах якого ЗВТ забезпечує нормовані метрологічні характеристики. Формально діапазон задають як:

$$x \in [x_{\min}, x_{\max}]$$

де  $x_{\min}$  і  $x_{\max}$  – нижня та верхня межі вимірювань відповідно. Важливо підкреслити, що діапазон є не лише геометричною межею шкали/індикації, а

інтервалом, у якому виконуються вимоги щодо похибки, стабільності та відтворюваності.

Однією з ключових нормованих характеристик є границя допустимої похибки (ГДП), яка визначає максимальне допустиме відхилення показів приладу від еталонного (прийнятого за істинне) значення за встановлених умов:

$$|\Delta| = |x - x_{\text{ref}}| \leq \Delta_{\text{max}}$$

де  $x$  – показ ЗВТ,  $x_{\text{ref}}$  – еталонне (зразкове) значення,  $\Delta_{\text{max}}$  – допустима межа абсолютної похибки.

У низці випадків ГДП задається у відносній формі:

$$|\delta| = \left| \frac{x - x_{\text{ref}}}{x_{\text{ref}}} \right| \cdot 100\% \leq \delta_{\text{max}}$$

Для приладів зі шкалою або діапазоном нерідко використовують нормування похибки відносно верхньої межі або відносно повної шкали (full scale):

$$|\delta_{\text{FS}}| = \frac{|x - x_{\text{ref}}|}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} \cdot 100\%$$

На практиці похибку часто оцінюють у наборі контрольних точок  $x_{\text{ref},i}$ , формуючи функцію похибки та аналізують її залежність від рівня сигналу, умов або часу:

$$\Delta_i = x_i - x_{\text{ref},i}$$

Роздільна здатність характеризує найменшу зміну вимірюваної величини, яка може бути відтворена/зафіксована приладом. Для аналогових приладів вводять ціну поділки:

$$d = \frac{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}{N}$$

де  $N$  – кількість поділок шкали в межах діапазону.

Для цифрових приладів застосовують крок квантування (LSB):

$$q = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2^n}$$

де  $n$  – мрозрядність аналого-цифрового перетворення або еквівалентна кількість бітів індикації.

Роздільна здатність пов'язана з похибкою дискретизації/відліку. Для ідеального рівномірного квантування стандартну невизначеність квантування часто оцінюють як (за прямокутним розподілом):

$$u_q = \frac{q}{\sqrt{12}}$$

Чутливість описує, наскільки змінюється вихідний сигнал приладу (показ/вихідна напруга/цифровий код) у відповідь на зміну вимірюваної величини. У загальному вигляді чутливість визначають як похідну передавальної функції:

$$S = \frac{dy}{dx}$$

де  $x$  – вимірювана величина (вхід),  $y$  – вихідний сигнал або показ. У дискретному наближенні:

$$S \approx \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Висока чутливість є необхідною для фіксації малих змін, однак сама по собі не гарантує високої точності: критичними залишаються шум, нестабільність нуля, нелінійність та інші складові.

Повторюваність відображає ступінь близькості результатів вимірювань, отриманих одним і тим самим ЗВТ за однакових умов за короткий проміжок часу (той самий оператор, методика, місце, параметри середовища). Кількісно повторюваність оцінюють через розсіювання результатів серії  $n$  повторів  $x_1, \dots, x_n$ , зокрема через вибіркове стандартне відхилення:

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

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

Іноді використовують коефіцієнт варіації:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

Повторюваність є статистичною характеристикою (джерело типу А у підході невизначеності) і безпосередньо впливає на стандартну невизначеність середнього:

$$u_A(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Дрейф – це систематична зміна метрологічних параметрів ЗВТ у часі (наприклад, зсув нуля, зміна чутливості), зумовлена старінням елементів, температурними впливами, нестабільністю живлення, механічними напруженнями тощо. Для характеристики дрейфу нуля часто використовують швидкість зміни показу при незмінному вході:

$$D_0 = \frac{dy_0(t)}{dt} \approx \frac{y_0(t_2) - y_0(t_1)}{t_2 - t_1}$$

де  $y_0(t)$  – показ (або вихід) при нульовому/сталому входному значенні. Аналогічно можна оцінювати дрейф коефіцієнта перетворення (чутливості) як зміну  $S(t)$  у часі.

