

Національний університет цивільного захисту України

Кафедра прикладної механіки

МЕТРОЛОГІЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Харків 2016

Друкується за рішенням методичної
ради НУЦЗУ
Протокол № від

Укладачі: О.В.Прокопов, С.О.Вамболь, І.В.Міщенко, В.Ю. Колосков

Рецензенти:

Метрологія і стандартизація [Текст] : конспект лекцій / О. В. Прокопов, С. О. Вамболь, І. В. Міщенко, В. Ю. Колосков. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – ____ с.

Викладено питання метрології, стандартизації та сертифікації. Наведено теоретичний матеріал та приклади розв'язання задач, які мають практичне значення. В курсі лекцій розглянуто такі розділи: основні визначення метрології, законодавча база метрології і стандартизації, організація метрологічної служби ДСНС України, Міжнародна система одиниць, операції вимірювання та засоби їхньої реалізації, класифікація та характеристики засобів вимірювання, методи обробки результатів вимірювань, похибки вимірювань, метрологічне забезпечення безпеки праці, метрологічне забезпечення моніторингу довкілля, метрологічні аспекти глобальних навігаційних супутникових систем, невизначеність вимірювання, оцінка ефективності метрологічного забезпечення у галузі цивільної безпеки, стандартизація та сертифікація як засіб забезпечення безпеки продукції, товарів та послуг, поняття про оцінку відповідності у галузі безпеки праці.

Для курсантів, студентів і слухачів відповідно до програми вищої освіти у магістратурі за спеціальністю «Цивільна безпека». Може бути корисним під час аудиторних занять та для самостійної роботи.

Відповідальний за випуск В.Ю. Колосков

© Національний університет цивільного захисту України, 2016

Оглавление

ЛЕКЦІЯ № 1. ОРГАНІЗАЦІЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	6
1.1. Предмет і задачі метрології. Основні терміни, визначення та загальні поняття	6
1.2. Законодавча та нормативна база України у галузі метрології.....	7
1.3. Реалізація положень законодавчих та нормативних документів з метрології у сфері забезпечення цивільної безпеки.....	12
1.4. Структура метрологічної служби ДСНС України.....	15
1.5. Основні завдання та функції метрологічної служби ДСНС України	17
ЛЕКЦІЯ № 2. СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В УКРАЇНІ ТА В СВІТІ.....	20
2.1. Системи фізичних величин	20
2.2. Міжнародна система одиниць SI	22
2.3. Похідні одиниці фізичних величин	26
ЛЕКЦІЯ № 3. ОПЕРАЦІЇ ВИМІРЮВАНЬ. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ..	34
3.1. Шкали вимірювань.....	34
3.2. Вимірювання фізичної величини	36
3.3. Класифікація вимірювань.....	38
3.4. Складові елементи вимірювань. Основні етапи вимірювань	45
3.5. Поняття та класифікація засобів вимірювань	47
ЛЕКЦІЯ № 4. ПОНЯТТЯ ПРО МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ...	54
4.1. Сутність метрологічного забезпечення безпеки праці	54
4.2. Зв'язок небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища з величинами, що підлягають вимірюванню у межах безпеки праці.....	54
4.3. Основні вимоги до засобів контролю параметрів небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища	56
4.4. Метрологічні характеристики засобів вимірювання.....	60
4.5. Похибки приладу. Клас точності	63
ЛЕКЦІЯ № 5. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ПРИ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАННЯХ.....	69
5.1. Похибки непрямих вимірювань при одноразових вимірюваннях	69
5.2. Похибки непрямих вимірювань при багаторазових вимірюваннях	74
5.3. Правила, яких прийнято дотримуватися при округленні результатів вимірювань.....	81
ЛЕКЦІЯ № 6. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА ШКІДЛИВИХ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ	84
6.1. Методи контролю показників підвищеної запиленості повітря робочої зони	84
6.2. Методи контролю показників мікроклімату	90
6.3. Методи контролю показників віброакустичних впливів	96
6.4. Методи контролю показників підвищеної (зниженої) аероіонізації повітря.	109
6.5. Методи контролю параметрів електричного струму, електричних, магнітних та електромагнітних полів	112
6.6. Методи контролю показників випромінювань оптичного діапазону.	122
6.7. Методи контролю показників небезпечних факторів пожежі та вибуху. .	123

6.8. Методи контролю показників іонізуючих випромінювань.....	123
6.9 Методи контролю параметрів хімічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.	123
6.10 Методи контролю параметрів біологічного забруднення повітря робочої зони.	126
ЛЕКЦІЯ № 7. НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ	130
7.1. Концепція невизначеності вимірювання. Основні поняття й визначення .	130
7.2. Обчислення стандартної невизначеності. Оцінювання стандартної невизначеності за типом А.....	133
7.3. Обчислення стандартної невизначеності. Оцінювання стандартної невизначеності за типом В	136
7.4. Визначення сумарної стандартної невизначеності	143
7.5. Визначення розширеної невизначеності. Коефіцієнт охоплення	148
7.6. Складання звіту про невизначеність.....	155
7.7. Короткий опис процедури оцінювання й вираження невизначеності	157
ЛЕКЦІЯ № 8. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ.....	159
8.1. Основні поняття та визначення	159
8.2. Оцінювання результатів робіт з метрології в пожежно-рятувальних підрозділах.....	160
8.3. Принцип побудови матриць попарних порівнянь.....	162
8.4. Побудова матриць попарних порівнянь пожежно-рятувальних підрозділів	163
8.5. Порядок обчислення ефективності.....	164
8.6. Загальний перелік можливих критеріїв оцінки ефективності робіт з метрології	167
ЛЕКЦІЯ № 9. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ	169
9.1 Стандартизація методів і засобів контролю стану довкілля	169
9.2 Акредитація екологічних лабораторій.....	176
9.3 Міжлабораторні порівняльні випробування	190
ЛЕКЦІЯ № 10. МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ГЛОБАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ.....	199
10.1. Загальний огляд глобальних навігаційних супутникових систем	199
10.2. Фізичні принципи, що лежать в основі функціонування ГНСС.....	200
10.3. Структура ГНСС	203
10.4. Рівняння вимірювання з урахуванням факторів впливу	206
10.5. Ефекти зовнішнього середовища й пов'язані з ними додаткові затримки	207
10.6. Теоретичні основи метрологічної атестації ГНСС приймачів.....	213
ЛЕКЦІЯ № 11. СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ ЯК ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРОДУКЦІЇ, ТОВАРІВ ТА ПОСЛУГ	216
11.1. Стандартизація в Україні	216
11.2. Основи сертифікації.....	224
11.3. Світові організації зі стандартизації	232
ЛЕКЦІЯ № 12. ПОНЯТТЯ ПРО ОЦІНКУ ВІДПОВІДНОСТІ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ	241
12.1. Поняття про оцінку відповідності.....	241

12.2. Технічне регулювання продукції, товарів та послуг	243
12.2.1. Зміст технічних регламентів	245
12.2.2. Декларування про відповідність технічним регламентам.....	246
12.3. Національні та транснаціональні знаки відповідності	247
12.4. Знаки відповідності організацій та асоціацій	252
12.5. Екологічні знаки.....	256
12.6. Маніпуляційні знаки	265
ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ	269

ЛЕКЦІЯ № 1.

ОРГАНІЗАЦІЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

1.1. Предмет і задачі метрології. Основні терміни, визначення та загальні поняття

Законодавчий характер метрології обумовлює стандартизацію її термінів і визначень. Даючи характеристику метрологічним поняттям і термінам, необхідно ясно усвідомлювати, що ж загалом представляють собою слова «поняття» і «термін», тому що строго визначеного формулювання цих слів дотепер немає. У той же час у філософських роботах, словниках, енциклопедіях надаються їхні визначення.

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

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

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

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

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

Єдність вимірювань – стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі із заданою ймовірністю та не виходять за встановлені границі. Як ясно з

визначення, це поняття містить не тільки виконання умови єдності використовуваних одиниць фізичних величин, але і значення похибки вимірювань, відомих із заданою ймовірністю.

Метрологічна діяльність – діяльність, пов’язана із забезпеченням єдності вимірювань.

Термін **метрологія** походить від грецьких слів: $\mu\epsilon\tau\rho\omicron\nu$ – міра і $\lambda\omicron\gamma\omicron\varsigma$ – учення, слово. У сучасному розумінні це **наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їхньої єдності і способах досягнення необхідної точності**. Встановлення одиниць вимірювання фізичних величин, їхнє відтворення за допомогою еталонів і розробка методів вимірювань складають предмет метрології.

До основних напрямків метрології відносяться:

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

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

1.2. Законодавча та нормативна база України у галузі метрології

З 1 січня 2016 року набула чинності нова редакція Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» — документа, спрямованого на узгодження українських норм у цій галузі з європейським законодавством.

Після підписання Угоди про асоціацію з ЄС виникла потреба у гармонізації основних для технічного та економічного боків життя українського суспільства понять «технічне регулювання», «система стандартизації», «оцінка відповідності», «метрологічна система» тощо з європейським законодавством, оскільки значна частина метрологічних термінів та визначень попередньої редакції закону не відповідали термінам і визначенням Міжнародного словника основних та загальних метрологічних термінів.

За основу в побудові національної метрологічної системи було взято документи та рекомендації Міжнародної організації із законодавчої метрології (OIML), директиви ЄС, документи Метричної конвенції, Міжнародної організації з акредитації лабораторій, угоди СОТ та угоди про технічні бар'єри в торгівлі — основне джерело інформації для створення національної метрологічної інфраструктури.

Вказаним законом встановлюються наступні терміни та визначення.

1) **вторинний еталон** - еталон, установлений шляхом калібрування за первинним еталоном для величини того самого роду;

2) **державний еталон** - первинний або вторинний еталон, що перебуває в державній власності;

3) **експертна перевірка засобів вимірювальної техніки** - перевірка, яка проводиться у разі виникнення спірних питань щодо метрологічних характеристик, придатності до застосування і правильності експлуатації засобів вимірювальної техніки;

4) **еталон** - реалізація визначення даної величини із встановленим значенням величини та пов'язаною з ним невизначеністю вимірювання, що використовується як основа для порівняння;

5) **єдність вимірювань** - стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в одиницях вимірювання, визначених цим Законом, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі з певною ймовірністю і не виходять за встановлені границі;

6) **засоби вимірювальної техніки** - засоби вимірювань, вимірювальні системи, матеріальні міри, стандартні зразки та будь-які частини засобів вимірювань або вимірювальних систем, якщо ці частини можуть бути об'єктом спеціальних вимог та окремого оцінювання відповідності;

7) **затвердження типу засобу вимірювальної техніки** - рішення призначеного органу з оцінки відповідності, прийняте на основі звіту про оцінку типу, про те, що тип засобу вимірювальної техніки відповідає встановленим вимогам і може використовуватися у сфері законодавчо регульованої метрології у спосіб, за якого він, як очікується, забезпечить надійні результати вимірювань протягом визначеного періоду часу;

8) **інспекційна перевірка засобів вимірювальної техніки** - перевірка засобів вимірювальної техніки, яка проводиться під час здійснення метрологічного нагляду;

9) **калібрувальна лабораторія** - підприємство, організація або їх відокремлений підрозділ, що здійснює калібрування засобів вимірювальної техніки;

10) **калібрування** - сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу;

11) **категорія законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки** - сукупність законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки того самого призначення;

12) **метрологічна діяльність** - діяльність, пов'язана із забезпеченням єдності вимірювань;

13) **метрологічна простежуваність (простежуваність)** - властивість результату вимірювань, яка полягає в тому, що цей результат може бути пов'язаний з еталоном через задокументований нерозривний ланцюг калібрувань, кожне з яких робить свій внесок у невизначеність вимірювання;

14) **метрологія** - наука про вимірювання та їх застосування;

15) **первинна повірка засобів вимірювальної техніки** - повірка засобів вимірювальної техніки, що не були повірені раніше;

16) **первинний еталон** - еталон, установлений з використанням первинної референтної методики вимірювань або створений як артефакт, обраний за угодою;

17) **періодична повірка засобів вимірювальної техніки** - повірка, що проводиться протягом періоду експлуатації засобів вимірювальної техніки через встановлений проміжок часу (міжповірочний інтервал);

18) **повірка засобів вимірювальної техніки** - сукупність операцій, що включає перевірку та маркування та/або видачу документа про повірку засобу вимірювальної техніки, які встановлюють і підтверджують, що зазначений засіб відповідає встановленим вимогам;

19) **повірочна лабораторія** - підприємство чи організація або їх відокремлений підрозділ, що проводить повірку засобів вимірювальної техніки;

20) **повторна перевірка** - перевірка, що проводиться для встановлення факту усунення порушення метрологічних вимог, наведених у відповідному приписі;

21) **позачергова повірка засобів вимірювальної техніки** - повірка засобів вимірювальної техніки, що проводиться у таких випадках:

за потреби заявника пересвідчитися у придатності засобів вимірювальної техніки до застосування;

у разі пошкодження відбитка повірочного тавра, а якщо таке тавро не передбачено - у разі втрати свідоцтва про повірку;

під час введення в експлуатацію засобів вимірювальної техніки, що пройшли первинну повірку, у випадках, передбачених технічними регламентами;

22) **суб'єкт господарювання** - зареєстрована в установленому законодавством порядку юридична особа (підприємство, установа, організація) незалежно від організаційно-правової форми і форми власності (далі - підприємства та організації) та фізична особа - підприємець, які провадять діяльність на території України;

23) **тип засобу вимірювальної техніки** - сукупність засобів вимірювальної техніки того самого призначення, які мають один і той самий принцип дії, подібну конструкцію та виготовлені за тією самою технічною документацією;

24) **фасований товар** - призначений для продажу товар, упакований за відсутності кінцевого споживача, при цьому кількість товару в упаковці має певне значення, зазначене на упаковці, що відповідає заздалегідь вибраному номінальному значенню і яке не може бути змінене без розкривання упаковки або її видимого пошкодження.

Серед основних відмінностей від Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 1314-VII від № 113/98-ВР слід зазначити:

1) розмежування регуляторних, наглядових (контрольних) та господарських функцій у сфері метрології;

2) розмежування адміністративних та господарських послуг;

3) звуження сфери нормативного регулювання метрологічної діяльності;

4) розширення застосування механізмів акредитації для підтвердження компетенції суб'єктів, що здійснюють метрологічну діяльність;

5) створення державної метрологічної інспекції.

Загалом закон про метрологію передбачає три види метрологічної діяльності: повірку законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, які перебувають в експлуатації, оцінку

відповідності засобів вимірювальної техніки вимогам технічних регламентів і калібрування засобів вимірювальної техніки. До речі, суть калібрування відтепер полягатиме не у встановленні придатності до використання засобів вимірювальної техніки, а у визначенні їхніх характеристик, з цією метою буде проводитися їх порівняння з відповідним еталоном.

Заплановано також створення чотирьох науково-метрологічних центрів у Києві, Львові, Харкові та Івано-Франківську, які займатимуться науковою діяльністю й створюватимуть та зберігатимуть національні еталони тощо. Це еталони, які мають найвищі характеристики у країні, які не обов'язково мають бути державними.

Ще один новий термін — «максимально допустима похибка», яку визначатимуть до кожної групи вимірювальної техніки. До речі, всі засоби вимірювальної техніки буде поділено на певні категорії, до кожної з яких висуватимуть окремі вимоги.

Також заплановано створення єдиного інспекційного конгломерату, куди увійде кілька інспекційних служб, зокрема й інспектори з державного метрологічного нагляду. За якістю засобів вимірювальної техніки, які ще не були в експлуатації, а лише у продажу, має стежити ринковий нагляд, а за тими, що перебувають в експлуатації, — державний метрологічний нагляд.

На виконання вимог закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» у державі формується відповідна нормативна база. Вимоги нормативних документів із метрології, затверджені Держстандартом України, є обов'язковими для виконання центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, організаціями, громадянами - суб'єктами підприємницької діяльності та іноземними виробниками.

Вимоги нормативних документів із метрології, затверджені центральними органами виконавчої влади, є обов'язковими для виконання підприємствами і організаціями, що належать до сфери управління цих органів.

Підприємства і організації можуть розробляти та затверджувати у сфері своєї діяльності документи з метрології, що конкретизують затверджені Держстандартом України нормативні документи з метрології і не суперечать їм.

На виконання вимог закону про метрологію в Україні створено Державний реєстр затверджених типів засобів вимірювальної техніки, який ведеться державним підприємством «Всеукраїнський державний

науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» згідно Порядку, затвердженого Наказом Мінекономрозвитку України від 13 липня 2016 року за № 1161.

Унесенню до Реєстру підлягають типи засобів вимірювальної техніки, затверджені призначеними органами з оцінки відповідності, перш за все зі сфери законодавчо регульованої метрології. ДП "Укрметртестстандарт" уносить до Реєстру відомості про затверджений тип засобу вимірювальної техніки на підставі наданих засобами електронного зв'язку призначеним органом з оцінки відповідності, що затвердив цей тип, копій таких документів:

- сертифіката перевірки типу ЗВТ;
- додатків та доповнень до сертифіката перевірки типу ЗВТ (за їх наявності).

До Реєстру вносяться такі відомості:

- назва та умовне позначення типу ЗВТ;
- найменування та місцезнаходження виробника ЗВТ;
- найменування та ідентифікаційний номер призначеного органу з оцінки відповідності, що видав сертифікат перевірки типу ЗВТ;
- дата видачі та строк дії сертифіката перевірки типу ЗВТ.

Постановою Кабінету Міністрів України від 4 червня 2015 року за №374 було затверджено Перелік категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці.

1.3. Реалізація положень законодавчих та нормативних документів з метрології у сфері забезпечення цивільної безпеки

Цивільний захист – це функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період. Розглянемо завдання, які виконує система цивільного захисту в сучасних умовах:

1. Попередження населення про виникнення надзвичайних ситуацій техногенного походження й вживання заходів щодо зменшення збитків у разі аварій, катастроф, значних пожеж і стихійних лих.

2. Оповіщення населення о ході ліквідації наслідків НС, постійне його інформування про обстановку, що складається. Для виконання цього завдання створена автоматизована система

оповіщення та інформаційного забезпечення на базі загальнодержавної мережі зв'язку та радіомовлення, яка поділяється на державну та регіональну.

3. Захист населення від наслідків стихійних лих. З метою виконання цього завдання здійснюється комплекс заходів, що забезпечують укриття населення в захисних спорудах, його евакуацію, медичний, радіаційний захист, а також захист від біологічних засобів ураження. Підставою для практичного здійснення заходів евакуації є показники стану довкілля в разі НС і відповідне рішення комісії ТЕБ та НС. Штаби ЦЗ беруть участь у плануванні евакозаходів і всебічно сприяють підготовці евакоорганів до їх роботи.

4. Організація та проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у зонах надзвичайних ситуацій та осередках ураження. Це завдання полягає у виконанні заходів, передбачених чинним законодавством з питань ліквідації наслідків НС, а також:

- розвідуванні осередків ураження й визначенні меж цих осередків;
- проведенні робіт, пов'язаних із пошуком і порятунком людей;
- наданні допомоги потерпілим;
- евакуації населення з осередків масових уражень;
- забезпеченні громадського порядку в зонах аварій, катастроф;
- здійсненні заходів життєзабезпечення населення;
- здійсненні санітарно-гігієнічних і протиепідемічних заходів тощо.

5. Створення систем аналізу, прогнозування, керування, оповіщення і зв'язку, спостереження та контролю за радіоактивним, хімічним і бактеріологічним зараженням, підтримка їх у готовності для стійкого функціонування в умовах НС мирного і воєнного часу. Спеціальні підрозділи центральних органів державної виконавчої влади цілодобово у встановлені терміни інформують штаб ЦЗ України про стан навколишнього природного середовища, подають відомості щодо прогнозів на найближчий час. Про загрозові явища штаб ЦЗ інформує негайно.

6. Організація життєзабезпечення населення під час аварій, катастроф, стихійних лих. Завдання передбачає заходи, що здійснюються центральними та місцевими органами державної влади, адміністраціями областей, міст, районів, установ і організацій

завчасно, а також у разі виникнення НС з метою створення умов для виживання населення, що може виявитися або виявилось в осередках ураження. Заходами життєзабезпечення населення, спрямованими на задоволення мінімальних потреб громадян, що постраждали від наслідків НС, надання їм побутових послуг і реалізацію соціальних гарантій на час проведення рятувальних та інших невідкладних робіт, є:

- тимчасове розселення громадян у безпечні місця;
- організація харчування населення в зонах НС;
- організація забезпечення потерпілого населення одягом, взуттям і товарами першої необхідності;
- забезпечення медичного обслуговування і санітарно-епідемічного нагляду в місцях тимчасового розселення.

Реалізація поставлених завдань є неможливою без створення систем контролю параметрів середовища, що є (або може бути) водночас джерелом та розпосюджувачем факторів небезпеки для населення. У такому випадку можна говорити про забезпечення **цивільної безпеки** як такого стану середовища, при якому величини усіх його параметрів знаходяться у межах, що є безпечними для будь-якої людини у межах території, що піддається захисту.

Традиційно розглядають види безпеки за видами тих небезпек, що викликають у середовищі відповідно до джерел їх походження, розрізняючи екологічну та техногенну безпеку, пов'язуючи їх відповідно з небезпеками природнього та антропогенного походження. У останні роки з розвитком технологій виробництва та появою нових матеріалів в межах техногенної безпеки в окремий розділ виділилася безпека праці, яка характеризує стан виробничого середовища на предмет можливої шкоди для здоров'я людей, які задіяні у виробничому процесі.

Як можна бачити завдання контролю параметрів середовища є достатньою мірою складним, оскільки постає необхідність вимірювання та оцінювання великою кількістю різноманітних показників джерел різної природи. Посталу проблему вирішують шляхом створення метрологічного забезпечення цивільного захисту.