Для низки приладів (переважно аналогових електровимірвальних) застосовують клас точності як узагальнену нормовану характеристику, що пов'язує допустиму похибку з повною шкалою або номінальною величиною. Типово клас точності  $\gamma$  задають у відсотках і визначають як:

$$\gamma = \frac{\Delta_{\max}}{X_N} \cdot 100\%$$

де  $X_N$  – нормувальне значення (часто верхня межа шкали  $x_{\max}$  або інше встановлене значення). Звідси:

$$\Delta_{\max} = \frac{\gamma}{100} X_N$$

Важливо зазначити, що клас точності задає межу похибки за нормованих умов і не підміняє собою повну метрологічну модель похибок, яка може залежати від діапазону, частоти, температури тощо. Практичне встановлення (або підтвердження) метрологічних характеристик здійснюють шляхом калібрування/піврки, під час яких досліджуваний ЗВТ порівнюють із зразковим ЗВТ або еталонним джерелом значень. У контрольній точці  $i$  задають еталонне значення  $x_{\text{ref},i}$  та фіксують показ приладу  $x_i$ . Основними розрахунковими величинами є:

$$\Delta_i = x_i - x_{\text{ref},i}$$
$$\delta_i = \frac{\Delta_i}{x_{\text{ref},i}} \cdot 100\%$$

Для оцінювання систематичних складових вводять поправку:

$$C_i = x_{\text{ref},i} - x_i = -\Delta_i$$

Яку за наявності відповідної методики можна застосовувати до показів приладу. Якщо потрібно оцінити характеристику на всьому діапазоні, будують калібрувальну (передавальну) характеристику  $x_{\text{ref}}=f(x)$  або  $y=f(x)$ , оцінюють її нелінійність, гістерезис, стабільність у часі та вплив зовнішніх факторів, а також визначають невизначеність результатів калібрування.

### **Порядок виконання практичної**

1. Обрати ЗВТ (мультиметр/термометр/штангенциркуль).
2. Виписати з паспорта: діапазон, роздільну здатність, заявлену похибку.
3. Провести калібрувальну перевірку у 5 точках діапазону (0–25–50–75–100%).
4. Для кожної точки: вимір ЗВТ  $x_i$  і еталона  $x_{\text{ref}}$ , похибка  $\Delta_i=x_i-x_{\text{ref}}$ .
5. Побудувати таблицю і зробити висновок, чи вкладається похибка у допустимі межі.

## Практична робота №5

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИМІРЮВАННЯ

**Мета:** закріпити поняття та принципи вимірювань (прямі/непрямі методи, модель вимірювання, методика, умови проведення); навчитися складати вимірювальну модель, оцінювати вплив похибок вхідних величин на результат і правильно оформлювати результат вимірювання.

#### Короткі теоретичні відомості

Вимірюванням називають цілеспрямований експериментальний процес отримання числового значення фізичної величини шляхом порівняння її з прийнятою одиницею та подальшої інтерпретації результату відповідно до встановленої методики. Результат вимірювання, як правило, подається у вигляді значення величини з одиницею та супровідними метрологічними характеристиками (оцінкою похибки або невизначеності), що забезпечує його наукову коректність і придатність для практичного використання.

За способом отримання результату розрізняють прямі, непрямі, а також сукупні (спільні) вимірювання. Прямі вимірювання передбачають безпосереднє визначення значення величини шляхом прямого відліку з показувального пристрою або шкали ЗВТ (наприклад, вимірювання довжини лінійкою, маси терезами, температури термометром). У цьому випадку результат одержують без обчислювального перетворення за фізичною моделлю об'єкта, а точність визначається метрологічними характеристиками приладу, умовами вимірювання та процедурою відліку. Непрямі вимірювання здійснюють тоді, коли значення шуканої величини ууу визначають обчисленням за відомою функціональною залежністю від інших величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , які вимірюються безпосередньо або також непрямо:

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

Класичним прикладом є визначення електричного опору за законом Ома через виміряні напругу  $U$  і струм  $I$ :

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

Для непрямих вимірювань принципово важливою є коректність математичної моделі  $f(\cdot)$ , а також врахування внеску похибок/невизначеностей усіх вхідних величин у невизначеність результату. Сукупні або спільні вимірювання мають місце, коли одночасно визначають декілька взаємопов'язаних величин, а шукані значення знаходять розв'язанням системи рівнянь, що описує результати спостережень. У загальному вигляді це можна подати як систему:

$$\begin{cases} y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ \vdots \\ y_m = f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{cases}$$

де за результатами вимірювань  $y_1, \dots, y_m$  визначають невідомі  $x_1, \dots, x_n$  (часто з використанням методів найменших квадратів у разі надлишкових вимірювань).