Метрологічне забезпечення цивільного захисту полягає у проведенні заходів, які направлені на підтримку єдності, потрібної точності вимірювань та достовірності контролю параметрів з метою підтримки техніки та обладнання у стані, який забезпечує їх постійну готовність.

Основними завданнями метрологічного забезпечення є організація та проведення перевірки, регулювання та ремонту засобів

вимірювання радіотехнічних, електричних, теплотехнічних та механічних величин, приладів вимірювання іонізуючого випромінювання та іншої виміральної апаратури.

1.4. Структура метрологічної служби ДСНС України

Метрологічна служба ДСНС України діє згідно «ПОЛОЖЕННЯ про метрологічну службу Державної служби України з надзвичайних ситуацій» затвердженого Наказом Голови ДСНС України від 09.10.2015 року за № 502 відповідно до Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність", Типового положення про метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, органів управління об'єднань, підприємств та організацій, затвердженого наказом Державного комітету з питань технічного регулювання та споживчої політики України від 28 лютого 2005 року N 53, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 16 березня 2005 року за N 307/10587. Метою створення Метрологічної служби є підвищення ефективності метрологічного забезпечення ДСНС України.

Назване Положення поширюється на метрологічні служби головних управлінь (управлінь) ДСНС України в областях та м. Києві, підрозділів центрального підпорядкування ДСНС України, навчальних закладів, а також підприємств, установ та закладів, що належать до сфери управління ДСНС України.

Функції щодо координації робіт, пов'язаних із забезпеченням єдності вимірювань, здійсненням метрологічного контролю і нагляду в системі ДСНС України, покладаються на метрологічну службу ДСНС України.

У своїй діяльності метрологічна служба ДСНС України керується Конституцією України, законами України, актами Президента України та Кабінету Міністрів України, наказами Міністерства внутрішніх справ України та іншими нормативно – правовими актами.

Структуру метрологічної служби органів та підрозділів ДСНС України визначають їх керівники відповідно до обсягів робіт з урахуванням того, що роботи із забезпечення єдності вимірювань, у тому числі калібрування і ремонт засобів виміральної техніки, належать до основних видів робіт. Крім цього, начальники метрологічних служб (особи (метрологи), відповідальні за забезпечення єдності вимірювань) органів та підрозділів ДСНС України, можуть виконувати свої обов'язки спільно з виконанням інших обов'язків.

Для виконання робіт із забезпечення єдності вимірювання створюються головні та базові організації метрологічної служби.

Функції, права, обов'язки головних та базових організацій метрологічної служби ДСНС України, метрологічних служб органів та підрозділів ДСНС України визначаються відповідними положеннями, що затверджуються їх керівниками та погоджуються відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

Структура метрологічної служби ДСНС України складається з:

- начальника метрологічної служби ДСНС України;
- відділу засобів вимірювання, метрології та стандартизації Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту – головної організації з метрологічного забезпечення у сфері гідрометеорологічної діяльності;
- сектору метрології Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту – головної організації з метрологічного забезпечення у сфері пожежної безпеки;
- відділу метрологічного забезпечення Українського гідрометеорологічного центру – базової організації з метрологічного забезпечення у сфері гідрометеорологічної діяльності;
- сектору метрології Центральної геофізичної обсерваторії – базової організації з метрологічного забезпечення у сфері моніторингу за забрудненням навколишнього середовища;
- науково-випробувального центру Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту – базової організації з метрологічного забезпечення засобів індивідуального захисту та радіометричних засобів вимірювальної техніки;
- групи метрологічного забезпечення та технічної діагностики аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління ДСНС України у Полтавській області – базової організації з метрологічного забезпечення газоаналітичних засобів та методів вимірювань і вимірювань тиску;
- метрологічних служб (осіб (метрологів), відповідальних за забезпечення єдності вимірювань) органів та підрозділів ДСНС України;
- повірочних та калібрувальних лабораторій органів та підрозділів ДСНС України.

Загальне керівництво діяльністю метрологічної служби ДСНС України здійснює заступник Голови ДСНС України, який відповідно до розподілу функціональних обов'язків відповідає за забезпечення

єдності вимірювань. Безпосереднє керівництво робіт із метрологічної діяльності в системі ДСНС України покладається на начальника метрологічної служби (головного метролога), який призначається наказом ДСНС України.

Метрологічна служба ДСНС України має право:

- залучати в установленому порядку організації метрологічної служби ДСНС України до виконання робіт із забезпечення єдності вимірювань, здійснювати контроль у сфері своєї діяльності, отримувати від органів та підрозділів системи ДСНС України необхідні узагальнені звіти та інші матеріали з питань забезпечення єдності вимірювань;
- здійснювати організаційно-методичне керівництво роботами з атестації калібрувальних і вимірювальних лабораторій в органах та підрозділах ДСНС України;
- представляти інтереси ДСНС України з питань забезпечення єдності вимірювань в органах виконавчої влади;
- брати участь у розгляді суперечностей, що стосуються оцінки діяльності метрологічної служби органів та підрозділів ДСНС України;
- видавати за результатами метрологічного нагляду приписи щодо припинення порушень метрологічних вимог та усунення виявлення недоліків.

1.5. Основні завдання та функції метрологічної служби ДСНС України

Основними завданнями метрологічної служби ДСНС України є:

- визначення концепції розвитку метрологічної служби ДСНС України та реалізація її шляхом розроблення відповідних планів;
- складання і затвердження галузевих перспективних та щорічних планів робіт у сфері забезпечення єдності вимірювань та контроль за їх виконанням;
- розроблення та реалізація заходів щодо впровадження систем управління якістю в метрологічних підрозділах ДСНС України відповідно до вимог міжнародних та національних стандартів;
- організація і здійснення метрологічного контролю та нагляду;
- аналіз та оцінка стану метрологічного забезпечення галузі за результатами узагальнення інформації органів та підрозділів ДСНС України;

- розроблення методик виконання вимірювань, методик метрологічної атестації, повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки;
- організація подання на державні випробування і повірку, а також організація проведення ремонту засобів вимірювальної техніки.

Основними функціями метрологічної служби ДСНС України є:

- здійснення єдиної технічної політики у сфері забезпечення єдності вимірювань у системі ДСНС України;
- організація проведення аналізу стану вимірювань у системі ДСНС України та визначення основних напрямків подальшого розвитку забезпечення єдності вимірювань;
- організація і проведення метрологічного контролю і нагляду у системі ДСНС України;
- організація міжлабораторних порівняльних випробувань, а також міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань у вимірювальних лабораторіях органів та підрозділів ДСНС України;
- здійснення взаємодії з органами Державної метрологічної служби з питань забезпечення єдності вимірювань;
- участь у роботі з атестації організацій, координація діяльності та проведення періодичних перевірок з дотриманням нею вимог законодавства;
- участь у розробленні галузевих та міжгалузевих програм забезпечення єдності вимірювань, що спрямовані на вдосконалення забезпечення єдності вимірювань і підвищення ефективності робіт метрологічної служби, організація і контроль за їх виконанням;
- підготовка пропозицій до проектів планів національної стандартизації і розроблення планів робіт з удосконалення галузевої нормативної бази з метрології;
- організація і проведення метрологічної експертизи технічних завдань, проектів нормативних документів, звітів про науково-дослідні роботи.
- організація розроблення і впровадження нормативних документів з питань забезпечення метрологічної діяльності;
- участь у роботах з атестації вимірювальних і калібрувальних лабораторій органів та підрозділів ДСНС України та проведення перевірок за дотриманням ними вимог законодавства;

- організація робіт, необхідних для забезпечення єдності вимірювань в системі ДСНС України;
- участь у межах компетенції в міжнародному співробітництві у сфері метрології;
- організація галузевих нарад, семінарів, конференцій з питань забезпечення єдності вимірювань у системі ДСНС України.

ЛЕКЦІЯ № 2. СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В УКРАЇНІ ТА В СВІТІ

2.1. Системи фізичних величин

Вибір одиниць, необхідних для вимірювань усіх фізичних величин, можна зробити двома шляхами. По-перше, можна скласти набір одиниць, установлюючи кожен одиницю незалежно від всіх інших. По-друге, можна утворити систему одиниць, установлюючи незалежно тільки одиниці невеликого числа величин – так звані основні одиниці, відносячи всі інші до розряду похідних, розмір яких закономірно зв'язаний з розмірами основних одиниць. При сучасному рівні розвитку науки і техніки другий спосіб є єдино прийнятним. Історично в хронологічному порядку найбільш відомими системами були Система Гаусса, Система Британської Асоціації, Система МКГСС, Природна система одиниць Планка, Система МТС, Міжнародна система одиниць – **Le Systeme International d'Unites**, скорочено **SI**.

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

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

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

У 1870 р. у Парижі за пропозицією Петербурзької Академії наук була організована міжнародна комісія, що у 1872 р. прийняла рішення про відмовлення від визначення метра як однієї сорокамільйонної частки меридіана, «через те, що... доведено, що довжина існуючого

метра помітно відрізняється від його теоретичного визначення...». Указувалося, що для виготовлення міжнародного метра за основу повинний бути прийнятий «архівний метр у тім стані, у якому він знаходиться». Фактично здійснювався перехід від одиниць довжини і маси, заснованих на природних еталонах, до одиниць, що базуються на умовних матеріальних еталонах, і створенні платино-іридієвих прототипів. 20 травня 1875 р. на дипломатичній конференції, що проходила в Парижі, за участю 20 держав була підписана представниками 17 країн Метрична конвенція, що визначила принципи подальшого розвитку метрології в усім світі.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2. Міжнародна система одиниць SI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

А от одиниця сили світла в російській системі SI навіть змінила свою назву. Раніше (до 1970 р.) вона називалася свіча – і визначалася як значення одиниці сили світла, що випромінюється чорним тілом перпендикулярно поверхні площею $1/60$ см² при температурі затвердіння платини 2042,5 К і при нормальному тиску 101325 Па. Нове визначення прийняте XVI Генеральною конференцією по мірах і вагам у 1979 р.

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

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

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

Сучасне визначення одиниці кількості речовини – **Моль** дорівнює кількості речовини системи, що містить стільки ж

структурних елементів, скільки міститься атомів у вуглеці 12 масою 0,012 кг.

Поряд із сьома основними одиницями SI прийнято ще користуватися двома додатковими одиницями, досить корисними для рішення фізичних задач, але приналежних скоріше до такої науки як геометрія, чим фізика. Мова йде про радіан і стерадіан.

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

Одиниця плоского кута – **радіан** дорівнює куту між двома радіусами окружності, довжина дуги між якими дорівнює радіусу. В градусному обчисленні радіан дорівнює $57^{\circ}17'44,8''$.

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

Одиниця тілесного кута – **стерадіан** дорівнює тілесному куту з вершиною в центрі сфери, що вирізує на поверхні сфери площину, що дорівнює площині квадрата зі стороною, за довжиною рівною радіусу сфери. Вимірюють тілесні кути шляхом визначення плоских кутів і проведення додаткових розрахунків за формулою

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right),$$

де α – плоский кут при вершині конуса, який створено всередині сфери даним тілесним кутом.

Додаткові одиниці SI використовують для утворення одиниць кутової швидкості, кутового прискорення та деяких інших величин. Обмеженість їхнього використання у практичній діяльності обумовлена виразом значень кутів у радіанах трансцендентними числами.

2.3. Похідні одиниці фізичних величин

Похідні одиниці SI утворюються на підставі законів, що встановлюють зв'язок між фізичними величинами, або на підставі прийнятих визначень відповідних величин. У загальному випадку для кожної фізичної величини її розмірність може бути записана з використанням величин, одиниці яких попередньо встановлені. Для системи SI таких величин (основних) сім: у механіці це довжина (L), маса (M), час (T); вивчення термодинаміки приводить до

необхідності використання температури (Θ); в електродинаміці і фотометрії використовують силу електричного струму (I), силу світла (J); в області фізичної хімії і молекулярної фізики – кількість речовини (N). Вираз, що відображає залежність даної похідної величини від основних величин, у якому коефіцієнт пропорційності прийнятий рівним одиниці, називається **розмірністю** фізичної величини. Вона є собою добутком основних величин, зведених у відповідні ступені, що показують, у скільки разів збільшується або зменшується значення похідної величини при зміні значень основних величин. Для розмірності величин уведено позначення **dim** (скорочено від англ. **dimension** – розмірність, розмір). Таким чином, формула розмірності похідної одиниці має вигляд

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

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

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

$$F = ma,$$

де m – маса тіла, a – прискорення. Припускаючи в цьому співвідношенні $m = 1$ кг, $a = 1$ м/с², одержимо: 1 одиниця сили = (1 кг)•(1 м/с²) = 1 кг•м/с². Розмір одиниці дорівнює (1 кг)•(1 м):(1 с)². Найменування цієї одиниці «ньютон» і «**newton**», скорочені позначення Н и N . Ньютон – сила, що надає тілу з масою 1 кг прискорення 1 м/с² у напрямку дії сили. Розмірність одиниці сили (**unit of force or gravity**)

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

ПРИКЛАД 2. Тиск P і механічне напруження (σ – нормальне, τ – дотичне) визначаються зі співвідношення

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

де F – сила, S – площа, на яку діє сила. Припускаючи в співвідношенні $F=1$ Н, $S=1$ м², одержимо: 1 одиниця тиску (напруження)=(1 Н):(1 м²)=1 Н/м². Розмір одиниці дорівнює (1 Н):(1 м)². Найменування цієї одиниці «ньютон на квадратний метр» (або «паскаль» і «**pascal**»), а скорочені позначення Н/м², або Па, і N/m^2 , або Pa . Ньютон на квадратний метр – тиск (напруження), викликаний дією сили 1 Н, рівномірно розподіленої по поверхні площею 1 м². Розмірність одиниці тиску (напруження) (**unit of pressure or stress**)

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

ПРИКЛАД 3. Електричний опір R визначається з рівняння

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

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

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

ПРИКЛАД 4. Освітленість E визначається з рівняння

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

де Φ – світловий потік, S – освітлювана площа. Припускаючи $\Phi=1$ лм, $S=1$ м², одержимо: 1 одиниця освітленості=(1 лм)•(1 м²). Розмір цієї одиниці (1 лм)•(1 м)². Найменування цієї одиниці «люкс» і

«lux», скорочені позначення лк і lx . Люкс – освітленість, створювана світловим потоком у 1 лм, рівномірно розподіленим по площі 1 м². Розмірність одиниці освітленості (**unit of illuminance**)

$$E = \frac{\Phi}{F} = L^{-2} J \Omega.$$

Використовується також одиниця освітленості «фот» і «**phot**», скорочені позначення ф і ph : 1 ф=10⁴ лк.

Окремо варто виділити позасистемні одиниці (по відношенню до одиниць SI) фізичних величин, котрі не входять до прийнятої системи одиниць, і які можна розділити на наступні групи:

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

В науці і техніці широко поширені відносні та логаріфмічні величини та їхні одиниці, якими характеризуються склад і властивості матеріалів, відношення енергетичних і силових величин, наприклад, відносне подовження, відносна густина, відносна діелектрична проникність, посилення та послаблення потужностей тощо.

Відносна величина є безрозмірним відношенням фізичної величини до однойменної, яка приймається за вихідну. Відносні величини можуть виражатися в безрозмірних одиницях (коли відношення двох однойменних величин дорівнює 1), у відсотках (коли відношення дорівнює 10⁻²), проміле (відношення дорівнює 10⁻³) або в мільйонних частках (відношення дорівнює 10⁻⁶).

Логаріфмічна величина є логаріфмом (десятьковий, натуральний або при основі 2) безрозмірного відношення двох однойменних фізичних величин. Їх застосовують для виразу рівня звукового тиску, посилення, послаблення, виразу частотного інтервалу тощо. Одиницею логаріфмічної величини є бел (Б), який визначається

співвідношенням $1B = \lg \frac{P_2}{P_1}$, при $P_2 = 10 P_1$ (де P_1 і P_2 – однойменні

енергетичні величини: потужності, енергії, щільності енергії тощо). У

випадках, коли беруть логарифмічну величину для відношення двох однойменних «силових величин» (напруги, сили струму, тиску, напруженості поля тощо), бел визначається за формулою

$$1\text{Б} = 2 \lg \frac{F_2}{F_1}, \text{ при } F_2 = \sqrt{10} F_1. \text{ Частковою одиницею від бела є}$$

децибел (дБ), який дорівнює 0,1Б. При збільшенні або зменшенні потужності, наприклад, у 1000 разів логарифмічна величина складає 3Б або 30 дБ.

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

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

Якщо частка від ділення на одиницю часу не є величиною, що характеризує протікання процесу в часі, то застосовується прийменник «на». Прикладом цього є найменування одиниці кінематичної в'язкості – «квадратний метр на секунду».

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

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

У найменуваннях похідних одиниць, утворених як добуток одиниць, відмінюється тільки останнє найменування і прикметник, який відноситься до нього, «квадратний» або «кубічний». При

відмінюванні найменувань одиниць, що містять знаменник, змінюється тільки частина, що відповідає чисельникові.

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

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

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

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

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

Згідно з цими правилами, обов'язково потрібно ставити знак множення (крапку) у скороченому позначенні одиниці, що виражається через добуток інших одиниць. Наприклад, запис «Н•м» означає «ньютон-метр», у той час як «нм» читається як «нанометр». Якщо складна одиниця виражається через відношення інших одиниць, у скороченому позначенні потрібно застосовувати знаки ділення «/». У тих випадках, коли як знак ділення використовується коса риска, а знаменник складається з декількох співмножників, потрібно весь знаменник узяти в дужки. Це виключає виникнення різних тлумачень змісту скороченого позначення одиниці. Наприклад, одиниця коефіцієнта теплопровідності записується у вигляді «1 Вт/(м•К)». Запис у вигляді «1 Вт/м•К» приводить до помилкового розуміння зазначеного запису.

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

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

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

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

2.4. Кратні та часткові одиниці вимірювань

Кратні та часткові одиниці вимірювань утворюються від вихідної одиниці множенням або діленням на ступінь числа 10. Згідно з резолюцією XI Генеральної конференції по мірах і вагам 1960 р. десяткові кратні та часткові одиниці від одиниць SI утворюються шляхом приєднання приставок.

Таблиця 2.1.

Найменування приставки (позначення)					Множник	Найменування множника
Українське		Російське		Лат		
йотта	-	йотта	І	Y	$10^{24} = 1000000000000000000000000$	септильйон
зетта	-	зетта	З	Z	$10^{21} = 100000000000000000000000$	секстильйон
екса	Е	екса	Э	E	$10^{18} = 100000000000000000000000$	квінтильйон
пета	П	пета	П	P	$10^{15} = 100000000000000000000000$	квадрильйон
тера	Т	тера	Т	T	$10^{12} = 100000000000000000000000$	трильйон
гіга	Г	гига	Г	G	$10^9 = 100000000000000000000000$	мільярд
мега	М	мега	М	M	$10^6 = 100000000000000000000000$	мільйон
міріа	ма	мириа	ма	ma	$10^4 = 100000000000000000000000$	міріад
кіло	к	кило	к	k	$10^3 = 100000000000000000000000$	тисяча
гекто	г	гекто	г	h	$10^2 = 100000000000000000000000$	сто
дека	да	дека	да	da	$10^1 = 100000000000000000000000$	десять
					$10^0 = 100000000000000000000000$	одиниця
деци	д	деци	д	d	$10^{-1} = 0,100000000000000000000000$	одна десята
санти	с	санти	с	c	$10^{-2} = 0,010000000000000000000000$	одна сота
мілі	м	милли	м	m	$10^{-3} = 0,001000000000000000000000$	одна тисячна
міріо	мо	мирио	мо	mo	$10^{-4} = 0,000100000000000000000000$	одна міріадна
мікро	мк	микро	мк	μ	$10^{-6} = 0,0000010000000000000000$	одна мільйонна
нано	н	нано	н	n	$10^{-9} = 0,0000000010000000000000$	одна мільярдна
піко	п	пико	п	p	$10^{-12} = 0,0000000000010000000000$	одна трильйонна
фемто	ф	фемто	ф	f	$10^{-15} = 0,0000000000000010000000$	одна квадрильйонна
атто	а	атто	а	a	$10^{-18} = 0,000000000000000001000000$	одна квінтильйонна
цепто, зеpto	-	цепто, зеpto	з	z	$10^{-21} = 0,000000000000000000000001$	одна секстильйонна
йокто	-	йокто	і	y	$10^{-24} = 0,00000000000000000000000001$	одна септильйонна

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

Таблиця 2.2.

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

ЛЕКЦІЯ № 3.

ОПЕРАЦІЇ ВИМІРЮВАНЬ. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ

3.1. Шкали вимірювань

Поняття фізична величина та вимірювання тісно пов'язані з поняттям **шкали фізичної величини** – упорядкованої сукупності значень фізичної величини, яка служить вихідною основою для вимірювання даної величини. У процесі практичної діяльності людини доводиться порівнювати між собою розміри фізичних величин. **Шкалою вимірювання** називають порядок визначення та позначення можливих значень конкретної величини під час прояву будь-якої властивості. Ці порівняння для різних фізичних величин можуть здійснюватися в чотири різних способи, за чотирма різними шкалами: найменувань, порядку, інтервалів і відносин.

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

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

Визначені точки на шкалі порядку фіксуються як опорні (реперні), що виражаються, як правило, у балах. По реперних шкалах порівнюються, наприклад, інтенсивність землетрусів, сила морського хвилювання, рівень знань, чутливість фотоплівки тощо. В деяких випадках у цих шкалах може бути нульова відмітка (наприклад, в шкалі Ботфорта оцінки сили вітру – відсутність вітру).

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

Шкали порядку та найменувань називають **неметричними** шкалами.