Коректність і відтворюваність вимірювань забезпечуються методикою вимірювання – нормативно або технологічно визначеним набором правил і операцій, який регламентує вибір засобів вимірювальної техніки, підготовку об'єкта, послідовність дій оператора, спосіб реєстрації даних, алгоритми оброблення результатів, а також вимоги до оцінювання похибки чи невизначеності. Важливою складовою методики є визначення та контроль умов вимірювання (температура, вологість, тиск, стабільність живлення, електромагнітні завади, механічні впливи тощо), оскільки відхилення умов від нормованих може спричиняти систематичні зміщення та збільшення розсіювання результатів.

Наукова та юридична значущість вимірювальної інформації забезпечується принципом простежуваності, який означає наявність документованого зв'язку між результатом вимірювання та еталонами одиниць через безперервний ланцюг калібрувань/повірок, де на кожній ланці визначені метрологічні характеристики та невизначеність. У цьому контексті результат вимірювання не розглядається як ізольований показ приладу, а як величина, інтегрована у систему відтворення одиниць.

Невід'ємною частиною опису якості вимірювання є похибки та/або невизначеність. Похибка традиційно інтерпретується як різниця між результатом і істинним (або еталонним) значенням, тоді як невизначеність характеризує інтервал значень, які обґрунтовано можуть бути приписані вимірюваній величині. Для забезпечення однозначності подання результатів застосовують правила округлення, відповідно до яких числове значення результату узгоджують із розрядністю невизначеності (або похибки): зазвичай невизначеність наводять з 1–2 значущими цифрами, а результат округлюють до того самого десяткового розряду, що й наведена невизначеність.

### **Порядок виконання практичної**

1. Для 3 величин вибрати метод: пряма/непряма.
2. Скласти «модель вимірювання» (формула, що пов'язує вимірювану величину з вхідними).
3. Оцінити внесок похибок вхідних величин у результат (поширення похибок).
4. Оформити протокол вимірювання: умови, прилади, результати, невизначеність, висновок.

## Практична робота №6

### НАЦІОНАЛЬНА СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦІЇ УКРАЇНИ

**Мета:** ознайомитися з національною системою стандартизації України, видами нормативних документів і роллю національного органу стандартизації; навчитися знаходити та ідентифікувати потрібні стандарти (ДСТУ, гармонізовані) і визначати їх застосування у технічній документації та практиці підприємства.

#### Короткі теоретичні відомості

Правову й організаційну основу національної системи стандартизації в Україні визначає Закон України «Про стандартизацію», який закріплює принципи стандартизації, порядок планування та виконання робіт, а також коло суб'єктів, їхні повноваження і відповідальність у процесах розроблення, прийняття, перегляду та скасування нормативних документів. У межах цього закону стандартизація розглядається як інструмент упорядкування вимог до продукції, процесів і послуг, забезпечення сумісності та взаємозамінності, підвищення якості й безпеки, а також створення єдиних підходів до методів випробувань, вимірювань і контролю.

Інституційним ядром системи є національний орган стандартизації, функції якого в Україні виконує ДП «УкрНДНЦ». Визначення відповідного державного підприємства як виконавця функцій національного органу стандартизації закріплено урядовим рішенням, а також відображено в офіційних матеріалах Міністерства економіки, де прямо зазначено, що з визначеної дати ці функції покладено на ДП «УкрНДНЦ». Зміст таких функцій у практичному вимірі включає організацію та координацію робіт з національної стандартизації (зокрема, формування й реалізацію програм робіт), прийняття та скасування національних нормативних документів, ведення відповідних інформаційних ресурсів і забезпечення офіційності текстів стандартів у встановленому порядку.

Нормативні документи у сфері стандартизації мають різний статус і призначення, що дає змогу охоплювати як загальні міжгалузеві вимоги, так і специфіку окремих об'єктів регулювання. До ключових типів належать:

1. **Національні стандарти (ДСТУ)** – документи, що встановлюють узгоджені правила, вимоги або характеристики щодо продукції, процесів чи послуг, а також методи випробувань і контролю. Їх застосування, як загальний принцип, є добровільним, однак може ставати обов'язковим у разі посилання на стандарт у нормативно-правовому акті, технічному регламенті, договорі або технічній документації, що надає вимогам стандарту юридично значущого характеру.