Порівняння за шкалою інтервалів (відмінностей) – шкала інтервалів відрізняється від шкали порядку тим, що вона складена з рівних, строго визначених інтервалів.

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

При порівнянні температур користуються шкалами, які одержані шляхом пропорційного ділення інтервалу між двома реперними точками. Так, у температурній шкалі Цельсія один градус є сотою частиною інтервалу між температурою танення льоду, прийнятої за початок відліку, і температурою кипіння води. Структура шкали інтервалів не змінюється при лінійному перетворенні у вигляді $x' = ax + b$, $a > 0$. Це перетворення зміщає початок на b одиниць і змінює одиницю перетворення в a рази. Як приклад розглянемо перетворення

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

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

По шкалі інтервалів можна вже судити не тільки про те, що один розмір більше іншого, але і про те, на скільки більше, тобто для шкали інтервалів визначені такі математичні дії як додавання і вирахування. Таким чином, для шкали інтервалів відомим є масштаб шкали, а початок відліку може бути обрано довільно, тому недоліком шкал інтервалів є те, що по них неможливо визначити відношення між різними розмірами.

Порівняння за шкалою відносин – у шкалах відносин у якості однієї з реперних точок приймають таку, у якій розмір фізичної величини дорівнює нулеві. Прикладом може служити температурна шкала Кельвіна $K = ^{\circ}C + 273,15$, що є абсолютною шкалою Цельсія. У ній за початок відліку прийнята температура, при якій припиняється

тепловий рух молекул. За таким самим принципом побудована температурна шкала Ренкіна $^{\circ}R = ^{\circ}F + 460$, що є абсолютною шкалою Фаренгейта.

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

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

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

Розвитком шкали відносин є **абсолютні** шкали, в яких однозначно (а не за згодою) присутнє визначення одиниці вимірювання. Абсолютні шкали притаманні відносним одиницям (коефіцієнти посилення, корисної дії тощо)., одиниці таких шкал є безрозмірними.

Шкали інтервалів, відносин й абсолютні називаються **метричними (фізичними) шкалами**.

3.2. Вимірювання фізичної величини

Згідно з Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» **вимірювання – відображення фізичних величин їх значеннями за допомогою експерименту та обчислень, із застосуванням спеціальних технічних засобів.**

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

Таким чином, сутність вимірювання складається в порівнянні двох фізичних величин: **вимірюваної**, котра виражає цікавлячу нас особливість досліджуваного об'єкта і **відомої**, котра властива спеціально створеному об'єктові, що називається **мірою** (Рис. 3.1). Операція порівняння здійснюється за допомогою засобу вимірювання. У результаті вимірювання одержують одне значення відліку q , що

використовується для одержання єдиного значення q засобу вимірювань, що має ту ж розмірність, що і вимірювана величина, і зв'язані залежністю

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

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

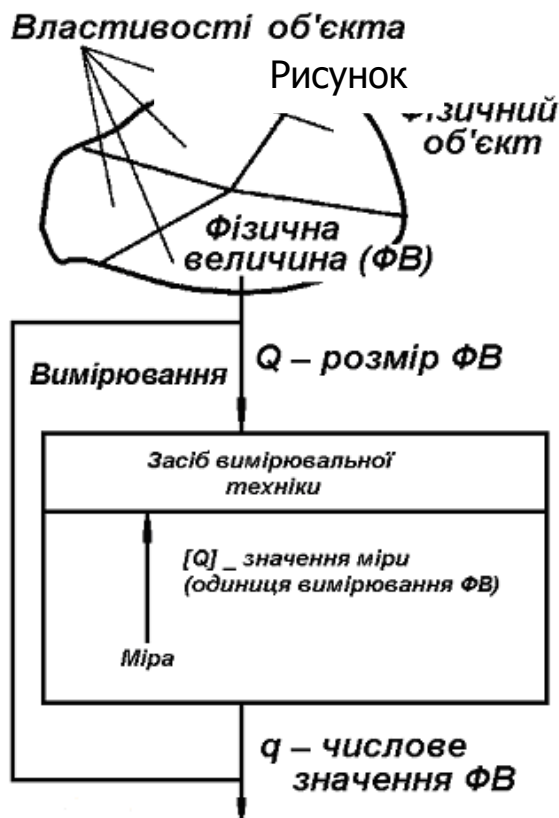


Рисунок 3.1.

Приведене визначення поняття вимірювання задовольняє загальному рівнянню вимірювань, що має істотне значення в справі упорядкування системи понять у метрології. У ньому врахована технічна сторона (сукупність операцій), розкрита метрологічна суть вимірювання (порівняння з одиницею) і показаний гносеологічний аспект (одержання значення величини **або** інформації про нього).

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

- можливість виділення вимірюваної величини серед інших величин;
- можливість встановлення одиниці, необхідної для вимірювання виділеної величини;
- можливість матеріалізації (відтворення або збереження) встановленої одиниці технічним засобом;

- можливість збереження незмінним розміру одиниці (у межах установленої точності) як мінімум на термін, необхідний для вимірювань.

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

Від терміна «вимірювання» походить термін «вимірювати», яким широко користуються на практиці. Усе-таки нерідко застосовуються невірні терміни, такі як «міряти», «обміряти», «заміряти», «проміряти», що не вписуються в систему метрологічних термінів. Їх застосовувати не слід. Не слід також застосовувати такі вираження як «вимірювання значення» (наприклад, миттєвого значення напруги або його середнього квадратичного значення), тому що значення величини – це вже результат вимірювання.

3.3. Класифікація вимірювань

Вимірювання традиційно розділяються за багатьма класифікаційними ознаками, до яких можна віднести спосіб знаходження числового значення фізичної величини, кількість спостережень, характер залежності величини, що вимірюється, від часу, умови, які визначають точність результатів, спосіб виразу результатів вимірювань, кількість вимірюваних миттєвих значень в заданому інтервалі часу. Розглянемо одну з багатьох серед існуючих різновидів класифікації за найбільш істотними традиційними ознаками (Рис. 3.2).

Класифікація за **вимірюваними фізичними величинами** – найбільш громіздка, оскільки в даний час їх існує більш 2000. Найбільше детально розроблена класифікація такого роду містить п'ять ступіней: **області, види, галузі, підвиди і різновиди**.

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

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

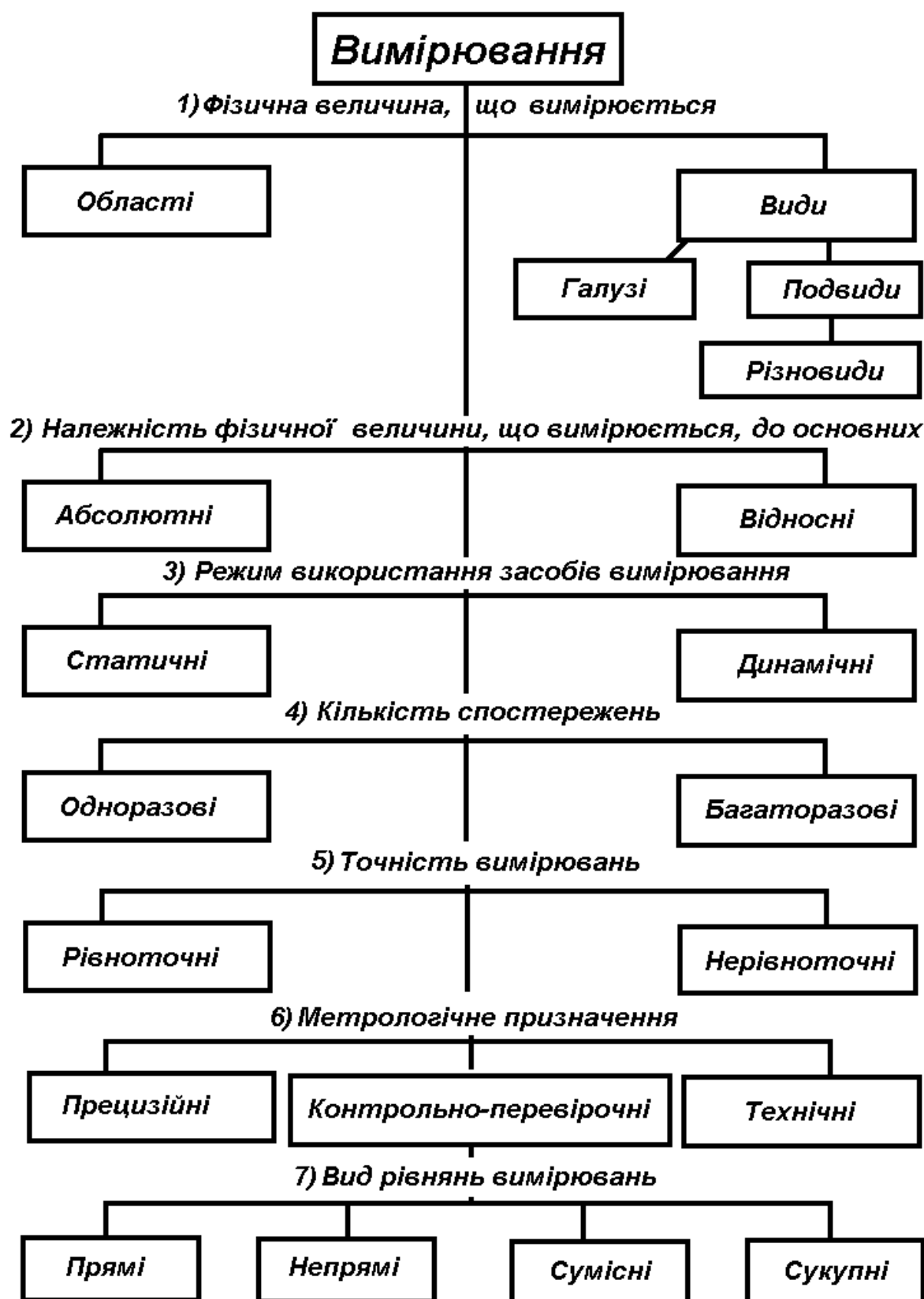


Рисунок 3.2.

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

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

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

На сьогодні всі вимірювання відповідно до фізичних законів, що використовуються під час їхнього проведення, згруповані в 13 видів вимірювання: 1) геометричні, 2) механічні, 3) витрати, місткості, рівня, 4) тиску і вакууму, 5) фізико-хімічні, 6) температурні та теплофізичні, 7) часу та частоти, 8) електричні та магнітні, 9) радіоелектронні, 10) віброакустичні, 11) оптичні, 12) параметрів іонізуючих випромінювань, 13) біомедичні.

Вимірювання можуть бути класифіковані:

- за способом вираження результатів вимірювань – абсолютні, відносні;
- стосовно зміни вимірюваної величини у часі (режимів використання засобів вимірювання) – статичні, динамічні;
- за числом вимірювань у ряді вимірювань – одноразові, багаторазові;
- за характеристикою точності – рівноточні, нерівноточні;
- за метрологічним призначенням – технічні, метрологічні;
- за загальними прийомами одержання результатів вимірювань – прямі, непрямі, спільні, сукупні.

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

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

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

2. Поняття «абсолютне вимірювання» застосовується як протилежне поняттю «відносне вимірювання» і розглядається як

вимірювання величини в її одиницях. У такому розумінні це поняття знаходить усе більше і більше застосування.

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

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

ПРИКЛАДИ.

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

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

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

ПРИКЛАДИ.

1. Вимірювання довжини деталі при нормальній температурі.

2. Вимірювання розмірів земельної ділянки.

Динамічне вимірювання – вимірювання фізичної величини, що змінюється за розміром, і, якщо необхідно, її зміни в часі.

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

Одноразове вимірювання – вимірювання, виконане один раз.

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

Для більшої впевненості в одержуваному результаті й оцінки похибки одного вимірювання недостатньо, тому виконується два – три і більш вимірювань однієї і тієї ж величини. У цьому випадку може

бути допущене вираження «дворазове **вимірювання**», «триразове **вимірювання**» тощо.

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

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

Рівноточні вимірювання – ряд вимірювань (серія наступних один за одним вимірювань фізичної величини) якої-небудь величини, виконаних однаковими за точністю засобами вимірювань і в тих самих умовах. Перш ніж обробляти ряд вимірювань, необхідно переконатися в тім, що усі вимірювання цього ряду є рівноточними.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. На підставі низки одночасних вимірювань збільшень довжини зразка в залежності від змін його температури (отриманих шляхом вимірювань) визначають коефіцієнт лінійного розширення зразка.

2. Вимірювання, при якому електричний опір резистора при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ і його температурні коефіцієнти знаходять за даними прямих вимірювань опору, що виконуються при різних температурах

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

Це рівняння виражає температурну залежність резистора. Вимірюючи одночасно опір резистора R і його температуру t ,

одержують кілька рівнянь, з яких знаходять опір резистора R_{20} при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ і температурні коефіцієнти α і β .

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

3.4. Складові елементи вимірювань. Основні етапи вимірювань

Для проведення вимірювання та досягнення поставленої мети, необхідно сформулювати вимірювальну задачу, до якої мають увійти наступні складові елементи вимірювань:

- об'єкт вимірювання, тобто величина, що вимірюється;
- одиниця вимірювання, з якою порівнюється вказана величина;
- засіб вимірювання, вибір якого має бути оптимальним для досягнення необхідного результату вимірювань;
- результат вимірювання, яким є, як правило, іменоване число;
- точність вимірювання, яка задається під час постановки вимірювальної задачі.

Будь-яке вимірювання містить у собі три основних етапи.

1. Підготовка до вимірювання, змістом якого є;

- а) постановка вимірювальної задачі;
- б) вибір методу і засобів вимірювальної техніки, їхнє розміщення;
- в) забезпечення необхідних умов проведення експерименту.

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

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

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

Метод протиставлення – величина, що вимірюється, і величина, відтворена мірою, одночасно впливають на прилад порівняння, за допомогою якого встановлюється співвідношення між цими величинами. Наприклад, вимірювання маси на рівноплечих вагах із розташуванням вимірюваної маси та її гир, що зрівноважують, на двох чашах ваг.

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

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

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

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

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

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

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

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

Конкретна реалізація зазначених етапів залежить від виду вимірювання.

3.5. Поняття та класифікація засобів вимірювань

Для проведення вимірювань потрібні спеціальні технічні засоби.

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

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

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

За метрологічним призначенням ЗВ підрозділяються на:

* **робочі засоби вимірювань**, призначені для вимірювань, не зв'язаних з передачею розміру одиниці іншим засобам вимірювань. До робочих ЗВ відносять засоби, які застосовуються в наукових цілях, при контролі параметрів продукції і технологічних процесів; в

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

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

Згідно із Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» **еталон** – реалізація визначення даної величини із встановленим значенням величини та пов'язаною з ним невизначеністю вимірювання, що використовується як основа для порівняння

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

За конструктивним виконанням ЗВ підрозділяються на:

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

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

відносять **стандартні зразки** та **зразкову речовину**, якими є спеціально оформлені тіла або проби речовини визначеного та строго регламентованого змісту, одна з властивостей яких є величиною з відомим значенням. Наприклад, зразки твердості або шорсткості.

Міри підрозділяють на **однозначні, багатозначні, набори мір, магазини мір**. **Однозначна міра** – міра, що відтворює фізичну величину одного розміру. **Багатозначна міра** – міра, що відтворює фізичну величину різних розмірів. **Набір мір** – комплект мір різного розміру однієї і тієї ж фізичної величини, необхідний для застосування на практиці як окремо, так і в різних сполученнях. **Магазин мір** – набір мір, конструктивно об'єднаних у єдиний пристрій, у якому є пристосування для їхнього з'єднання в різних комбінаціях. Окремо визначають **калібр** – міру, призначену для порівняння з нею розмірів, форми і розташування поверхонь деталей виробів з метою визначення їхньої придатності (контролю).

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

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

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

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

За рівнем автоматизації розрізняють:

- * **неавтоматичний ЗВ** – засіб, що не має пристроїв для автоматичного виконання вимірювань і обробки їхніх результатів
- * **автоматизований ЗВ** – засіб, що робить в автоматичному режимі одну або частину вимірювальних операцій. Автоматизований засіб вимірювань може проводити в автоматичному режимі або вимірювання та реєстрацію даних, або їхню обробку, або вироблення регулюючого сигналу, або передачу даних на відстань.
- * **автоматичний ЗВ** – засіб, що робить в автоматичному режимі вимірювання та всі операції, зв'язані з обробкою результатів вимірювань, їхньою реєстрацією, передачею даних або виробленням керуючого сигналу.

За рівнем стандартизації розрізняють

- * **стандартизований ЗВ** – засіб, виготовлений відповідно до вимог державного або галузевого стандарту. Звичайно, технічні характеристики стандартизованого засобу вимірювань відповідають технічним характеристикам установленого типу ЗВ, отриманим на підставі державних іспитів. ЗВ, внесені до Державного реєстру засобів вимірювань, як правило, відносяться до числа стандартизованих.
- * **нестандартизований ЗВ** – унікальний засіб, призначений для спеціальної вимірювальної задачі, у стандартизації вимог до якого немає необхідності. Нестандартизовані ЗВ не підлягають державним іспитам, а підлягають метрологічній атестації.

Стосовно вимірюваної фізичної величини розрізняють:

- * **основний ЗВ** – ЗВ тієї фізичної величини, значення якого необхідно одержати відповідно до вимірювальної задачі.
- * **допоміжний ЗВ** – ЗВ тієї фізичної величини, вплив якого на основний ЗВ або об'єкт вимірювань необхідно врахувати для одержання результатів вимірювань необхідної точності.

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

- за використовуваними фізичними процесами вимірювальні пристрої розділяють на механічні, електромеханічні, електронні, оптикоелектронні тощо;

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

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

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

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

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

Цифровий відліковий або пристрій, що реєструє, ніяк не обмежує точність цифрового приладу, тому що цифровий код без

якої-небудь похибки може бути зображений на цифровому відліковому пристрої.

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

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

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

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

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

Для реєстраційних приладів, а також вимірювальних перетворювачів, вимога швидкодії є істотною, особливо, коли обробка інформації здійснюється за допомогою обчислювальної техніки. У цьому випадку цифрові вимірювальні пристрої забезпечують більшу швидкодію, тому що цифровий код може безпосередньо, без участі оператора вводиться в комп'ютер. Виключення складають електронні осцилографи, що дозволяють

спостерігати та проводити аналіз форми процесів, які настільки швидко протікають, що перетворення їх у цифровий код пов'язано з більшою похибкою, або взагалі неможливо через обмежену швидкодію цифрових засобів вимірювань (рівнобіжна обробка). На жаль, це приводить до ускладнення приладу. До недоліків цифрових приладів відносять їх порівняно високу вартість.

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

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

За місцем використання вимірювальні пристрої поділяють на лабораторні і виробничі, котрі різко відрізняються за умовами експлуатації, технічними та метрологічними характеристиками.

Таблиця 3.2.

Величина, що впливає	Номінальне значення величини, що впливає
1. Температура для усіх видів вимірювань	20 ⁰ С (293 К)
2. Тиск навколишнього повітря для вимірювання іонізуючих випромінювань, теплофізичних, температурних, магнітних, електричних вимірювань, вимірювань тисків і параметрів рухів	100 кПа (750 мм рт. ст.)
3. Тиск повітря для лінійних, кутових вимірювань, вимірювань маси, сили світла	101,3 кПа (760 мм рт. ст.)
4. Відносна вологість повітря для лінійних, кутових вимірювань, вимірювань маси	58%
5. Відносна вологість повітря для вимірювань електричного опору	55%
6. Відносна вологість повітря для вимірювань температури, сили, твердості, перемінного електричного струму, параметрів руху	65%
7. Відносна вологість повітря для усіх вимірювань, крім зазначених у пп. 4, 5, 6	60 %
8. Густина повітря	1,2 кг/м ³

ЛЕКЦІЯ № 4.

ПОНЯТТЯ ПРО МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

4.1. Сутність метрологічного забезпечення безпеки праці

Метрологічне забезпечення безпеки праці – система заходів з розробки та використання наукових та організаційних основ проведення вимірювань; нормативно- технічної документації; методів вимірювання; засобів вимірювань та обробки даних з метою досягнення єдності та потрібної точності вимірювань та контролю параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів на робочих місцях.

Заходи з метрологічного забезпечення направлені в першу чергу на покращення контролю умов праці, визначення показників безпеки виробничого обладнання та технологічних процесів, методів вимірювання показників якості засобів індивідуального захисту.

Небезпечним називається виробничий фактор, дія якого на працюючого у деяких умовах призводить до травмування або іншого різкого погіршення здоров'я, шкідливим – до захворювання або зниження працездатності. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяють на чотири групи за природою дії: фізичні; хімічні; біологічні; психофізіологічні.

Слід мати на увазі, що з точки зору метрології суттєво важливим є поняття **вимірюваного параметра** фактору, який, власне, й підлягає кількісній оцінці. На відміну від невимірюваних параметрів, які оцінюються розрахунковими, органолептичними або іншими методами, вимірювані параметри контролюються шляхом прямого вимірювання.

4.2. Зв'язок небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища з величинами, що підлягають вимірюванню у межах безпеки праці

До сьогодні будь-якої номенклатури вимірюваних параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів не встановлено. Це, в першу чергу обумовлено тим, що один фактор може визначатися декількома параметрами (наприклад, шум – еквівалентними рівнями звуку, рівнями звукового тиску в октавних полосах частот, рівнями звуку).

В області безпеки праці все метрологічне забезпечення має базуватися на сукупності санітарно-гігієнічних норм. Однак це є можливим лише у тому випадку, коли вказані норми в свою чергу задовільняють умовам метрології. В першу чергу це **зазначення потрібної точності вимірювання нормованих величин**. Саме цим визначаються вимоги до точнісних характеристик вимірювальних приладів, методик вимірювання, тощо. Відсутність даних про потрібну точність вимірювань або недостатньо обгрунтоване його визначення виключає можливість розробки засобів метрологічного забезпечення з найефективнішими параметрами. Помилкою є й завищені вимоги до точності вимірювань, адже вартість приладу при цьому зростає у геометричній прогресії, не кажучи вже про вимоги стосовно кваліфікації персоналу.