2. **Коди усталеної практики (настанови, правила, зводи правил)** – документи, орієнтовані на систематизацію та поширення перевірених практичних рішень і процедур (проектування, виготовлення, монтаж, експлуатація, контроль), які забезпечують відтворюваність виконання робіт і зменшують технологічні ризики.

3. **Технічні умови** – документи, що деталізують технічні вимоги до конкретної продукції (або її групи) у випадках, коли стандарт відсутній або не охоплює специфічних параметрів; зазвичай містять показники якості, правила приймання, методи контролю, вимоги до маркування, транспортування та зберігання.

4. **Гармонізовані стандарти** – національні документи, прийняті на основі міжнародних або європейських стандартів (ISO/IEC, EN) як ідентичні чи модифіковані. Їх застосування спрямоване на узгодження національних вимог із міжнародною практикою, полегшення технічної взаємосумісності та підвищення довіри до результатів оцінювання відповідності в міждержавній взаємодії.

## **Порядок виконання практичної**

1. Виписати основні терміни: стандарт, гармонізація, ТК (технічний комітет).
2. Знайти приклади 5 ДСТУ у своїй галузі (електротехніка/енергетика/приладобудування).
3. Пояснити роль УкрНДНЦ: прийняття/скасування нац. стандартів, ведення каталогу.
4. Зробити схему: міжнародний стандарт ISO/IEC – гармонізація – ДСТУ (за наявності).

## Практична робота №7

### ПОРЯДОК РОЗРОБЛЕННЯ, ЗАТВЕРДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТІВ

**Мета:** вивчити етапи життєвого циклу стандарту (ініціювання, розроблення, громадське обговорення, прийняття, перегляд/скасування) та ролі учасників процесу; набути навичок складання блок-схеми процесу і плану впровадження стандарту на рівні організації.

#### Короткі теоретичні відомості

Закон України «Про стандартизацію» визначає, що національний орган стандартизації виконує системоутворювальні функції в межах національної системи стандартизації, зокрема забезпечує формування (планування) програми робіт з національної стандартизації, організовує та координує розроблення, розгляд, прийняття, надання чинності, перегляд і скасування національних нормативних документів. У результаті стандартизація реалізується як керований і відтворюваний процес, у якому поєднано науково-технічну експертизу, узгодження позицій заінтересованих сторін і формальне затвердження документа з визначенням дати введення в дію.

Типова організаційно-технологічна логіка створення (або оновлення) стандарту включає послідовні етапи. На стадії ініціації формується потреба у нормативному документі (через запит державних органів, бізнесу, наукових установ, технічних комітетів або інших заінтересованих сторін), уточнюється об'єкт стандартизації, мета, сфера застосування та очікуваний регуляторний/технічний ефект. Після цього пропозиція інтегрується в програму робіт, що дозволяє забезпечити пріоритетність, ресурсне планування та прозорість робіт.

Далі роботи переходять до етапу розроблення, який, як правило, здійснюється технічним комітетом стандартизації та/або визначеним

розробником (профільною організацією чи групою експертів). На цьому етапі готується проєкт стандарту, що включає терміни та визначення, технічні вимоги, методи випробувань/контролю (за потреби), правила застосування, вимоги до маркування, посилання на взаємопов'язані нормативні документи тощо. Важливою науково-методичною вимогою є узгодженість проєкту з чинною нормативною базою та, за наявності відповідної політики гармонізації, зі структурою і положеннями міжнародних/європейських документів.

Наступним обов'язковим елементом виступає публічне обговорення (погодження), під час якого проєкт доводиться до заінтересованих сторін для подання зауважень і пропозицій. Науково-практичний зміст цього етапу полягає в досягненні консенсусу щодо технічних вимог і процедур, усуненні суперечностей, уточненні формулювань і забезпеченні застосовності положень стандарту в реальних умовах експлуатації чи виробництва. Отримані коментарі систематизуються, розглядаються розробником/технічним комітетом і, за необхідності, імплементуються в оновленій редакції проєкту з відповідним обґрунтуванням прийнятих або відхилених пропозицій.

Після завершення узгоджувальних процедур здійснюється прийняття стандарту національним органом стандартизації в установленому порядку. Прийняття супроводжується визначенням дати набрання чинності (введення в дію), що забезпечує перехідний період для впровадження вимог у виробничі процеси, документацію та практику випробувань/контролю. З моменту введення стандарту в дію він набуває статусу чинного нормативного документа і може застосовуватися добровільно або ставати обов'язковим у разі посилання на нього в технічних регламентах, нормативно-правових актах чи договорах.