Багато з санітарно-гігієнічних норм взагалі не містять жодних вимог до точності вимірювань, наприклад, у «Нормах радіаційної безпеки» НРБ-76/87 не міститься жодних вказівок про те, з якою точністю мають вимірюватися рівні всіх видів іонізуючих випромінювань. Не вказана потрібна точність вимірювань для таких важливих видів небезпечних та шкідливих факторів, як сферична опроміненість, ультра- та інфразвукові коливання, рівень ультрафіолетової радіації та багатьох інших.

Надзвичайно важливим є **вказівка на значення параметра фактору, до якого наявність цього фактору не створює будь-якого шкідливого впливу** (фонове значення). Нижня границя вимірювання рівня, що характеризує поріг чутливості вимірювального приладу – дуже важливе значення, від якого суттєво залежить вибір методики вимірювання, а також вартість та складність засобу вимірювань. Загальновідомим є, що надлишковий захист виробничого середовища від іонізуючих випромінювань негативно впливає на фізіологічні функції організму людини, а при повній відсутності шумових подразнювачів людина засинає. Очевидним є, що санітарні норми мають обов'язково містити значення нижньої границі параметра (або фонового значення вимірюваного параметра), що сьогодні виконується далеко не завжди.

Деякі величини взагалі не нормуються, наприклад підвищений рівень інфрачервоної радіації. На ряд параметрів лазерного випромінювання не розроблено значення вимірюваних параметрів, існують лише їх розрахункові значення. Очевидно, що якщо існує фізична можливість прямого вимірювання параметра фактору, вона має бути реалізована, оскільки це дасть переваги перед розрахунковими методами. На жаль, навіть у деяких

параметрів освітлювання, наприклад прямої та відображеної бльосткості, підвищеної пульсації світowego потоку, підвищеної чи зниженої контрастності, тощо, нормативи не визначають проведення прямого вимірювання, хоча ці параметри можуть визначатися таким чином.

Найпрогресивнішим підходом до вимірювання параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів є дозиметрія. У світовій практиці широко використовуються дозиметри не лише для оцінювання рівня іонізуючих випромінювань, а й віброакустичних параметрів, параметрів електромагнітних полів, тощо. Слід розвивати роботу зі створення санітарно-гігієнічних норм на припустимі дози впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Надзвичайно важливим є забезпечити єдність вимог у різних нормативних документах стосовно одних і тих же факторів.

4.3. Основні вимоги до засобів контролю параметрів небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища

Аналіз особливостей засобів вимірювання параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів виявляє наступні обставини, які ускладнюють роботу з їх вдосконалення.

Перш за все це виключно велика номенклатура різних за своєю природою та неоднаково інформативних параметрів, що підлягають контролю. Ця номенклатура постійно збільшується у зв'язку з появою нових технологічних процесів та обладнання, випуском нових хімічних речовин, тощо. Підвищуються потужності устаткування, у зв'язку з чим зростають фактичні рівні шуму, вібрації, випромінювання та інших факторів. З'являються все нові комбінації небезпечних та шкідливих виробничих факторів різного походження, що якісно змінює, підсилює або послаблює їхній вплив на людину.

По-друге, характерною є велика просторово-часова протяжність об'єктів вимірювань. Так, площа сучасних нафтохімічних комплексів, багатьох підприємств металургічної галузі та інших нерідко вимірюється квадратними кілометрами. І всю цю площу необхідно забезпечити безперервно та надійно функціонуючою системою вимірювання параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів, при цьому точність має бути забезпечено у найрізноманітніших умовах – при підвищеній запиленості, засоленості, загазованості, високій або низькій температурі, в умовах підвищеної вологості, тощо.

Виходячи з розглянутих особливостей метрологічного забезпечення в області безпеки праці, можна сформулювати основні вимоги, яким мають відповідати засоби контролю параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- 1) оптимальна (як правило, невисока) точність;
- 2) невелика маса та габаритні розміри, портативність;
- 3) наявність автономного живлення;
- 4) підвищена надійність;
- 5) необхідний рівень автоматизації й неперервності роботи;
- 6) висока ремонтопридатність;
- 7) простота повірки та контролю справності;
- 8) високий ступінь уніфікації;
- 9) зручна індикація (стрілкова або цифрова), безпосередньо в одиницях вимірюваної величини;
- 10) можливість роботи в широкому діапазоні виробничих умов (запиленість, агресивні середовища, вибухонебезпечні приміщення, вібрація, високі та низькі температури, тощо);
- 11) можливість використання персоналом, який не має високої кваліфікації;
- 12) низька вартість виробництва та експлуатації.

Аналіз сучасної номенклатури засобів вимірювань параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів вказує, що вона значною мірою формувалася стихійно, з використанням різноманітних приладів, розроблених у різні роки. Часто для вимірювання одних й тих же параметрів використовуються різні засоби та методи вимірювання. Окремі прилади не мають метрологічного забезпечення.

Отже основною метою розвитку метрологічного забезпечення в області безпеки праці є створення та впровадження системи приладів для контролю параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Системний підхід забезпечить одноманітність засобів та методів вимірювань, єдність одиниць фізичних величин, що використовуються, єдність градуовального та повірювального обладнання на всіх етапах існування засобів вимірювань, а також сумісність його з міжнародними та державними еталонами та повірювальними схемами.

Систему мір необхідно розглядати як єдине ціле, що буде включати рівнозначні складові «комплекс вимірюваних гігієнічних характеристик праці людини» та «комплекс вимірюваних параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів».

На рисунку 4.1 представлено комплекс вимірюваних гігієнічних характеристик праці людини:

- I. Психологічні фактори: 1 – ...; 2 – ...
 - II. Працездатність: 1 – фаза активації; 2 – фаза високої стійкої працездатності; 3 – фаза зниження працездатності
 - III. Захворюваність: 1 – ...; 2 – ...
 - IV. Виробничі фактори: 1 – канцерогенні фактори; 2 – зооатропозі; 3 – ...
 - V. Гігієна: 1 – ... ; 2 – ...
 - VI. Біомеханіка: 1 – динаміка (сукупна м'язова робота, регіональна, локальна); 2 – статика; 3 – м'язова робота та ендокринні функції; 4 – м'язова робота та морфологічний склад крові та її фізико-хімічні властивості; 5 – м'язова робота та дихання; 6 – м'язова робота та серцево-судинна система; 7 – енергетичні витрати людини та терморегуляція; 8 – біохімія м'язового скорочення
 - VII. Форми праці: 1 – праця частково автоматизована; 2 – праця механізована (зміна характеру м'язових навантажень та ускладнення програми дій); 3 – праця розумового характеру; 4 – праця, що потребує м'язової активності;
- Комплекс вимірюваних параметрів небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Обладнання, технологічний процес, середовище:
- I. Фізичні параметри: 1 – підвищена запиленість повітря робочої зони; 2 – параметри мікроклімату; 3 – віброакустичні параметри; 4 – підвищена (знижена) аероіонізація повітря; 5 – параметри електричного струму, електричних, магнітних та електромагнітних полів; 6 – випромінення оптичного діапазону; 7 – небезпечні фактори пожежі та вибуху; 8 – іонізуючі випромінення
 - II. Психофізіологічні: 1 – показники динамічного навантаження; 2 – показник статичного навантаження; 3 – показники напруженості праці (увага); 4 – ...
 - III. Біологічні: 1 – галаітамін; 2 – лінкоміцин; 3 – теобромін; 4 – ...
 - IV. Хімічні: 1 – азоту оксиди; 2 – акриламід; 3 – акриловий ефір; 4 – ...

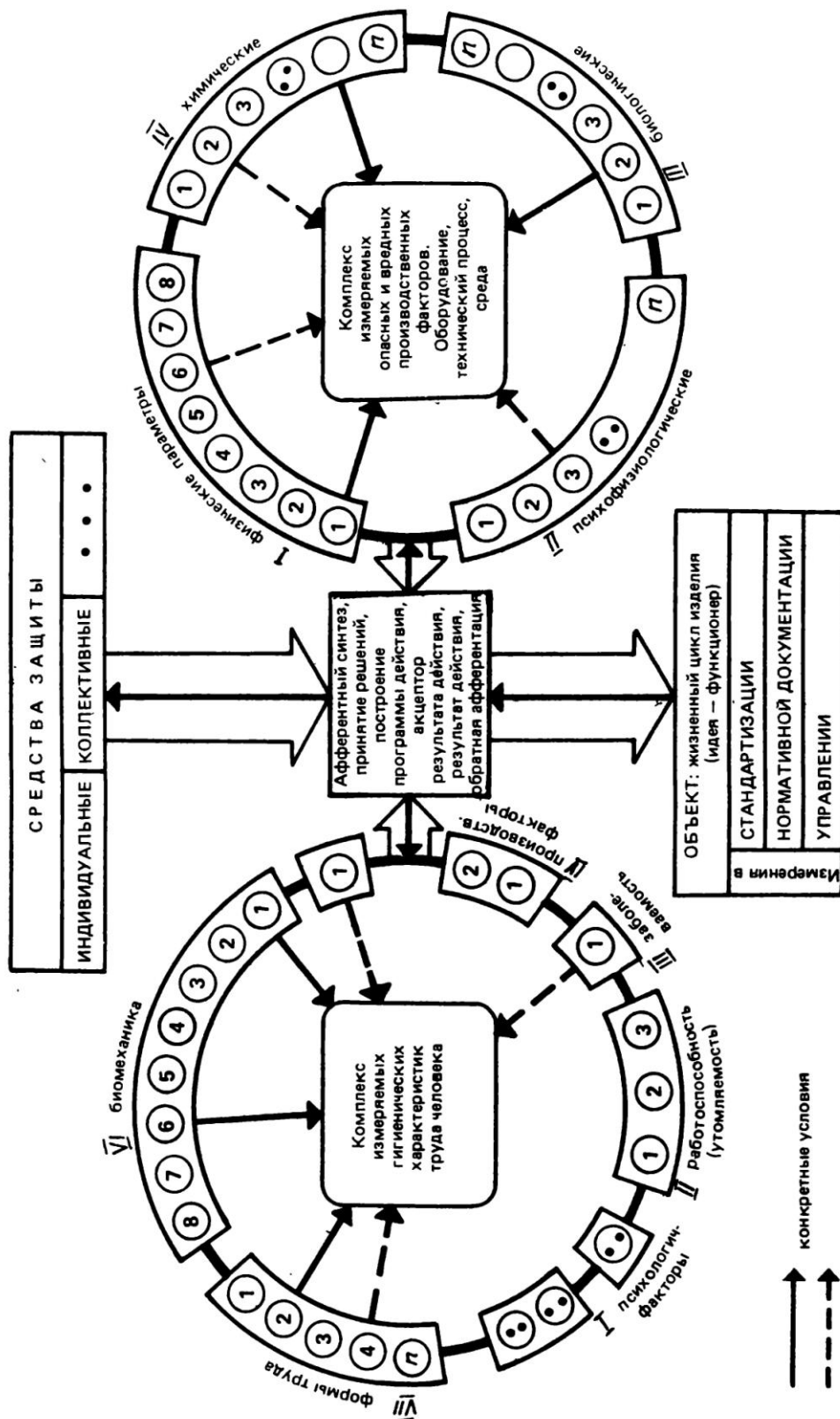


Рисунок 4.1 – Метрологія у системі безпеки праці

4.4. Метрологічні характеристики засобів вимірювання

Оцінка придатності ЗВ для вирішення тих або інших вимірювальних задач проводиться шляхом встановлення їхніх метрологічних характеристик. Для кожного виду ЗВ, виходячи з їхньої специфіки і призначення, нормується визначений комплекс метрологічних характеристик, що вказується в нормативно-технічній документації на ЗВ. У цей комплекс повинні включатися такі характеристики, що дозволяють визначити похибку даного ЗВ у відомих робочих умовах його застосування. Загальний перелік основних нормованих метрологічних характеристик ЗВ, форми їхнього представлення та способи нормування встановлені в стандарті. У нього входять:

- межі вимірювань, межі шкали;
- ціна розподілу рівномірної шкали аналогового приладу або багатозначної міри, при нерівномірній шкалі – мінімальна ціна розподілу;
- вихідний код, число розрядів коду, номінальна ціна одиниці найменшого розряду цифрових ЗВ;
- номінальне значення однозначної міри, номінальна статична характеристика перетворення вимірювального перетворювача;
- похибка ЗВ;
- варіація показань приладу або вихідного сигналу перетворювача;
- повний вхідний опір вимірювального пристрою;
- повний вихідний опір вимірювального перетворювача або міри;
- неінформативні параметри вихідного сигналу вимірювального перетворювача або міри;
- динамічні характеристики ЗВ;
- функції впливу;
- найбільші припустимі зміни метрологічних характеристик ЗВ в робочих умовах застосування.

Нормування метрологічних характеристик необхідно для рішення наступних задач:

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

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

На Рис. 4.2. показаний відліковий пристрій аналогового приладу.

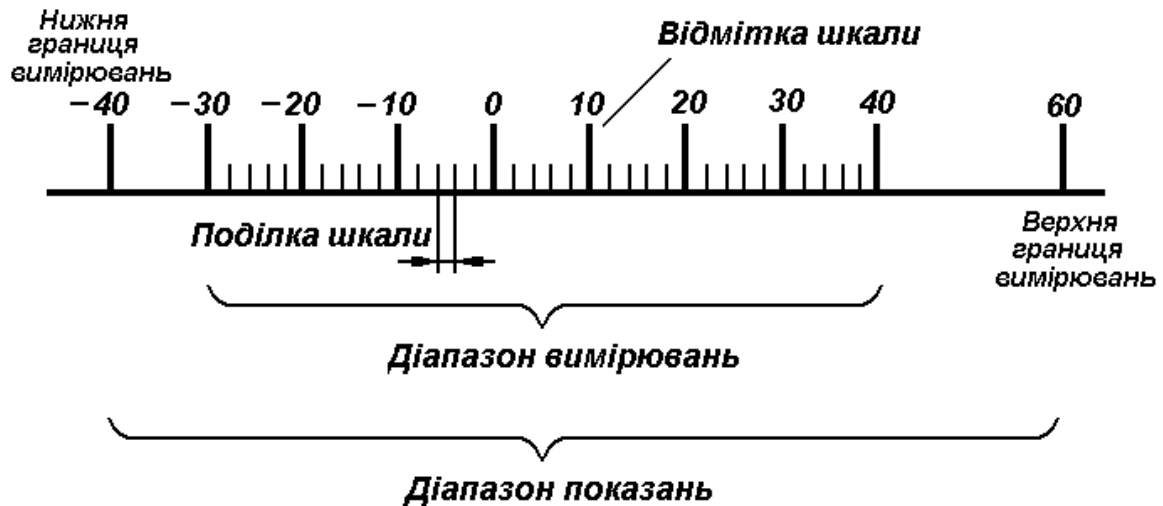


Рисунок 4.2.

Поділка шкали – проміжок між двома сусідніми відмітками шкали.

Довжина поділки шкали – відстань між осями двох сусідніх відміток.

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

Відліком називається число, визначене по відліковому пристрою.

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

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

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

Границя вимірювань – найбільше або найменше значення діапазону вимірювань. Діапазон показань і діапазон вимірювань можуть не збігатися (Рис. 4.2).

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

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

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

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

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

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

Функція впливу – залежність зміни метрологічної характеристики ЗВ від зміни величини, що впливає, або неінформативного параметра вхідного сигналу в межах робочих умов

експлуатації. Функція впливу може нормуватися у виді формули, графіка або таблиці.

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

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

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

Похибка міри характеризує відмінність номінального значення міри від істинного значення відтвореної нею величини.

4.5. Похибки приладу. Клас точності

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

Різниця Δx між показаннями приладу $x_{\text{ПР}}$ та істинним значенням A вимірюваної величини називається **абсолютною похибкою приладу**:

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

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

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

Але оскільки істинне значення A вимірюваної величини невідомо, те невідомі і похибки вимірювання, тому доводиться у формулу (4.1) замість істинного значення підставляти так зване дійсне значення.

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

Відносна похибка приладу δ – відношення абсолютної похибки приладу до істинного значення вимірюваної величини. Визначається, як правило, у відсотках:

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

Приведена похибка приладу γ - відношення абсолютної похибки приладу до деякого нормованого значення $X_{\text{Н}}$

$$\gamma = \frac{x_{\text{ІР}} - A}{X_{\text{Н}}} \cdot 100\%. \quad (4.3)$$

Відповідно до стандартів $X_{\text{Н}}$ приймається рівним:

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

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

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

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

$$\Delta = a + bx, \quad (4.4)$$

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

Аддитивна похибка – не залежить від чутливості приладу і є постійною для всього діапазону вимірювань (Рис. 3.4,а)

Мультиплікативна похибка – залежить від чутливості приладу і змінюється пропорційно поточному значенню вхідної величини (Рис. 3.4,б).

Граничні значення абсолютних похибок Δ_{max} можуть бути як додатними, так і від’ємними, але однаковими за модулем – $|\Delta_{max}| = |a| + |bx|$. Інтерпретація сказаного приведена на Рис. 3.4.

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

У цифрових вимірювальних приладах похибка визначається з виразу:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_{max}}{x} \right| - 1 \right) \right], \quad (4.5)$$

де X_{max} – кінцеве значення діапазону вимірювання, x – поточне значення вимірюваної величини, c і d – складові похибки, приведені на шкалі або в паспорті цифрового приладу. Це вираження отримане з формули (4.2) наступним перетворенням:

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

де $c = b + a / X_{max}$, $d = a / X_{max}$. Неважко помітити, що $\delta = \pm c$ при $x = X_{max}$, що показано на Рис. 3.5.

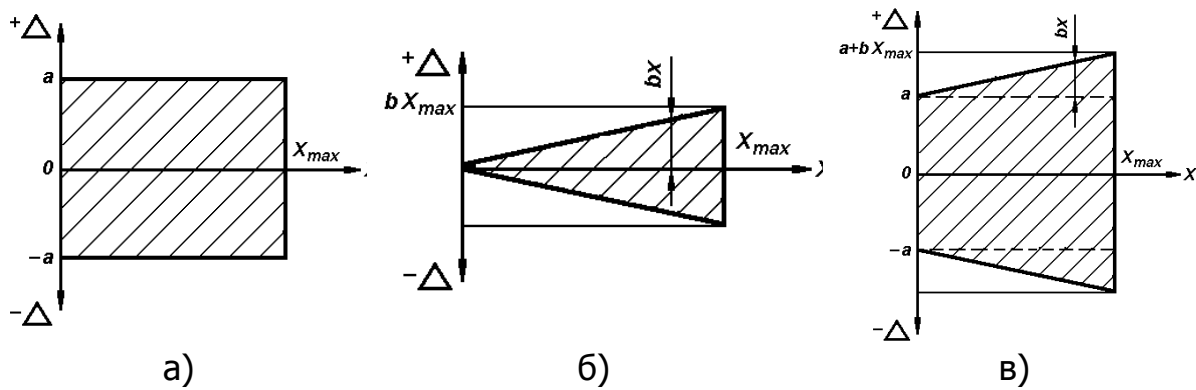


Рисунок 3.4.

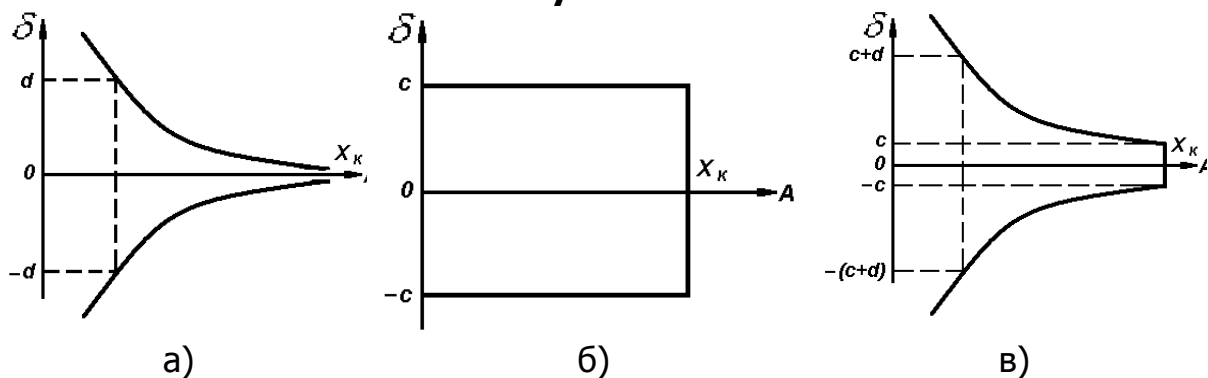


Рисунок 3.5.

На Рис. 3.5.б приведений графік відносної похибки δ , що відповідає абсолютній похибці $\Delta = bx$ (границя відносної похибки залишається незмінною у всьому діапазоні вимірювань), а на Рис. 3.5.в – графік відносної похибки δ , що відповідає абсолютній похибці $\Delta = a + bx$ (границя відносної похибки змінюється за гіперболічним законом). Тоді c можна трактувати як коефіцієнт, який чисельно дорівнює відносній похибці на верхній границі вимірювань, а d – як коефіцієнт, який чисельно дорівнює похибці на нижній границі вимірювань, вираженої у відсотках від верхньої границі.

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

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

Абсолютна похибка приладів з ноніусом дорівнює точності ноніуса.


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

На засобах вимірювання клас точності позначається наступним чином (Таблиця 4.1).

Таблиця 4.1.

Форма виразу похибки	Клас точності або границя допускаємої похибки	Позначення класу
Абсолютна	Клас М	М
Приведена, якщо нормуюче значення виражене в одиницях величини, що вимірюється	$\gamma = \pm 1.5\%$	1.5
Приведена, якщо нормуюче значення прийнято рівним довжині шкали	$\gamma = \pm 1.5\%$	Ⓜ1.5
Відносна постійна	$\delta = \pm 1.5\%$	Ⓜ1.5
Відносна, що зростає зі зменшенням величини, що вимірюється	$\delta = \pm \left[c + d \left(\left \frac{X_H}{X} \right - 1 \right) \right]$	0.02/0.01

За приведеною похибкою прилади розподіляються на ряд класів 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 1,6; 2,5; 4,0. Прилади класу точності до 0,6 включно служать для повірки інших приладів і називаються прецизійними. Для технічних вимірювань застосовують прилади з класом точності від 1,0 до 4,0. Якщо позначення на шкалі прилада відсутнє, його приведена похибка

перевищує 4%. Позначка, наприклад, , відповідає приладам з істотно нерівномірною шкалою. При цьому границі абсолютної похибки виражають, як і довжину шкали, в одиницях довжини. X_H приймають рівним всій довжині шкали або її частини, що відповідає діапазону вимірювань.

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

Основною похибкою називається похибка, що існує при так званих нормальних умовах, які зазначені в нормативних документах, що регламентують правила випробувань й експлуатації даного засобу вимірювання. Нормальну область значень задають границями змін величин, що впливають, а також їх номінальними значеннями.

Додаткова похибка виникає при відхиленні умов випробувань й експлуатації засобу вимірювання від нормальних.

Наприклад, для генератора визначеного типу встановлені нормальні температурні умови $+10...+35^{\circ}\text{C}$. У цьому температурному діапазоні гарантується основна похибка приладу, зазначена в його паспорті. Однак прилад може працювати й у більш широкому діапазоні температур, наприклад від 0 до $+40^{\circ}\text{C}$. Цей діапазон, називаний робочим, ширше нормального. Умови експлуатації ЗВ обумовлюють у відповідних стандартах і поділяють на групи, що розрізняються значеннями величин, що впливають.

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

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

ЛЕКЦІЯ № 5. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ПРИ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАННЯХ

5.1. Похибки непрямих вимірювань при одноразових вимірюваннях

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

$$u = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5.1)$$

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

$$|\Delta u| = |f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n + \Delta x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_n)|. \quad (5.2)$$

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

$$|\Delta u| \approx |df(x_1, x_2, \dots, x_n)| = \left| \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right| \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \cdot |\Delta x_i|. \quad (5.3)$$

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

$$\Delta_U = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \cdot \Delta_{x_i}. \quad (5.4)$$

Для відносної похибки функції u будемо мати оцінку

$$\delta = \frac{\Delta_U}{u} \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} / f \right| \cdot |\Delta x_i| = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial}{\partial x_i} \ln f(x_1, x_2, \dots, x_n) \right| \cdot |\Delta x_i|. \quad (5.5)$$

Отже, за граничну відносну похибку функції u можна прийняти

$$\delta_U = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial}{\partial x_i} \ln u \right| \cdot \Delta_{x_i} = d \ln f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (5.6)$$

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

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

Застосування даної методики неприпустимо в двох випадках:

- 1) при великих похибках Δx_i і нелінійній функції $u = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, коли значний внесок у загальну похибку членів, що містять похибки Δx_i в другому та більш високих ступенях;
- 2) якщо перша похідна дорівнює нулеві, що має місце при екстремальних значеннях функції.

Розглянемо деякі окремі випадки.

* **Похибка суми** $u = x_1 + x_2$.

За формулою (5.4) гранична абсолютна похибка Δ_U суми $\Delta_U = \Delta_{x_1} + \Delta_{x_2}$, тобто гранична абсолютна похибка суми дорівнює сумі граничних абсолютних похибок кожного з доданків. Гранична відносна похибка суми

$$\delta_U = \frac{\Delta_{x_1} + \Delta_{x_2}}{A_1 + A_2}, \quad (5.7)$$

де A_1 і A_2 - точні величини доданків x_1 і x_2 . З формули (5.7) випливає, що гранична відносна похибка суми не перевищує найбільшої з граничних відносних похибок доданків.

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

$$\Delta_U = \Delta_{x_1} + \Delta_{x_2} + \dots + \Delta_{x_n} \text{ та } \delta_U = \frac{\Delta_{x_1} + \Delta_{x_2} + \dots + \Delta_{x_n}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}. \quad (5.8)$$

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

*** Похибка різниці** $u = x_1 - x_2$.

За формулою (5.4) гранична абсолютна похибка Δ_U різниці $\Delta_U = \Delta_{x_1} + \Delta_{x_2}$, тобто гранична абсолютна похибка різниці дорівнює сумі граничних абсолютних похибок зменшуваного та від'ємника.

Гранична відносна похибка різниці

$$\delta_U = \frac{\Delta_{x_1} + \Delta_{x_2}}{A_1 - A_2}, \quad (5.9)$$

де A_1 і A_2 - точні величини чисел x_1 і x_2 . Аналізуючи співвідношення (5.9), необхідно висловити наступне зауваження: якщо наближені числа x_1 і x_2 досить близькі один до одного і мають малі абсолютні похибки, то різниця чисел A_1 і A_2 мала, що робить граничну відносну похибку в цьому випадку досить великою при малих відносних похибках зменшуваного та від'ємника. У цьому випадку відбувається втрата точності.

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

Використовуючи (5.6), знаходимо

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{x_n}. \quad (5.10)$$

Оцінюючи останній вираз за абсолютною величиною, одержимо:

$$\left| \frac{\Delta u}{u} \right| \leq \left| \frac{\Delta x_1}{x_1} \right| + \left| \frac{\Delta x_2}{x_2} \right| + \dots + \left| \frac{\Delta x_n}{x_n} \right|. \quad (5.11)$$

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

$$\left| \frac{\Delta x_i}{x_i} \right| \approx \left| \frac{\Delta x_i}{A_i} \right| = \delta_i \text{ і } \left| \frac{\Delta u}{u} \right| = \delta, \quad (5.12)$$

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

$$\delta_U = \delta_{x_1} + \delta_{x_2} + \dots + \delta_{x_n}. \quad (5.13)$$

Знаючи граничну абсолютну похибку добутку, можна визначити його граничну абсолютну похибку Δ_U

$$\Delta_U = |u| \cdot \delta_U. \quad (5.14)$$

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

$$\delta_U = \delta_X \text{ і } \Delta_U = |k| \cdot \Delta_X, \quad (5.15)$$

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

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

Розв'язання. Абсолютні похибки вимірювань

$$\Delta a = |a - a_{\text{моч}}| = |404 - 400| = 4 \text{ м},$$

$$\Delta b = |b - b_{\text{моч}}| = |298 - 300| = 2 \text{ м},$$

відповідні відносні похибки

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

Згідно з (4.15)

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

Точне значення $u = 400 \cdot 300 = 120000(\text{м}^2)$, тоді абсолютна похибка $\Delta_u = u \cdot \delta_u = 120000 \cdot 0,0167 = 2004$.

Остаточно запишемо $u = a \cdot b = 120000 \pm 2004 (\text{м}^2)$.

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

і за формулою (5.6) одержимо

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta x_1}{x_1} - \frac{\Delta x_2}{x_2}, \quad \left| \frac{\Delta u}{u} \right| = \left| \frac{\Delta x_1}{x_1} \right| + \left| \frac{\Delta x_2}{x_2} \right|. \quad (5.16)$$

Таким чином, відносна похибка частки не перевищує суми відносних похибок діленого і дільника, і, як наслідок, $\delta_U = \delta_{X_1} + \delta_{X_2}$.

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

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

$$\left| \frac{\Delta u}{u} \right| = m \cdot \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \text{ і } \delta_U = m \delta_X, \quad (5.17)$$

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

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

$$\delta_U = \frac{1}{m} \delta_X, \quad (5.18)$$

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

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

За формулою (5.4) відповідно одержимо

$$\Delta_U = |\cos x| \cdot \Delta_X \text{ та } \Delta_U = |\sin x| \cdot \Delta_X. \quad (5.19)$$

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

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

$$\Delta = \Delta_{\text{сист}} + \Delta_{\text{вип}}, \quad (5.20)$$

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

5.2. Похибки непрямих вимірювань при багаторазових вимірюваннях

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

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

Допустимо, проведено N послідовних вимірювань однієї і тієї ж величини x (без аналізу питання, скільки вимірювань необхідно провести), що дали значення x_1, x_2, \dots, x_N . Вважаємо, що усі вимірювання виконані тим самим методом з однаковим ступенем старанності, тобто виконана умова рівноточності вимірювань. За

найбільш ймовірне значення вимірюваної величини, звичайно, приймають середнє арифметичне значення, обчислене з усього ряду отриманих значень:

$$\tilde{m}_X = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j. \quad (5.21)$$

Отримане значення використовується як оцінка для математичного очікування m_X . Ця оцінка є незміщеною, тобто математичне очікування вибіркового середнього \tilde{m}_X дорівнює істинному математичному очікуванню m_X випадкової величини, що й приймається при розрахунках. Однак знання одного лише середнього значення недостатньо – важливо знати розкид результатів вимірювань щодо цього середнього значення. Середньоквадратичне відхилення σ визначається з формули для знаходження дисперсії σ^2 :

$$\sigma^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (x_j - m_X)^2. \quad (5.22)$$

На жаль, цю формулу неможливо використовувати, тому що кількість вимірювань N обмежена. Тому як оцінку середньоквадратичного відхилення σ використовують розсіяння (вибіркове середнє квадратичне відхилення) S , яке визначається за формулою для емпіричної дисперсії S^2 . Оцінка останньої не є незміщеною й її математичне очікування дорівнює не σ^2 , а менше, що означає отримання постійної похибки при застосуванні оцінки S^2 замість σ^2 . Для подолання цього обчислюють так звані залишки для кожного проведеного j -го вимірювання $x_j - \tilde{m}_X$, що є відомими величинами, з введенням поправочного коефіцієнту:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - \tilde{m}_X)^2 = \frac{N}{N-1} \left[\frac{\sum_{j=1}^N x_j^2}{N} - \tilde{m}_X^2 \right]. \quad (5.23)$$

З порівняння формул (5.22) і (5.23) одержимо співвідношення

$$\sigma^2 = \frac{N}{N-1} S^2. \quad (5.24)$$

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

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

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

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

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

$$S_U = \frac{\partial u}{\partial x} \cdot S_x, \quad (5.25)$$

а для величини відносної похибки

$$\frac{S_U}{u} = \frac{\partial u}{\partial x} \cdot \frac{S_x}{u}. \quad (5.26)$$

Дані співвідношення аналогічні отриманим вище (5.4), (5.6).

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

$$S_U = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \cdot S_{x_i}. \quad (5.27)$$

Часткові похідні необхідно обчислювати в точках, що відповідають точним значенням змінних x_i , котрі, у силу їхньої невідомості, заміняємо середніми значеннями \bar{x}_i . З рівняння (5.27) випливає, що

$$S_U^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot S_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x_k} \right) \cdot S_{x_i} \cdot S_{x_k}. \quad (5.28)$$

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

$$S_U^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot S_{x_i}^2. \quad (5.29)$$

Розглянемо деякі окремі випадки.

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

$$S_U^2 = 1 \cdot S_{x_1}^2 + 1 \cdot S_{x_2}^2 = S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2. \quad (5.30)$$

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

$$S_U^2 = S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2 + \dots + S_{x_n}^2. \quad (5.31)$$

Вираження для відносних похибок:

$$\left(\frac{S_U}{u} \right)^2 = \frac{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2}{u^2}. \quad (5.32)$$

Як вже було показано, у випадку різниці $u = x_1 - x_2$ відносна похибка буде тим більше, чим менше $|x_1 - x_2|$. При $x_1 \rightarrow x_2$ вона зростає до нескінченності. Це означає, що неможливо досягти гарної точності визначення якої-небудь величини, будуючи вимірювання так, що вона визначається як невелика різниця результатів

незалежних вимірювань двох величин, які істотно перевищують шукану. На противагу цьому відносна похибка суми не залежить від співвідношення величин x_i .

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

$$S_U^2 = x_2^2 \cdot S_{x_1}^2 + x_1^2 \cdot S_{x_2}^2, \quad (5.33)$$

а відносна похибка

$$\left(\frac{S_U}{u} \right)^2 = \left(\frac{S_{x_1}}{x_1} \right)^2 + \left(\frac{S_{x_2}}{x_2} \right)^2. \quad (5.34)$$

Аналогічно обчислюються похибки і для більшого числа співмножників.

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

$$S_U^2 = \frac{1}{x_2^2} \cdot S_{x_1}^2 + \left(\frac{x_1}{x_2^2} \right)^2 \cdot S_{x_2}^2, \quad (5.35)$$

а відносна похибка збігається з відносною похибкою для добутку.

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

Відповідно до виразів (5.25) і (5.26) одержимо відповідні співвідношення:

$$S_U = mx^{m-1} \cdot S_x, \quad \frac{S_U}{u} = m \cdot \frac{S_x}{x}. \quad (5.36)$$

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

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

$$y = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j = \frac{1}{N} x_1 + \frac{1}{N} x_2 + \dots + \frac{1}{N} x_N. \quad (5.37)$$

Дисперсія цієї величини визначається відповідно до формули (5.29) як

$$S_Y^2 = \frac{S^2}{N^2} + \frac{S^2}{N^2} + \dots + \frac{S^2}{N^2} = \frac{N}{N^2} S^2 = \frac{S^2}{N}. \quad (5.38)$$

Але y , за визначенням, є середнім арифметичним $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j$

із усіх величин x_1, x_2, \dots, x_N , тому можна написати:

$$S_Y = S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{N}}. \quad (5.39)$$

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

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

$$S_U^2 = S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2 = S_{x_1}^2 + \frac{1}{4} S_{x_1}^2 = \frac{5}{4} S_{x_1}^2 \text{ та } S_U \approx 1,1 \cdot S_{x_1}. \quad (5.40)$$

Отже, якщо одна з похибок у два рази менше іншої, то загальна похибка зросла за рахунок цієї меншої похибки всього на 10%, що звичайно грає дуже малу роль. Це означає, що якщо ми хочемо

підвищити точність вимірювань величини u , то необхідно в першу чергу прагнути зменшити ту похибку вимірювань, що більше, у даному випадку - похибку вимірювань величини x_1 . Звичайно, якщо складових багато, а не дві, як у прикладі, то і мала похибка може внести помітний вклад у сумарну похибку.

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

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

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

$Z = A^2 = 25^2 = 625$, тому $S_Z = \delta_Z \cdot Z = 0,08 \cdot 625 = 50$. Остаточна $Z = 625 \pm 50$.

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

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

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

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

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

$C = 50,0 \pm 0,5$, $D = 100 \pm 8$.

Розв'язання.

$$\delta_C = \frac{S_C}{C} = \frac{0,5}{50} = 0,01, \quad \delta_D = \frac{S_D}{D} = \frac{8}{100} = 0,08,$$

$$\delta_{C^2} = 2 \cdot \delta_C = 0,02, \quad \delta_{D^{3/2}} = \frac{3}{2} \cdot \delta_D = 0,12,$$

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

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

$$S_{C^2+D^{3/2}} = \sqrt{50^2 + 120^2} = 130, \quad C^2 + D^{3/2} = 3500 \pm 130,$$

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

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

$$0,03^2 + 0,05^2 + 0,037^2 = 0,004769$$

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

5.3. Правила, яких прийнято дотримуватися при округленні результатів вимірювань

Обчислення, що здійснюються при обробці результатів вимірювань, є наближеними. Також наближеною виявляється й остаточна величина, прийнята як результат вимірювань. Разом з тим, як ми вже відзначали раніше, однією з основних вимог, які висуваються до результату вимірювань, є його вірогідність. Приведемо короткі рекомендації, спрямовані на задоволення даної вимоги.

Згідно із цими рекомендаціями найменші розряди числових значень результатів вимірювань повинні бути такими ж, як найменші розряди числових значень оціненого середнього квадратичного відхилення абсолютної похибки (невизначеності) вимірювань або значень границь, у яких перебуває абсолютна похибка (невизначеність) вимірювань (або статистичних оцінок цих характеристик). Методи визначення вказаних характеристик обговорювалися в попередніх розділах цього навчального посібника.

Із сказаного вище випливає, що числове значення результату вимірювань повинне бути представлене таким чином, щоб воно

закінчувалося десятковим знаком того ж розряду, який має похибка (невизначеність) цього результату, наприклад, $1213,11 \pm 0,17$. Що стосується числових значень іменованої (розмірної) фізичної величини і її похибки ((невизначеності), то їх варто записувати із указанням розмірності одиниці фізичної величини, наприклад, $(80,550 \pm 0,002)$ кг. Необхідна кількість розрядів числових значень встановлюється шляхом округлення чисел, отриманих у результаті математичної обробки результатів вимірювань.

Для обговорення правил округлення скористаємося поняттям значущих цифр числа. Нагадаємо, що значущі цифри числа - це всі цифри від першої ліворуч, не рівної нулю, до останньої записаної праворуч цифри. При цьому нулі в множнику, кратному додатного або від'ємного ступеня числа 10 не враховуються.

Для звичайних вимірювань, не пов'язаних з одержанням високоточних результатів, в остаточному записі похибка (невизначеність) вимірювання виражається, як правило, числом з однієї або двома значущими цифрами, причому дві значущі цифри приводяться у випадку виконання більше точних вимірювань.

Емпірично були встановлені наступні правила округлення розрахованого значення похибки (невизначеності) й отриманого результату вимірювань:

А) результат вимірювання округляється до того ж десяткового знака, яким кінчається округлене значення абсолютної похибки. Якщо десятковий дріб у числовому значенні результату вимірювань закінчується нулями, то нулі відкидаються до того розряду, що відповідає розряду числового значення похибки (невизначеності);

Б) якщо цифра старшого з розрядів, що відкидаються, менше 5, то цифри, що залишаються, у числі не змінюють. Якщо ця цифра дорівнює або більше 5, то останньою залишають цифру, що, збільшують на одиницю. Зайві цифри в цілих числах заміняють нулями, а в десяткових дробах відкидають. Наприклад, якщо числове (отримане при математичній обробці досвідчених даних) значення результату виміру становить 25,458 при похибці (невизначеності) результату, вираженої межами $\pm 0,02$, то округлене значення результату вимірювань буде 25,46. Якщо межі похибки (невизначеності) $\pm 0,002$, то числове значення результату зберігається повністю, тобто 25,458.

В) якщо відкидається цифра, що, дорівнює п'яти, а наступні за нею цифри невідомі (відсутні) або нулі, то останню цифру числа, що зберігається, не змінюють, якщо вона парна, і збільшують на

одиницю, якщо вона непарна. Число 105,5, наприклад, при збереженні трьох значущих цифр округляють до 106.

Г) округлення відповідно до правил, наведених в пп. А) - В), виконується лише в остаточній відповіді, а всі попередні й проміжні обчислення проводять із одним - двома зайвими знаками (або максимальним числом розрядів, які вдається одержати).

Якщо керуватися цими правилами округлення, то вірогідність отриманого результату вимірювань не міняється, а кількість значущих цифр у числовому значенні результату вимірювань дає можливість орієнтовно судити про точність вимірювання.

ЛЕКЦІЯ № 6.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА ШКІДЛИВИХ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ

6.1. Методи контролю показників підвищеної запиленості повітря робочої зони

Пильовий фактор, обумовлений аерозолями переважно фіброгенного типу, є особливо характерним для підприємств вугільної та горновидобувної промисловості, а також виробництв будівельних матеріалів, металургійної, текстильної, машинобудівної та багатьох інших галузей. Сучасний стан пильового контролю потребує у його вдосконаленні, а також підвищенні технічного рівня засобів вимірювань.

В Україні гігієнічне нормування та контроль пильового фактору здійснюється за гравіметричними показниками, вираженими у міліграмах на кумбічний метр (мг/м^3), які характеризують всю масу пилу у повітрі у зоні дихання. У деяких зарубіжних країнах до уваги береться лише так звана респірабельна або «тонка» фракція пилу, разом з визначенням числа частинок у деякому об'ємі повітря.

Вимірювання дисперсних параметрів пилу є важким технічним завданням, оскільки пил являє собою складну багатопараметричну систему. Велика різноманітність методів та засобів контролю запиленості повітря може бути зведена до двох груп:

1. Прямі методи, основані на попередньому осаджуванні пильових частинок з наступним їх зважуванням.
2. Непрямі методи, які забезпечують визначення масової концентрації пилу на основі вимірювання зміни показників якихось процесів у приладі під час прокачування через нього забрудненого повітря.

Далі розглянуто основні методи з цих груп, що використовуються у сфері забезпечення безпеки, але вони, звичайно, не обмежують усі можливості вимірювання параметрів аерозолів – сьогодні їх нараховується більше ніж 50. Інтенсивно розвиваються нові перспективні методи вимірювання концентрації пилу з використанням лазерної техніки. Але разом з тим, при всій різноманітності принципів можливостей вимірювання концентрацій пилу у повітрі робочої зони, сьогодні для надійного гігієнічного оцінювання запиленості повітря використовують, головним чином прямий ваговий (гравіметричний) метод, який полягає у відборі усього пилу, що знаходиться у зоні дихання, за допомогою різного

типу аспіраторів через фільтри з наступним порівнянням ваги фільтру до та після відбору проби.