Завершальним етапом життєвого циклу є періодичний перегляд, актуалізація або скасування документа. Перегляд зумовлюється розвитком

науки і техніки, змінами в технологіях, появою нових методів випробувань, оновленням міжнародних стандартів, а також виявленням практичних проблем застосування чинних вимог. Якщо стандарт втрачає актуальність, дублюється іншими документами або суперечить оновленій нормативній базі, приймається рішення про його скасування або заміну новою редакцією.

### **Порядок виконання практичної**

1. Описати етапи розроблення стандарту (5–8 кроків).
2. Розподілити ролі: ініціатор, ТК, розробник, НОС, зацікавлені сторони.
3. Скласти короткий план впровадження стандарту на підприємстві (навчання, зміни документації, контроль).
4. Оформити блок-схему процесу.

## Практична робота №8

### НАЦІОНАЛЬНА СИСТЕМА СЕРТИФІКАЦІЇ УКРАЇНИ

**Мета:** сформувати розуміння принципів оцінки відповідності та сертифікації в Україні, їх зв'язку з технічними регламентами та стандартами; навчитися визначати, чи підпадає продукція під вимоги оцінки відповідності, і скласти базовий алгоритм (маршрут) отримання документів відповідності.

#### Короткі теоретичні відомості

Сучасна модель технічного регулювання в Україні побудована на застосуванні технічних регламентів і передбачених ними процедур оцінки відповідності відповідно до Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності». У цій моделі технічний регламент виступає нормативно-правовим актом, який установлює обов'язкові вимоги до продукції (а в окремих випадках до пов'язаних процесів чи методів виробництва) та визначає, яким способом має бути доведено дотримання цих вимог через відповідні процедури оцінки відповідності.

У межах законодавчо регульованої сфери оцінка відповідності має обов'язковий характер для тієї продукції, на яку поширюється дія конкретного технічного регламенту: введення такої продукції в обіг (або надання на ринку) допускається лише за умови виконання встановленої процедури підтвердження відповідності. Водночас закон передбачає можливість добровільної оцінки відповідності, яка застосовується поза межами обов'язкових вимог технічних регламентів з метою додаткового підтвердження якості, підвищення довіри споживачів, конкурентоспроможності та репутаційної стійкості виробника/постачальника.

Форми та «глибина» оцінки відповідності залежать від потенційного ризику продукції та визначаються через модулі оцінки відповідності – уніфіковані процедури, які можуть передбачати різний ступінь залучення

третьої сторони (призначених органів з оцінки відповідності), випробувальних лабораторій, інспектування виробництва, перевірки системи управління якістю тощо. Нормативне закріплення модулів та їх застосування в технічних регламентах забезпечує порівнюваність підходів у різних секторах промисловості.

Залежно від обраної (або встановленої регламентом) процедури, результатами оцінки відповідності можуть бути різні документи та матеріальні/інформаційні підтвердження, зокрема:

1. сертифікат відповідності (як правило, коли підтвердження здійснює третя сторона призначений орган з оцінки відповідності, відповідно до застосованого модуля та схеми);
2. декларація про відповідність (коли відповідальність за підтвердження відповідності в межах визначеної процедури бере на себе виробник/уповноважений представник із оформленням декларації та комплекту технічної документації);
3. протокол(и) випробувань (результати лабораторних випробувань зразків продукції, які можуть бути частиною доказової бази як для сертифікації, так і для декларування);
4. технічна документація (комплект матеріалів, що обґрунтовує виконання суттєвих вимог регламенту: опис конструкції, аналіз ризиків, застосовані стандарти/методики, результати контролю, випробувань тощо) та інші супровідні записи, передбачені конкретним регламентом і модулем.

## **Порядок виконання практичної**

1. Обрати продукт (наприклад, подовжувач 220 В або датчик якості повітря).
2. Визначити, чи підпадає під технічні регламенти та які процедури оцінки відповідності можливі.
3. Скласти маршрут сертифікації/оцінки відповідності: ідентифікація вимог – випробування – аналіз виробництва (за потреби) – документ відповідності.
4. Описати пакет документів, який готує виробник (ТД, протоколи, інструкції, маркування).
5. Зробити висновок, що саме підтверджує сертифікація і як це пов'язано з безпекою та метрологією.