Основною перевагою методів першої групи – прямих – є можливість вимірювання масової концентрації. До недоліків слід віднести циклічність вимірювання, високу трудомісткість, низьку чутливість, що обумовлює тривалість пробовідбору до кількох годин при вимірюванні малих концентрацій. Для методів першої групи використовують прилади попереднього осаджування, яке може бути реалізоване шляхом седиментації або інерційного осаджування частинок за допомогою термо- або електропреципітатора. При цьому частинки можуть бути визначені за швидкістю їх осаджування, наприклад, оптичним методом. Якщо частинки є електрично зарядженими, то їх швидкість та розмір можуть бути визначені за швидкістю руху в електричному полі. Визначення концентрації частинок проводиться або шляхом підрахунку їх візуально, або з використанням сучасних засобів (відеокамера, фотографія, тощо).

У якості базового для визначення масової концентрації частинок прийнято метод прокачування аерозолю через фільтр за допомогою відсмоктувального компресора.

Основною проблемою при використанні методів, оснований на попередньому осаджуванні частинок пилу, є отримання представницької проби. Їх ефективність залежить від умов відбору проб та невизначеностей, які додаються пробовідборним устаткуванням. Крім того, виконання умов ізокінетичності у загальному випадку є неможливим через змінність швидкості аеродисперсного середовища. Умови ізокінетичності виконуються лише у випадку рівності за величиною та напрямом швидкості всмоктування аерозолю у прилад та зовнішньої швидкості течії.

Першими приладами, розробленими для відбору проб аерозолю були інерційні (кінець XIX-початок XX сторіччя). Типовими приладами такого типу є імпактори та імпіджери, коніфуги, термо- та електропреципітатори з автоматичним дослідженням частиснок фотоелектричними методами.

Один з перспективних методів дослідження – п'єзоелектричний, при якому можливі два варіанти використання: зміна частоти коливань п'єзокристалу 1) при осаджуванні на його поверхню пилу та 2) за рахунок електричних імпульсів, які виникають при співударянні частинок пилу з п'єзокристалом. Також використовують радіоізотопні та фотоелектричні методи, засновані навизначенні концентрації осажденного на фільтрі пилу за зміною коефіцієнта поглинання

радіаційного або оптичного випромінювання до та після осаджування аерозолі на фільтр.

Вільними від недоліків методів вимірювання з попереднім осаджуванням частинок аерозолі є прилади, що використовують другу групу методів вимірювання, а саме без попереднього осаджування частинок. Ці прилади використовують в основному оптичні та електричні методи вимірювання параметрів аерозолі. У порівнянні з іншими методами, які використовуються для досягнення цієї мети, оптичні мають ряд переваг, таких як: висока швидкість; відсутність використання досліджуваного об'єкту та змін його властивостей; можливість організації дистанційних вимірювань.

Оптичні методи вимірювання засновані на використанні властивостей розсіяного та поглиненого в аерозольному середовищі оптичного випромінювання. Найбільш розповсюдженими є:

- методи, засновані на вимірюванні поглинання оптичного випромінювання аерозолем;
- методи, засновані на вимірюванні параметрів індикатрис розсіяного випромінювання, включаючи метод підрахунку частинок за вимірюванням інтенсивності розсіяного випромінювання.

Метод, заснований на вимірюванні коефіцієнта поглинання оптичного випромінювання, є найбільш простим. Згідно закону Бугера-Бера (при одноразовому розсіюванні) коефіцієнт поглинання шару аерозолі довжиною L дорівнює

$$\frac{I}{I_0} = e^{-f(d)NL} \quad (6.1)$$

де I_0 – інтенсивність зонduючого випромінювання, I – інтенсивність випромінювання, яке пройшло через шар аерозолі, N – підрахована концентрація частинок, $f(d)$ – перетин екстинкції частинок аерозолі, гіпотетично сферичної форми, й за умови, що $\frac{\pi d}{\lambda} \geq 5$, маємо

$$f(d) = \frac{\pi d^2}{2}, \quad (6.2)$$

де d – діаметр частинок аерозолі, λ – довжина хвилі зонduючого випромінювання.

Таким чином, даний метод дозволяє визначити оптичний перетин частинок і може бути використаний при відомому діаметрі частинок для визначення їх об'ємної концентрації. При вимірюванні

полідисперсного середовища зазвичай проводять калібровку приладів іншими методами, наприклад, гравіметричним.

Використання іншого методу вимірювання передбачає або знання дисперсного складу аерозолі, або постійності його дисперсного та фізико-хімічного складу в процесу експлуатації приладу при його попередньому калібруванні.

Індикатриса розсіяного випромінювання є більш інформативним параметром та дозволяє визначити функцію розподілу частинок за розміром, рахункову концентрацію частинок, об'ємну концентрацію частинок в межах деяких модельних уявлень про їх форму (наприклад, сферичну).

Зазвичай використовують так званий метод малокутового розсіювання, який використовує явище дифракції Фраунгофера на сферах. Індикатрису розсіювання $I(\beta)$ у наближенні Фраунгофера можна записати у наступному вигляді

$$I(\beta) = \frac{c}{\beta^2} I_0 \int_0^\infty f(\rho) \rho^2 J_1^2(\rho\beta) d\rho, \quad (6.3)$$

де c – нормуючий множник, β – кут розсіювання,

$$\rho = \frac{\pi d}{\lambda}, \quad (6.4)$$

I_0 , λ – інтенсивність та довжина хвилі зонduючого випромінювання, $f(\rho)$ – функція розподілу частинок за ρ , $J_1(\rho\beta)$ – функція Бесселя 1-го роду першого порядку.

При визначенні $f(\rho)$ за поточними значеннями індикатрисі рішення рівняння (6.3) має вигляд

$$f(\rho) = \frac{c}{\rho} I_0 h_T(\beta) I(\beta), \quad (6.5)$$

где

$$I(\beta) = \frac{I(\beta)}{I_0} = \frac{I(\beta)}{I_0} = \beta^3 \frac{I(\beta)}{I_0}, \quad (6.6)$$

$$h_T(\beta) = -2pY_1(x) [xJ_0(x) - J_1(x)]/4,$$

де $Y_1(x)$ – функція Неймана, $J_0(x)$ – функція Бесселя 1-го роду нульового порядку.

За справедливості припущення про кусочно-постійний характер $f(\rho)$ рівняння (6.4) можна перетворити на систему лінійних рівнянь, яка потім вирішується за допомогою комп'ютера. Значення нормуючого множника c , а також величина рахункової концентрації N визначаються за допомогою закону Бугера-Бера.

Для вимірювання малих концентрацій частинок аерозолі широко використовуються лічильники частинок, засновані на вимірюванні інтенсивності розсіяного частинкою світла. При цьому у момент вимірювання у освітленому об'ємі лічильника знаходиться лише одна частинка. Імпульси розсіяного світла реєструються фотоприймачем та надходять до амплітудного аналізатора або аналогоо-цифрового перетворювача. Таким чином, визначається не лише рахункова концентрація частинок, але й їх дисперсний склад, об'ємна концентрація.

Параметри лічильника частинок суттєво залежать від кута розсіювання, під яким реєструється світло. Зазвичай у лічильниках використовують кути розсіювання, які дорівнюють 90° або близькі до 0° . Лічильники з кутом 0° доцільно використовувати для реєстрації частинок, коефіцієнт заломлення яких змінюється у широких межах, оскільки в області малих кутів визнано роль відіграє дифракційна складова, яка мало залежить від матеріалу частинок.

Однак лічильники аерозольних частинок мають суттєвий недолік, пов'язаний з необхідністю відбору проби з потоку частинок, що викликає невизначеність вимірювання дисперсного складу та рахункової концентрації.

Електричні методи вимірювання параметрів аерозолі розділяються на індукційний, контактний-електричний, ємнісний та п'єзоелектричний.

В основу індукційного методу покладено визначення наведеного на електроді камери заряду, який виникає під час руху через камеру заряджених частинок. Величина заряду є мірою масової концентрації частинок аерозолі. Найбільш розповсюдженим є метод зарядки пильових частинок коронарним зарядом. При цьому потік частинок сигналу пропускають через зарядку камери, яка складається з циліндра та розташованого на його вісі коронуючої голки або нитки, а потім, направляють до вимірювальної камери, в якій вимірюють заряд, якого набули частинки. Хоча прилади, побудовані за таким принципом, можуть мати досить просту конструкцію, однак вони мають й недоліки, пов'язані з особливостями роботи з високовольтною апаратурою, а також похибки, обумовлені невизначеністю значення величини заряду, набутого частинками аерозолі у неоднорідному електричному полі.

Контактний-електричний метод заснований на здатності частинок аерозолі електризуватися при зіткненні з твердим тілом. При цьому основними елементами приладу є електризатор, де відбувається зарядка пильових частинок, та токоз'ємний електрод, якому частинки

передають свій заряд. У цьому випадку величина струму у ланцюзі токоз'ємного електроду залежить від концентрації частинок. Очевидно, що величина заряду суттєво залежить від фізико-хімічного складу речовини пилу, а також вологості та температури повітря. Метод має також невизначеності, обумовлені пробовідбором.

Ємнісний метод заснований на визначенні ємності конденсатора при введенні частинок аерозолі – їх провідності та діелектричної проникності. Тому використовувати цей метод доцільно при незмінних фізичних параметрах частинок аерозолі з попереднім калібруванням приладу на його основі.

П'єзоелектричний метод вимірювання концентрації частинок аерозолі заснований на виникненні електричних імпульсів на електродах п'єзокристала при зіткненні частинок аерозолі з кристалом, при чому амплітуда електричних імпульсів буде залежати від маси частинки, її розмірів та швидкості зіткнення з п'єзокристалом. Тому прилади, побудовані за таким методом, мають бути облаштовані системою пробовідбору з усіма її недоліками, або ж п'єзоелемент має бути розміщений у аерозолі, що рухається з відомою швидкістю.

У розвинених промислових країнах серійно випускаються десятки типів приладів, що вимірюють дисперсні характеристики аерозолів. На жаль, в Україні вимірювальні засоби випускаються або застарілими, або малими серіями. Сучасні тенденції розвитку засобів вимірювань параметрів аерозолів вимагають створення дешевих, портативних, багатофункціональних приладів, які б дозволяли вимірювати як дисперсні характеристики (функцію розподілу частинок за розмірами), так і рахункову, об'ємну, масову концентрації частинок аерозолі. Сучасна елементна база дозволяє зробити ці вимірювальні засоби автономними, що може суттєво розширити область використання таких вимірювальних засобів. Актуальним залишається й покращення метрологічних характеристик засобів вимірювань, що потребує єдиного підходу до проведення повірки та калібрування засобів вимірювань – ці операції мають проводитися за допомогою об'єктів, максимально наближених до вимірюваних за дисперсним складом, концентрацією, фізико-хімічними властивостями.

Метрологічне забезпечення засобів вимірювань параметрів аерозолів сьогодні здійснюється за локальними повірювальними схемами. Закордонні прилади калібруються та повіряються або у вітчизняних повірювальних лабораторіях, або фірмами-виробниками.

6.2. Методи контролю показників мікроклімату

6.2.1. Загальні вимоги до методів вимірювання параметрів мікроклімату та їх оцінки

Вимірювання параметрів мікроклімату має проводитися згідно вимог **ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»**.

Вимірювання параметрів мікроклімату проводяться на робочих місцях і в робочій зоні на початку, в середині та в кінці робочої зміни. При коливаннях мікрокліматичних умов, пов'язаних з технологічним процесом та іншими причинами, вимірювання проводяться з урахуванням найбільших і найменших величин термічних навантажень протягом робочої зміни.

Вимірювання здійснюються не менше 2-х разів на рік (теплий та холодний періоди року) у порядку поточного санітарного нагляду, а також при прийманні до експлуатації нового технологічного устаткування, внесенні технічних змін в конструкцію діючого устаткування, організації нових робочих місць тощо.

При проведенні вимірювання в холодний період року температура зовнішнього повітря не повинна бути вищою за середню розрахункову температуру, в теплий період – не нижчою за середню розрахункову температуру, що приймається для опалення та кондиціонування за оптимальними та допустимими параметрами.

Вимірювання параметрів мікроклімату на робочих місцях проводяться на висоті 0,5 – 1,0 м від підлоги – при роботі сидячи, 1,5 м від підлоги при роботі стоячи.

У приміщеннях з більшою щільністю робочих місць при відсутності джерел локального тепловиділення, охолодження та вологовиділення вимірювання проводяться в зонах, рівномірно розподілених по всьому приміщенні. При цьому в приміщеннях, які мають площу до 100 м², повинно бути не менше 4-х зон, що оцінюються, а площею до 400 м² – не менше 8-ми. У приміщеннях з площею понад 400 м² – кількість визначається відстанню між ними, яка не повинна перевищувати 10 м.

При наявності кількох джерел інфрачервоного випромінювання або джерел великої площі вимірювання інфрачервоного випромінювання на робочому місці проводиться у напрямку максимуму потоку від джерела. Вимірювання здійснюється через кожні 30...40°C навколо робочого місця для визначення

максимального опромінення. При цьому приймач приладу розташовують перпендикулярно падаючому потоку енергії.

Температура та відносна вологість повітря вимірюються приладами, заснованими на психрометричних принципах. Можливе використання тижневих і добових термографів і гігрографів.

Швидкість руху повітря вимірюється анемометрами ротаційної дії. Малі величини швидкості руху повітря (менше 0,3 м/с), особливо при наявності різноспрямованих потоків, вимірюються електроанемометрами, циліндричними або кульовими кататермометрами.

Температура поверхонь огорожуючих конструкцій (стін, стелі, підлоги) або обладнань (екранів і т. ін.), зовнішніх поверхонь технологічного устаткування вимірюються приладами, що діють за принципом термоелектричного ефекту.

Інтенсивність теплового опромінення вимірюється приладами з чутливістю в інфрачервоному діапазоні, що діють за принципами термо-, фотоелектричного та інших ефектів, або визначається розрахунковим методом за температурою джерела.

Діапазон вимірювання та допустима похибка приладів повинна відповідати вимогам табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Вимоги до вимірювальних приладів

Вимірювані величини	Діапазон вимірювань	Допустима похибка	Рекомендовані прилади
Температура повітря, °C	від -30 до +50	+/- 0,1	Аспіраційний психрометр із ртутними термометрами
Відносна вологість повітря, %	від 15 до 100	+/- 5,0	Аспіраційний психрометр із ртутними термометрами, або записуючий гігрограф
Температура поверхні, °C	від -30 до 100	+/- 1,0	Електротермометри, термопари, тощо
Швидкість руху повітря, м/с	від 0,1 до 0,5 більш ніж 0,5	+/- 0,1 +/- 0,2	Анемометри ротаційної дії
Інтенсивність інфрачервоного опромінення, Вт/м ²	від 10 до 20000	+/- 10%	Актинометри, термостовбці, болометри, радіометри зі спектральною чутливістю в діапазоні 0,30 – 20,0 мкм

Параметри оцінюються:

- як оптимальні, якщо середнє значення та результати не менше 2/3 вимірювань знаходяться в межах оптимальних значень (табл.6.2);
- як допустимі, якщо середнє значення та результати не менше 2/3 вимірювань знаходяться в межах допустимих величин (табл. 6.3);
- як такі, що не відповідають Санітарним нормам, якщо середнє значення та результати більше 2/3 вимірювань не знаходяться в межах допустимих величин (табл. 6.3).

Таблиця 6.2 – Оптимальні величини параметрів мікроклімату в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °C	Відносна вологість, %	Швидкість, м/с
Холодний період року	Легка, Ia	22-24	60-40	0,1
	Легка, Ib	21-23	60-40	0,1
	Середньої важкості, Ia	19-21	60-40	0,2
	Середньої важкості, Ib	17-19	60-40	0,2
	Важка, III	16-18	60-40	0,3
Теплий період року	Легка, Ia	23-25	60-40	0,1
	Легка, Ib	22-24	60-40	0,2
	Середньої важкості, Ia	21-23	60-40	0,3
	Середньої важкості, Ib	20-22	60-40	0,3
	Важка, III	18-20	60-40	0,4

6.2.3. Прилади для вимірювання атмосферного тиску

Барометр – анероїд МД-49-2

Принцип дії приладу заснований на властивості мембранної анероїдної коробки деформуватися при змінах атмосферного тиску. Лінійні переміщення мембран перетворюються передавальним важельним механізмом на кутові переміщення показникової стрілки приладу. Шкалу градуйовано у міліметрах ртутного стовпчика. Похибка вимірювання складає $\pm 0,8$ мм рт.ст. (106,6 Па).

Барограф метеорологічний анероїдний А4-22А

Самопишучий прилад, безперервно реєструючий тиск повітря. Приймальна частина барографа складається з декількох анероїдних коробок. Сумарна деформація мембран, що викликається зміною атмосферного тиску, за допомогою передавального механізму

переміщує стрілку з пером по рухомій бумажній даіграмній стрічці, що забезпечує неперервну реєстрацію змін атмосферного тиску.

Таблиця 6.3 – Допустимі величини параметрів мікроклімату в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С				Відносна вологість, %	Швидкість, м/с
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період року	Легка, Іа	25	26	21	18	75	не більше 0,1
	Легка, Іб	24	25	20	17	75	не більше 0,2
	Середньої важкості, Іа	23	24	17	15	75	не більше 0,3
	Середньої важкості, ІІб	21	23	15	13	75	не більше 0,4
	Важка, ІІІ	19	20	13	12	75	не більше 0,5
Теплий період року	Легка, Іа	28	30	22	20	55 при 28°С	0,2 – 0,1
	Легка, Іб	28	30	21	19	60 при 27 °С	0,3 – 0,1
	Середньої важкості, Іа	27	29	18	17	65 при 26°С	0,4 – 0,2
	Середньої важкості, ІІб	27	29	15	15	70 при 25°С	0,5 – 0,2
	Важка, ІІІ	26	28	15	13	75 при 24°С і нижче	0,4

6.2.4. Прилади для вимірювання вологості повітря

Гігрометр волосяний метеорологічний М-І9 (МВ-1)

Прилад призначення для визначення відносної вологості повітря. Принцип дії заснований на властивості знежиреного волосу людини змінювати свою довжину в залежності від зміни відносної вологості повітря. Діапазон визначення відносної вологості повітря від

30 до 100% при температурі від -35 до 45°C. Похибка гігрометра є досить суттєвою і складає $\pm 15\%$.

Гігрометр М-68

Принцип дії є аналогічним гігрометру М-19. Прилад вимірює відносну вологість повітря у межах від 30 до 100 % у діапазоні температур від +10 до + 35 °С. Похибка приладу є дещо нижчою і становить $\pm 10\%$.

Гігрограф метеорологічний М-21А

Прилад призначено для неперервної реєстрації змін у часі відносної вологості повітря. Гігрографи виготовляють двох типів: добові М-21АС та тижневі М-21АН. Похибка приладу становить (5-10)%.

Психрометр Августа типу ПВ1А

Прилад слугує для визначення температури та відносної вологості повітря у приміщеннях. Психрометр складається з двох однакових скляних термометрів зі шкальними пластинами, градуйованими у межах від 0 до +45 °С з ціною поділки 0,5 °С. «Сухий» термометр психрометра показує температуру навколишнього повітря, а «вологий» – відповідну температуру, що залежить від інтенсивності випаровування. Резервуар «вологого» термометра обернений гігроскопічною тканиною, кінець якої занурено у живильник з дистильованою водою. Відносну вологість визначають за показаннями «вологого» термометра та різницею показань «сухого» та «вологого» термометрів, користуючись спеціальними таблицями або графіком. Похибка вимірювань приладу складає $\pm 7\%$.

Аспіраційний психрометр Ассмана типу МВ-4М

Прилад слугує для вимірювання температури та вологості повітря. Він складається з двох ртутних термометрів зі шкалою від 0 до 50 °С. Резервуар одного термометра обернуто тонкою тканиною. Обидва термометри зафіксовані у металічній оправі, їх резервуари знаходяться у подвійних металевих гільзах, що виключає вплив теплового випромінення на показання термометрів. У головці приладу розміщено вентилятор з годинниковим механізмом, що пропускає повітря повз резервуари термометрів з постійною швидкістю.

Порядок роботи з приладом наступний: за допомогою піпетки зволожують обгортку «вологого» термометра, потім, тримаючи прилад вертикально, заводять ключем механізм до максимуму і через чотири хвилини знімають та обробляють показання аналогічно психрометру Августа. Похибка приладу складає +5%.

6.2.5. Прилади для вимірювання швидкості руху повітря

Для вимірювання швидкості руху повітря використовують анемометри різних конструкцій. Вибір типу анемометра визначається величиною швидкості руху повітря, яка вимірюється. Анемометри дозволяють вимірювати швидкість руху повітря у широких межах:

- крильчатий анемометр – від 1 до 10 м/с;
- чашковий анемометр – від 1 до 30 м/с;
- термоанемометр – від 0,1 до 5 м/с;
- анемометр цифровий переносний АП І – від 1 до 30 м/с.

Анемометр ручний чашкового типу МС-13.

Приймальною частиною анемометра є чотирьохчашкова метеорологічна вертушка, яка зв'язана з лічильним механізмом. Циферблат лічильного механізму має три шкали: одиниць, сотень та тисяч. Похибка вимірювання становить $\pm (0,06 V + 0,3 \text{ м/с})$, де V – середня швидкість повітря (м/с).

Перед вимірюванням швидкості руху повітря необхідно записати початкове показання лічильників. Далі одночасно ключають механізм та секундомір та на протязі однієї хвилини визначають швидкість повітряного потоку. По закінченню цього часу механізм та секундомір відключають та записують показання лічильника та час експозиції у секундах. Діленням різниці кінцевого та початкового показань лічильника на час експозиції в секундах визначають число поділок, що відносяться до однієї секунди. Швидкість руху повітря визначають за розрахунковими формулами, або за графіком, побудованим для приладу.

Анемометр крильчатий АСО-3 типу Б.

Принцип дії аналогічний чашковому анемометру.

Анемометр цифровий переносний АП-1.

Діапазон вимірювань швидкостей повітряного потоку: при роботі АП1-1 – 0,3...5 м/с; при роботі АП1-2 – 1...20 м/с. Анемометр складається з наступних складових частин:

- первинний вимірювальний перетворювач АП 1-1;
- первинний вимірювальний перетворювач АП 1-2;
- цифровий вимірювальний прибор;
- пристрій випрямний зарядний УВЗ;
- стрижень.

Первинний вимірювальний перетворювач АП 1-1 має крильчатий вітроприймач, який розміщено на порожнистій вісі, обертається на струні. Принцип дії чутливого елемента анемометра полягає у перетворенні швидкості повітряного потоку, який обертає

вітроприймач, на кількість імпульсів. На порожнистій вісі вітроприймача закріплено обтюратор – диск з прорізами, який під час обертання перетворює світловий потік оптронної пари на імпульси прямокутної форми з частотою, пропорційною швидкості обертання вітроприймача. Імпульси з фотодіода та резистора підсилюються транзисторами та надходять на цифровий вимірювальний прилад. Первинний вимірювальний перетворювач АП 1-2 має чашковий вітроприймач, який обертається на вісі у двох сапфірових підшипниках ковзання. Принцип дії перетворювача швидкості повітряного потоку АП1-2 є аналогічним до АП 1-1.

6.3. Методи контролю показників віброакустичних впливів

6.3.1. Загальна характеристика методів вимірювання шуму

Вимірювання акустичного шуму проводять з метою визначення шумових характеристик місць знаходження людей та шумових характеристик джерел шуму. Шумові характеристики джерел шуму вимірюють у лабораторних та натурних умовах. У лабораторій – у заглушених та ревербераційних камерах, на стендах, що забезпечують режим роботи джерела шуму. У натурних умовах вимірювання проводять на селитебній території, поблизу автомобільних доріг та залізниць, аеропортів, шумних підприємств.

Встановлені наступні вимірювані та розрахункові величини у залежності від часових характеристик шуму:

- рівень звуку та рівень звукового тиску в октавних полосах частот – для постійного шуму;
- еквівалентний рівень звуку та максимальний рівень звуку – для шуму, що коливається у часі, та переривчастого.

Основні прилади, що використовуються для вимірювання шуму: шумоміри, шумоміри інтегруючі, шумоміри усереднюючі, спектрометри, вузькополосні аналізатори спектра, інтенсиметри, дозиметри шуму, калібратори шумомірів та інтенсиметрів, зразкові джерела шуму.

Шумомір – прилад для вимірювання рівня звуку при частотних характеристиках А, С, лінійній характеристиці «Лин» та часових характеристиках F, S, I.

Спектрометр – прилад для вимірювання спектру шуму у октавних полосах частот або у частинах октави. У випадку з'єднання

з вимірювальним мікрофоном спектрометр вимірює різні звукового тиску в полосах частот в дБ.

Інтенсиметр – прилад для вимірювання рівня інтенсивності звуку в полосах частот або коректованого рівня інтенсивності звуку за частотною характеристикою А шумоміра за МЕК 61043.

Зразкове джерело шуму – джерело шуму з нормуємими метрологічними характеристиками за ІСО 6926, яке використовується для вимірювання рівня звукової потужності джерел шуму методом порівняння.

За основними метрологічними характеристиками, стандартизованими у міжнародних та державних стандартах – основній похибці приладів, частотному діапазоні, часовим характеристикам та частотним корекціям – вимірювальні прилади усіх виробників є приблизно однаковими. Різниця у приладах старого виробництва та нових зводиться до вимірювання нестандартизованих величин: спектральної густини, рівня гучності, тощо. Різним може бути також ступінь автоматизації.

6.3.2. Вимірювання шумових характеристик постійних шумів при високих рівнях звукового тиску

У якості шумових характеристик джерел шуму та місць знаходження людей обирають ті ж характеристики, що й при середніх рівнях. Визначають тривалість дії шуму та розподіл рівнів шуму у просторі. Особливості проведення вимірювань є дистанційне управління вимірювальною апаратурою, захист звукоприймальної частини апаратури від потоків газів, високої температури, вібрації та інших впливів.

При вимірюваннях використовують акустичні зонди, у яких звукоприймальні отвори, що знаходяться у полі високого звукового тиску, віддалені від чутливого елемента. Використовуються мікрофони більш міцної конструкції – конденсаторні з товстими мембранами, керамічні, тощо.

6.3.3. Вимірювання шумових характеристик при низьких рівнях звукового тиску

Низькі рівні звукового тиску мають, наприклад, шуми дросселів люмінесцентних ламп. Шумовими характеристиками низькошумових джерел шуму є октавні рівні звукового тиску та рівні звуку у контрольних точках, показник направленості. Вимірювання шумів

низького рівня обмежується нижньою межею динамічного діапазону мікрофона та рівнем власних шумів вимірювального приміщення.

Нижня межа динамічного діапазону мікрофона має лежати хоча б на 5 дБ вище еквівалентного рівня власного шуму мікрофону у діапазоні частот, що розглядається для відповідної частотної характеристики.

6.3.4. Вимірювання шумових характеристик імпульсних джерел шуму

Імпульсним називається шум, який складається з єдиного або повторюваного звукового імпульсу, кожний тривалістю не менше 1 с.

У якості шумових характеристик обирають рівні звукового тиску, рівень звукової потужності та показник направленості. Імпульсні шуми, які складаються з одиничного імпульсу звукового тиску, наприклад, ударної хвилі при прольоті літаком звукового бар'єру, трикутного імпульсу при пострілі з рушниці, оцінюють параметрами функції часу, основними з яких є пікове значення та період. Однакові повторювані імпульси додатково оцінюються частотою повторення. Визначають функцію часу рівня звукового тиску та спектр рівнів звукового тиску у полосах частот.

6.3.5. Вимірювання шумових характеристик джерел шумів, що коливаються у часі

У шумів, що коливаються у час, наприклад, створюваних транспортом, рівень неперервно змінюється у часі значно більшому, ніж час усереднення вимірювального приладу. За шумові характеристики у цьому випадку приймають еквівалентний рівень звуку або звукового тиску в октавних або третинооктавних полосах частот, еквівалентний коректований рівень звукової потужності, тощо. Еквівалентний рівень вимірюють інтегруючим шумоміром. При вимірюванні у різних точках навимірювальній поверхні, а також у різних полосах частот доцільним є використання багатоканального запису шуму на магнітофоні з наступним оцінюванням еквівалентного рівня.

Відносні дозу шуму можна виміряти дозиметром шуму. За показаннями дозиметра гуму можна обрахувати еквівалентний рівень звуку або абсолютну дозу шуму у $\text{Па}^2 \cdot \text{ч}$.

Рівень звукового тиску слід вимірювати у октавних полосах частот: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц або у відповідних третинооктавних полосах частот.

Рівні звуку вимірюють шумомірами 1-го або 2-го класу точності. Рівні звукового тиску у полосах частот вимірюють з підключеними до них полосовими фільтрами або комбінованими вимірювальними системами відповідного класу точності.

Еквівалентні рівні звуку вимірюють інтегруючими шумомірами.

Припускається використовувати дозиметри шумів з параметров еквівалентності $q = 3$.

Вимірювання проводять портативними приладами або вимірювальними автоматизованими системами із захистом мікрофону від вітру, опадів, електричних та магнітних полів, вібрації. У результати вимірювань вносять виправлення на рівень перешкод, атмосферні умови, на нерівномірність частотної характеристики вимірювальної системи. До та після проведення серії вимірювань проводять акустичне калібрування вимірювальних приладів. Періодично проводять повірку приладів.

6.3.6. Вимірювання шумових характеристик місць перебування людей (ІСО 1996-1, 2, 3)

Вимірювання шуму у місцях перебування людей проводиться для оцінювання фактичних рівнів шуму, який впливає на людину. В результаті визначають шумові характеристики місць перебування людей, які надалі використовують для:

- оцінювання шумового режиму, порівняння фактичних рівнів шуму з допустимими значеннями, які встановлено у нормативних документах;
- розробки заходів зі зниження шуму та оцінювання їх ефективності.

Світова організація зі стандартизації ІСО розробила наступні міжнародні стандарти по методам вимірювання шуму у місцях перебування людей:

ІСО 1996/1 – по основним вимірюваним величинам та методам вимірювання;

ІСО 1996/2 – по отриманню даних для вирішення питань землекористування;

ІСО 1996/3 – по граничним значенням рівнів шуму;

ІСО 8297 – по шумам підприємств у навколишньому середовищі;

ІСО 362, ІСО 5128, ІСО 5130, ІСО 7188 – по шумам автомобилів;

ICO 3095, ICO 3381 – по шумам рельсового транспорту;
ICO 2922, ICO 2923 – по шумам водного транспорту;
ICO 10847 – по зниженню шуму акустичними екранами.

Міжнародний стандарт ICO 1996/1 містить основні вимірювані величини. ICO 1996/2 містить описи методів отримання даних про шум, які дозволяють проводити оцінювання шуму навколишнього середовища на деякій ділянці місцевості та вирішувати питання про придатність способу використання цієї ділянки з урахуванням вже існуючих та прогнозованих рівнів шуму.

Основними акустичними параметрами, що підлягають оцінюванню є еквівалентні рівні звуку та оціночні рівні звуку, визначені на протязі базових інтервалів часу, співвіднесених з характеристиками джерел шуму та його приймачів.

При визначенні оціночного рівня звуку беруть до уваги поправки на тональність, імпульсний характер звуку та на метеоумови. Після обробки вимірювальних даних розраховують середній рівень звуку за тривалий інтервал часу та середній оціночний рівень за той же тривалий інтервал часу. Також можливим є визначення процентних рівнів звуку, зокрема перевищуваних на протязі 5, 50, 95 % часу.

Визначення середнього рівня звуку та середнього оціночного рівня звуку проводять за результатами вимірювань у контрольних точках ділянки місцевості. Вимірювальні точки обирають у місцях, розташованих на однаковій відстані одна від іншої по всій площі ділянки, на якій проводять обстеження шумового режиму, або у місцях, характерних для різних джерел шуму (покриття поверхні, рельєф, великі об'єкти, що відбивають звук, тощо). Висота вимірювальних точок на поверхню землі складає 1,2-1,5 м. У районах майбутнього будівництва її доцільного обирати у межах 3-11 м. Якщо різниця рівнів звуку у сусідніх точках перевищує 5 дБ, то обирають додаткові проміжні точки.

Базові інтервали часу мають дозволяти вимірювати шум усіх можливих типів людської діяльності, наприклад, транспортний рух, роботу промислових підприємств, тощо. Один базовий інтервал часу обирають у денний період, інший – у ночний, потім у вечірній, а також у вихідні та святкові дні. Тривалий період часу, що включає до себе базові інтервали, має перекривати стійкі варіації у досліджуваному шумі. Він може бути тривалістю у декілька місяців або обмежений визначеною порою року. Тривалість періодів вимірювань має забезпечити визначення середніх рівнів звуку та оціночних рівнів звуку з необхідної точністю.

Рекомендується проводити вимірювання при спеціально обраних метеороумовах:

- напрям ветру у межах $\pm 45^\circ$ до лінії, яка містить центр домінуючого джерела звуку з центром досліджуваної ділянки місцевості;
- вітер має дути від джерела до приймача;
- швидкість вітру на висоті 3-11 м над рівнем території складає 1-5 м/с;
- відсутність температурної інверсії поблизу поверхні території;
- відсутність атмосферних опадів.

При вимірюванні використовують метод неперервного інтегрування на протязі базових інтервалів часу та метод вибірових вимірювань на протязі вимірювальних інтервалів.

За необхідності прогнозування шуму використовують математичні моделі. Результати розрахунків та оцінки шумового режиму ділянки місцевості можеь бути представлені у виглді карти шуму.

Міжнародний стандарт ІСО 1996/3 містить занальні рекомендації по встановленню меж шуму навколишнього середовища та методів перевірки відповідності вимірюваних акустичних характеристик становленим межам. Конкретні значення меж шуму встановлюються місцевими управліннями на основі загального розгляду сумісності з людською діяльністю та можливістю їх використання у даній країні. Межі залежать від багатьох факторів: періоду доби, виду людської діяльності, типу джерел шуму, кліматичних та економічних особливостей.

6.3.7. Вимірювання шумових хараткеристик підприємств, що створюють шум у навколишньому середовищі

Міжнародний стандарт ІСО 8297 встановлює метод визначення рівнів звукової потужності промислового підприємства за виміряними еквівалентними рівнями звукового тиску при непостійному, переревистому, коливальному або імпульсному шумі на території підприємства або усередненим рівням звукового тиску при постійному шум в октавних полосах частот. Точки вимірювання розташовують по контуру навколо підприємства на висоті 5 м, якщо висота підприємства більше 5 м. При непостійному, коливальному або імпульсному шумі вимірювання проводять за допомогою інтегруючого шумоміра.

При розрахунку октавних рівнів звукової потужності промислового підприємства визначають площу вимірбвальної поверхні та відповідну добавку до виміряних рівнів звукового тиску. За виміряними рівнями звукового тиску у полосах частот з урахуванням поправок обчислюють рівні звукової потужності підприємства. Окремо визначають рівні звукової потужності самостійних джерел шуму на його території.

6.3.8. Вимірювання інтенсивності звуку

Вимірювання проводять технічним методом переважно за необхідності провести вимірювання у ближньому полі джерела шуму. За результатами дослідження обчислюють рівень звукової потужності джерела шуму. Представлений метод дозволяє визначити внесок окремих елементів випромінювача шуму у загальний рівень, розподіл потоку звукової енергії поблизу джерела шуму. Для вимірювання використовують інтенсиметр звуку по МЕК 61043, до складу якого входить акустичний зонд – приймач градієнту звукового тиску. У ньому двамікрофона розташовані на визначеній відстані один від одного. Напруги з мікрофонів надходять до двохканального вимірювального приладу. Калібрування вимірювача інтенсивності звуку до та після вимірювання проводять або за допомогою спеціального калібратора, або у процесі вимірювань за різницею значень рівнів інтенсивності звуку при встановленні акустичного зонду у напрямі наджерело шуму та у протилежному напрямі. Різниця показань не має перевищувати 1,5 дБ.

При вимірюваннях акустичний зонд розміщують у точки на вимірювальній поверхні, що охоплює джерело шуму, не менш ніж у одній точці на 1 м^2 вимірювальної поверхні і не менш ніж у 10 точках, за можливості рівномірно розподілених на поверхні.

Результати вимірювань нормальної інтенсивності звуку в усіх точках вимірювання усереднюють з урахуванням поправок, пов'язаних з умовами вимірювань та якістю звукового поля. При виконанні усіх вимог стандарту середнє квадратичне відхилення результату вимірювань при довірчій ймовірності 95 % не перевищує наступних значень у октавних полосах частот:

- 63 – 125 Гц – 3,0 дБ;
- 250 – 500 Гц – 2,0 дБ;
- 1000 – 4000 Гц – 1,5 дБ;
- 6300 Гц – 2,5 дБ.

У міжнародному стандарті ISO 9614-1-93 представлені вимірювання інтенсивності звуку за точним, технічним та орієнтовним методами у дискретних точках на вимірювальній поверхні, а у стандарті ISO-2:1996 – при скануванні з неперервним переміщенням акустичного зонду вимірювальною поверхнею.

6.3.9. Вимірювання шуму автотранспортних засобів

Міжнародний стандарт ISO 5130 містить метод вимірювань шуму на нерухомому автомобілі. Вимірювання проводять поблизу вихлопної труби та поблизу двигуна. Мікрофон розташовують на висоті 0,5 м від землі з боку, більш віддаленого від місця водія. Вимірювальну точку обирають на відстані 0,5 м від контуру автомобіля у вертикальній площині, яка проходить через передню вісь, через задню вісь або через середню точку між базами колес, в залежності від розташування двигуна. Головну вісь мікрофона направляють у бік двигуна. Міжнародний стандарт ISO 7188 дозволяє на основі двох спеціальних випробувань розрахувати рівень звуку автомобіля, перевищений на протязі 5 % часу, який відповідає еквівалентному рівню звуку, створюваному цим автомобілем в умовах реальної міської руху. Стандарт дозволяє також оцінити однопроцентні рівні звуку, які відповідають максимальному рівню звуку автомобіля.

Вимірювання шуму проводять в режимі прискорення та в режимі постійної швидкості. Мікрофон розташовують на висоті $(1,2 \pm 0,05)$ м над рівнем прощинита відстані $(7,5 \pm 0,1)$ м від вісі руху автомобіля. Головну вісь мікрофона направляють у бік автомобіля. Фіксують найбільший рівень звуку при проїзді автомобілем вимірювальної ділянки довжиною 20 м.

Основну оцінюючу величину – характеристичний рівень звуку обчислюють виходячи з максимального рівня звуку при випробуванні з прискоренням, з постійною швидкістю, з урахуванням коефіцієнта, який залежить від співвідношення потужності двигуна до маси, а також від системи передачі потужності.

Випробувальна ділянка при випробуванні у русі має складатися з центральної частини для розгону, зона випробування навкруги якої має бути практично горизонтальною. Покриття випробувального треку має бути сухим. На відстані 50 м від центральної частини ділянки розгону мають бути відсутні будь-які великі звуковідбиваючі об'єкти (огорожа, каміння, мости, будівлі, тощо). Поблизу мікрофону та джерела звуку має бути відсутні будь-які перешкоди, які впливають

на звукове поле. Рівень перешкод має бути, щонайменш на 10 дБ нижчим за рівень гуму від транспортного засобу.

Мікрофон на треці встановлюють на відстані $(7,5 \pm 0,2)$ м від вісі руху на висоті $(1,2 \pm 0,1)$ м над поверхнею. Головну вісь мікрофона встановлюють перпендикулярно вісі руху. Максимальний рівень звуку вимірюють у той момент, коли транспортний засіб проходить між лініями, що обмежують вимірювальну ділянку та знаходяться на відстані ± 10 м від його середини.

У стандарті також регламентовано умови роботи двигуна та швидкості руху під час вимірювань. При цьому двигун рохвиває свою розрахункову максимальну потужність.

6.3.10. Вимірювання шуму рельсових транспортних засобів

Міжнародний стандарт ІСО 3095 встановлює методи вимірювань рівня звуку та спектрів зовнішнього шуму усіх типів рельсових транспортних засобів, а також вимірювань настоянці, під час розгону, руху на станціях, мостах або у тунелях.

У місці випробувань у радіусі 50 м від мікрофона не має бути великих об'єктів, що відбивають звук. Поверхня ділянки між транспортним засобом та мікрофоном має бути максимально вільною від снігу, високої трави та баласту сусідньої колії. Швидкість вітру не має перевищувати 5 м/с. Атмосферні опади відсутні, а рівень шуму перешкод не менш ніж на 3 дБ нижчі за досліджуваний шум, інакше необхідно вносити поправки у результати вимірювань. Слід уникати впливу на мікрофон сильних електричних та магнітних полів, підвищеного фону іонізуючого випромінювання, вібрації та інших факторів.

Вимірювання проводять на шляху з дерев'яними або залізобетонними шпалами. Ділянка колії має бути прямолінійною, а рельси без хвилеподібного зношування та стиків. Додаткові вимірювання проводять для вивчення шумів у тунелях, намоствах, стрілкових переводах, переїздах та станціях. Поверхні катання колес мають бути гладкими та без ползунів.

При випробуваннях одиничного пасажирського або вантажного вагону слід вживати заходи щодо зменшення впливу шуму локмотива на вимірюваний шум вагону. Вагони мають бути не завантажені та без пасажирів. Двері та ікна мають бути закриті, а допоміжне обладнання, що працює під час руху, має бути включено.

Швидкість руху поїздів має становити 80 км/год – для поїздів дальнього прямування, 60 км/год – для приміських поїздів та поїздів метрополітену, 40 км/год – для трамваїв. При випробуваннях на більш високих швидкостях приймають значення 120, 160 та 200 км/год.

При проведенні випробувань на стоянці режим роботи установлюють у залежності від виду транспортного засобу. Для тягового електрорухомого складу та електропоїздів включають усе обладнання, включаючи головні двигуни допоміжне обладнання працює на максимальному навантаженні.

Під час вимірювань вісь мікроону розташовують перпендикулярно до колії. При вимірюванні шуму транспортних засобів у русі мікрофон розташовують на одній з рекомендованих відстаней від вісі колії: 7,5; 25; 50 або 100 м та на висоті 1,2-1,5 м над головою рельсу. Рівень звуку вимірюють з обох боків транспортного засобу. При вимірюванні шуму на стоянці мікрофон встановлюють по обидва боки від транспортного засобу на відстані 7,5 м від вісі колії на висоті 1,2-5 м таким чином, щоб лінія, яка з'єднує вимірювальні точки, проходила через центр транспортного засобу. Якщо у верхній частині транспортного засобу є джерела значного шуму, то вимірювальні точки розташовують на висоті 3,5 м. Для кожного положення мікрофону та для кожного режиму випробувань проводять не менш ніж три вимірювання.

При вимірюванні шуму під час відправлення транспортного засобу проводять вимірювання максимального рівня звуку та спектральний аналіз.

При вимірюванні шуму на платформах станцій при проїзді, гальмуванні або розгоні рельсових транспортних засобів, а також шуму на стрілкових переходах мікрофон слід встановлювати на платформі на відстані 3 м від вісі найближчої колії на висоті 1,2-1,5 м над рівнем платформи, у середній її частині, а також у точках навпроти головної та хвостової частин потягу. Головну вісь мікрофону направляють перпендикулярно колії. У якості шумової характеристики приймають максимальний рівень звуку. Аналогічно проводять вимірювання на станції метрополітену.

При вимірюванні шуму на мостах та у тунелях мікрофон встановлюють на висоті 1,2-1,5 м від головки рельсу та на відстані, за можливості, 7,5 м від вісі колії при вимірюванні шуму на залізничних мостах й у 3 м від осі колії у тунелях.

Якщо є необхідність проведення вимірювань рівня шуму біля всмоктуючих або вихлопних отворів двигунів або систем

кондиціювання повітря та охолодження на нерухомому рельсовому транспортному засобі, то мікрофон розташовують на відстані 1 м від краю отвору та під кутом 30° до напрямку потоку газу.

6.3.11. Вимірювання акустичних характеристик матеріалів, конструкцій та екранів

Акустичні матеріали – це матеріали, які використовують для поглинання та відбиття звукових хвиль. У першому випадку їх називають **звукопоглинальними**, у другому – **звукоізолюючими**. Зазвичай один активний матеріал має обидві властивості, але у різному співвідношенні.

Акустичну звукопоглинальну або звукоізолюючу конструкцію виготовляють з акустичних та конструктивних матеріалів. До звукоізолюючої конструкції можуть також входити й звукопоглинальні матеріали. З одного матеріалу можна виготовити різні звукопоглинальні та звукоізолюючі конструкції з переважанням тих чи інших властивостей.

Акустичні матеріали та конструкції з метою отримання паспортних даних та сертифікації підлягають вимірюванню за їх акустичними характеристиками. Паспортні дані визначають навимірювальному устаткуванню, атестованому та допущеному до використання у встановленому порядку. Методи випробувань стандартизовані у міжнародних та національних стандартах.

Основні акустичні характеристики звукопоглинальних матеріалів та конструкцій наступні:

- коефіцієнт звукопоглинання за нормального падіння звукової хвилі;
- коефіцієнт звукопоглинання у дифузному звуковому полі (ревербераційний);
- імпеданс поверхні матеріалу або конструкції;
- питомий опір продуванню постійним потоком повітря.

Основні акустичні характеристики звукоізолюючих матеріалів та конструкцій наступні:

- ізоляція від повітряного шуму (звукоізоляція);
- ізоляція від ударного шуму;
- індекс ізоляції від повітряного шуму;
- зведений рівень ударного шуму;
- індекс зведеного рівня ударного шуму.

Коефіцієнт звукопоглинання за нормального падіння звукової хвилі визначають методом акустичного інтерферометра.

При цьому вимірюють рівні звукового тиску у першому максимумі та мінімумі звукового тиску у трубі інтерферометра.

Коефіцієнт звукопоглинання у дифузному звуковому полі (ревербераційний) визначають методом ревербераційної камери. При цьому вимірюють час реверберації за відсутності зразка у камері та за його наявності. Обчислюють зміну еквівалентної площі звукопоглинання у камері. Відносячи отримане значення зміни еквівалентної площі звукопоглинання камери до площі зразка, отримують значення коефіцієнта звукопоглинання зразка.

Імпеданс поверхні (шару) матеріала або конструкції визначають методом акустичного інтерферометра. При цьому вимірюють рівні звукового тиску у першому максимумі та мінімумі звукового тиску у трубі інтерферометра, а також відстань від першого мінімуму до поверхні зразка.

При визначенні **питомого опору продуванню постійним потоком повітря** вимірюють перепад тиску по обидві сторони зразка матеріала при продуванні його ламінарним потоком повітря. Опір продуванню обчислюють шляхом співставлення величини перепаду тиску повітря на зразку матеріала з лінійною швидкістю постійного потоку повітря через зразок та віднесення величини перепаду до товщини зразка.

При визначенні **ізоляції від повітряного шуму** вимірювання проводять у двох ревербераційних камерах, розділених зразком, що випробовується. Ізоляцію від повітряного шуму визначають за різницею середніх рівнів звукового тиску у полосах частот у камері високого рівня, де розташоване джерело звуку, та в камері низького рівня, де вимірюють звук, що пройшов через зразок. До отриманої різниці додають поправку, яку визначають за відношенням площі поверхні зразка до еквівалентної площі звукопоглинання камери низького рівня, яка обчислюється за вимірюваним значенням часу реверберації.

Для визначення **ізоляції від ударного шуму** визначають зведений рівень ударного шуму. При цьому під перекриттям при роботі на ньому стандартної ударної машини вимірюють середні рівні звукового тиску в октавних полосах частот. Для отримання **зведеного рівня**, визначеного з урахуванням поправки на звукопоглинання у камері низького рівня, слід до вимірюваних середніх рівнів додати значення десятикратного логарифму відношення еквівалентної площі звукопоглинання до стандартизованої величини, яка дорівнює 10 м^2 .

Індекс ізоляції від поітряного шуму слугує для оцінювання звукоізоляції огорожувальних конструкцій. Для його визначення частотну характеристику звукоізоляції порівнюють з нормативною кривою для звукоізоляції від повітряного шуму. Результат порівняння на частоті 500 Гц приймають за індекс ізоляції від повітряного шуму даної конструкції.

Індекс ізоляції від ударного шуму визначають аналогічно показникові ізоляції від повітряного шуму з урахуванням нормативної кривої для ударного шуму та визначення індекса зведеного рівня ударного шуму.

6.3.12. Вимірювання інфразвуку

Для постійного інфразвуку вимірюють рівні звукового тиску (у дБ) у октавних полосах частот 2,4,8,16 Гц та рівень звуку (у дБ), виміряний за шкалою шумоміра «Лін».

Для непостійного інфразвуку вимірюють еквівалентні рівні звукового тиску (у дБ) у тих же полосах частот та еквівалентний оівень звукового тиску (у дБ) за шкалою шумоміра «Лін». У випадку тонального інфразвуку вимірювання проводять у третинооктавних полосах частот 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20 Гц. Для співставлення з санітарними нормами їх необхідно перерахувати на рівні у октавних полосах частот.

Вимірювання рівнів інфразвуку проводять шумоміром 1-го класу точності з частотною харатеристикою підсилювача від 2 Гц та октавними або третинооктавними фільтрами. Нижня гранична частота фікrofону шумоміра має бути не вищою за 1,4 Гц.

Під час вимірювання необхідно пересвідчитися у відсутності стоячих хвиль на частотах вимірювання, а також у відсутності ефекта резонатора, які призводять до результатів, що відрзняються від результатів вимірювань при вільному розповсюдженні звукових хвиль. При визначенні шумових характеристик місць перебування людей вимірювання проводять на висоті 1,5 м від поверхні землі або підлоги приміщення, на робочому місці оператора. У звукоізольованих кабінах рівень звукового тиску на інразвукових частотах може переважати рівень чутного шуму через велику звукоізоляцію огорожування кабіни у діапазоні чутних частот та ефекта резонатора Гельмгольца, який за невеликого об'єму приміщення може бути настроєний на інфразвукові частоти.

Горлом резонатора є невеликі щілини у огороженні кабіни. Вплив низькочастотних складових шуму пов'язаний не лише з їх

рівнем, а й з перевищенням на сусідніми рівнями у спектрі, а також з впливом складових на середніх та високих частотах. Звідси впливає необхідність при вимірюванні інфразвуку одночасно вимірювати також рівні на чутних звукових частотах та брати до уваги їх при нормуванні шумових характеристик у інфразвуковому діапазоні частот.

6.3.13. Вимірювання ультразвуку

Для повітряного ультразвуку вимірюють рівень звукового тиску у третинооктавних полосах частот 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100 кГц. Для контактного ультразвуку вимірюють пікові значення віброшвидкості у м/с або її логарифмічні рівні у октавних полосах частот 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000; 31500 кГц.

У якості шумових характеристик джерел приймають рівні звукового тиску на частотах, які відпоідають робочим частотам обладнання або резонансним частотам випромінювача, характеристики спрямованості випромінення.

Беруть до уваги поглинання у повітрі, спрямованість приймача та віддзеркалень не лише від огорожуючих поверхонь приміщення, якщо вони недостатньо віддалені, аде й від деталей обладнання та вимірювальної установки.

Визначають розподіл рівнів звукового тиску на контрольних площинах у навколишньому просторі, що дозволяє проектувати звуковіддзеркалюючі екрани та захищати, наприклад, голову та руки оператора.

Визначають найбільше з виміряних значення рівня звукового тиску.

Шумові характеристики визначають не менш ніж у чотирьох контрольних точках не висоті 1,5 м від підлоги, на відстані 0,5 м від контуру обладнання та не менш ніж у 2 м від огорожуючих поверхонь та предметів. Відстань між контрольними точками має бути не менш ніж 1 м.

6.4. Методи контролю показників підвищеної (зниженої) аероіонізації повітря.

Аероіонізація (іонізація повітря) є одним з важливих факторів впливу навколишнього середовища на людей, настан їх здоров'я як в умовах відкритої атмосфери, так і у замкнених приміщеннях. Повітря

є однією з найактивніших складових взаємодії організму людини з навколишнім середовищем через механізм газового обміну. Разом з газовим обміном проходить обмін електричними зарядами, які переносяться оними газів, зарядженими молекулами або аерозольними частинками.

Параметри іонізації повітря характеризують його якість, вони мають контролюватися й на робочих місцях, й у місцях перебування людей та задовольняти вимогам санітарно-гігієнічних норм. У відповідності до класифікації небезпечних та шкідливих виробничих факторів підвищена чи знижена іонізація повітря відносяться до групи фізичних факторів. Не дивлячись на відносно низькі концентрації аероіонів, аероіонний склад повітря є важливою фізико-хімічною складовою і суттєвим електрохімічним фактором, що впливає на людину та здатний порушити або підтримати динамічну рівновагу у процесі взаємодії організму з навколишнім середовищем.

6.4.1. Нормування параметрів аероіонів

Сьогодні нормують параметри лише легких іонів. Підхід, що використовується при нормуванні оптимальних концентрацій легких іонів, заснований на тому, що для нормального функціонування організму людини необхідно забезпечити потрібну кількість заряду, яке людина отримує при диханні за добу від 10^3 до 10^4 на см^3 , що відповідає їх вмісту у чистому повітрі. Аероіонізацію з такою концентрацією можна реалізовувати цілодобово в будь-яких приміщеннях. У природних умовах у 1 см^3 повітря міститься біля 10^3 легких іонів, тому для дорослої людини при диханні за добу альвеол досягають $8 \cdot 10^9$ іонів. Це значення, прийняте за біологічну одиницю (БЕ) аероіонізації, забезпечує оптимальний електрообмін організму людини з повітряним середовищем. Для здорових людей добова доза має відповідати 2-3 БЕ. Для профілактики та лікування ряду захворювань використовують аероіонотерапію – дозований вплив на пацієнта аероіонів повітря підвищеної концентрації, як штучної так і природної. Доза зазвичай складає 20 БЕ за сеанс (за тривалості сеансу 20 хв та концентрації легких іонів від $5 \cdot 10^5$ до 10^6 см^{-3}).

Видихаючи, кожна людина виділяє «псевдоаероіони», кількість яких за добу складає приблизно $3 \cdot 10^{12}$. Накопичуючись у закритих приміщеннях, вони негативно впливають на фізіологічні функції організму, погіршують самопочуття та працездатність. При компенсації аероіонної недостатності для нейтралізації «псевдоаероіонів» величина від'ємної аероіонізації має бути значною.

Постійне знаходження людини в умовах низьких та високих рівнів іонізованості повітря призводить до несприятливих та патологічних наслідків.

6.4.2. Прилади та методи вимірювання характеристик аероіонів

Основним методом вимірювання полярної об'ємної густини електричного заряду (ПОГЕЗ) аероіонів є аспіраційний метод. На цьому методі засновано принцип дії практично усіх аероіонометричних приладів – лічильників, спектрометрів, аналізаторів аероіонів та вимірювачів електропровідності повітря. Парк приладів, які використовуються для вимірювання концентрації аероіонів, представлено двома групами обладнання:

1) універсальні лічильники аероіонів, які дозволяють проводити вимірювання ПОГЕЗ у широкому діапазоні електричних рухомостей іонів та електропровідності повітря. Це обладнання, як правило, являє собою складне лабораторне устаткування у стаціонарному виконанні;

2) переносні або портативні лічильники легких іонів.

Сучасні тенденції у розробці аероіонометричної апаратури демонструють рух від першої групи устаткування до другої, а саме:

- зменшення габаритів, маси, потужності;
- використання автономного живлення;
- використання вбудованих мікропроцесорів, які забезпечують можливість підключення до ЕОМ з метою накопичення та обробки даних вимірювань;
- забезпечення багатофункціональності та селективності вимірювань за підгрупами іонів;
- експресність вимірювань.

Густина іонного потоку визначається шляхом вимірювання струму скрізь металеву пластину площею 1 м^2 (припускається також використовувати пластини площею $0,25 \text{ м}^2$), споряджену охоронним кільцем. Вимірювання струму стікання виконується за допомогою наноамперметра постійного струму з чутливістю не менш ніж 10^{-10} А , підключеного між заземлюючим виводом пластини та землею через екранований кабель. Поблизу високовольтних ліній густина іонного струму на робочому місці вимірюється у суху погоду (без опадів) за швидкості вітру меншої 2 м/с та при відносній вологості повітря не меншої ніж 60% .

У загальному випадку контроль іонізованості у приміщенні проводять безпосередньо у зні дихання людини у місці його знаходження, а для виробничого приміщення – при працюючому обладнанні, в умовах нормального виробничого процесу. Методика вимірювань включає наступні кроки:

- визначення умов вимірювань використанням лічильника аероіонів;
- оцінювання стану повітряного середовища за результатами вимірювань температури, тиску, відносної вологості та швидкості руху повітря, а також напруженості електричного поля;
- підготовка лічильника аероіонів до роботи, його перевірка, включаючи визначення власного фону та встановлення у межах зони дихання людини;
- проведення вимірювань декілька разів;
- перевірка наявності промахів та, за їх наявності, виключення відповідних результатів із розгляду;
- визначення середнього арифметичного, максимального та мінімального значень концентрації легких іонів та складання протоколу вимірювань. При проведенні гігієнічного оцінювання аероіонізуючого обладнання, а також під час контролю робочих місць, обладнаних аероіонізаторами, необхідно додатково визначити довірчу випадкову похибку вимірювання за довірчої ймовірності $P=95\%$, суперпозицію цієї похибки та межі основної похибки лічильника аероіонів, а також максимальне та мінімальне значення концентрації легких іонів при $P=95\%$;
- вказані операції проводять для позитивно та негативно заряджених іонів та розраховують коефіцієнт уніполярності;
- порівняння отриманих результатів з вимогами санітарно-гігієнічних норм. Вимоги виконуються, якщо отримані величини концентрації та коефіцієнта уніполярності знаходяться всередині діапазонів, які визначаються нормуємими показниками.

6.5. Методи контролю параметрів електричного струму, електричних, магнітних та електромагнітних полів

6.5.1. Методи контролю параметрів електричного струму

При нормуванні параметрів електричного струму вимірюються показники сили струму, напруги у електричному контурі, а також електричного опору.

Амперметр (від ампер + $\mu\epsilon\tau\rho\epsilon\omega$ – вимірюю) — прилад для вимірювання сили струму у амперах. Шкалу амперметрів градуюють у мікроамперах, міліамперах, амперах або кілоамперах в залежності від границь вимірювання приладу.

В електричний ланцюг амперметр слід підключати послідовно з тією ділянкою ланцюга, силу струму в якій вимірюють. Тому чим нижчим є внутрішній опір амперметра, тим меншим буде вплив приладу на досліджуваний об'єкт, а отже тим вищою буде точність вимірювання. Вимірювання потребує роз'єднання ланцюга.

Для збільшення границь вимірювання до амперметру під'єднують шунт (для ланцюгів постійного та змінного струму), трансформатор струму (для ланцюгів змінного струму) або магнітний підсилювач (для ланцюгів постійного струму). Підключати амперметр безпосередньо до джерела живлення не можна – через малий внутрішній опір можливе виникнення короткого замикання.

Також для вимірювання сили струму можна використовувати безконтактний пристрій – **токовимірювальні обценьки**, які складаються з токовимірювальної голівки та трансформатору струму спеціальної конструкції. Принцип дії токовимірювальних обценьок базується на ефекті виникнення магнітного поля навкруги струму, що протікає у провіднику. Вимірювання не потребує роз'єднання ланцюга.

Вольтметр (вольт + гр. $\mu\epsilon\tau\rho\epsilon\omega$ вимірюю) — вимірювальний прилад безпосереднього відліку для визначення напруги або електрорушійної сили в електричних ланцюгах. Він підключається паралельно навантаженню або джерелу електричної енергії, отже вимірювання не потребує роз'єднання ланцюга. Ідеальний вольтметр має нескінченно високий внутрішній опір. Отже чим вищим є внутрішній опір у реальному вольтметрі, тим меншим буде його вплив на досліджуваний об'єкт, а отже тим вищою буде точність вимірювання.

Омметр (Ом + давн.-грец. $\mu\epsilon\tau\rho\epsilon\omega$ «вимірюю») — вимірювальний прилад безпосереднього відліку для визначення електричних активних (омічних) опорів. Зазвичай вимірювання проводиться за постійним струмом, однак, у деяких електронних омметрах можливим є використання змінного струму. Різновиди омметрів розрізняють за діапазонами вимірюваних опорів: мегаомметри, гігаомметри, тераомметри, міліомметри, мікроомметри.

6.5.2. Вимоги до проведення контролю електромагнітних полів

Для визначення параметрів електромагнітних полів (ЕМП) використовують розрахункові та інструментальні методи. Розрахункові методи використовують переважно при проектуванні нових або реконструкції вже існуючих об'єктів. Для діючих джерел контроль рівнів ЕМП здійснюють за допомогою інструментальних вимірювань. Найчастіше розрахункові методи знаходять своє використання при визначенні меж санітарно-захисних зон, зон обмеження забудови радіопередавальних об'єктів. Контроль рівнів ЕМП з метою забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення, запобігання потрапляння на ринок небезпечної для людини продукції також передбачає обов'язкову санітарно-епідеміологічну експертизу продукції, яка є джерелом ЕМП.

6.5.3. Методи та прилади вимірювань характеристик електромагнітного поля

Напруженість електричного поля

Найбільш розповсюдженим методом вимірювання параметрів електричного поля є метод, заснований на властивості провідного тіла, розміщеного у електричному полі, отримувати електричний заряд за рахунок перерозподілу заряджених частинок у ньому. При цьому, окрім зовнішнього поля, з'явиться електричне поле, ініційоване зарядами у тілі, а напруженість сумарного поля буде дорівнювати нулю. Отриманий провідним тілом потенціал буде дорівнювати потенціалу зовнішнього електричного поля у деякій точці провідного тіла. Якщо провідне тіло знаходиться у однорідному полі, то ця точка співпадатиме з центром електричних зарядів тіла, яке залежить від форми тіла та співпадає із його центром симетрії, якщо тіло має такий. Якщо у однорідному електричному полі розмістити два симетричних провідних тіла, виникає різниця потенціалів, що дорівнює різниці потенціалів зовнішнього електричного поля між центрами електричних зарядів тіл. Ця різниця потенціалів U пов'язана з модулем напруженості зовнішнього електричного поля E_0 співвідношенням

$$U = L \cdot E_0 \cdot \cos \theta, \quad (6.7)$$

де L – відстань між центрами електричних зарядів двох тіл; θ – кут між вектором напруженості зовнішнього електричного поля та прямою, що з'єднує центри електричних зарядів.

Таким чином, вимірюючи різницю потенціалів між провідними тілами, поміщеними на деякій відомій відстані у однорідному електричному полі, можна обчислити модуль напруженості зовнішнього електричного поля, причому як постійного, так і змінного. Однак, просте використання вольтметра для вимірювання у цьому випадку не є доцільним, оскільки через кінцеве значення його електричного опору у ланцюзі між тілами виникає струм, унаслідок чого величина зарядів буде зменшуватися, вносячи похибку у результат вимірювань. Для виключення цього ефекту систему з провідних тіл починають обертати з постійною швидкістю ω , змінюючи кут θ . У цьому випадку отримуємо з (6.7)

$$U = L \cdot E_0 \cdot \cos \omega t. \quad (6.8)$$

Отже, на виході первинного перетворювача (між провідними тілами) буде діяти змінна напруга, амплітуда якої є пропорційною модулю напруженості електростатичного поля.

Існують різні варіанти реалізації описаного методу вимірювань, наприклад, з обертанням первинного перетворювача навкруги його вісі симетрії, або використовуючи несиметричний перетворювач, залишивши одне з тіл нерухомим. Нарешті, можна залишити обидва тіла нерухомими, а обертатися буде третє тіло, яке періодично екрануватиме первинний перетворювач.

При вимірюванні напруженості змінного електричного пол у якості первинного перетворювача, як правило, використовують дипольну антену, розміри якої є малими у порівнянні з довжиною хвилі. Дипольна антена складається з двох однакових, симетрично розташованих та ізольованих одне від одного металевих тіл, наприклад:

- циліндрична антена – два співосних циліндри;
- біконічна антена – два спіосних конуси, обернених вершинами один до одного;
- конденсаторна антена – дві тонкі металеві стрічки на діелектричній основі.

Дипольна антена має вісь симетрії, яку називають віссю дипольної антени. Якщо розмістити дипольну антену у однорідному електричному полі, то між її елементами виникає змінна напруга, миттєве значення якої буде пропорційним проекції миттєвого значення напруженост електричного поля на вісь дипольної антени. Вимірювання середнього квадратичного значення цієї напруги дає

величину, що є пропорційною середньому квадратичному значенню проекції напруженості електричного поля на вісь дипольної антени. Для цього також використовується середньоквадратичний вольтметр.

Напруженість магнітного поля

Існує декілька типів вимірювальних перетворювачів потісного магнітного поля, заснованих на різних фізичних явищах. Однак у діапазоні значень напруженості магнітного поля, прийнятому для вимірювань на відповідність санітарним нормам, зазвичай використовують перетворювачі, засновані на ефекті Холла, які дозволяють вимірювати також параметри низькочастотного змінного поля. Ефект Холла виявляється, якщо до пари протилежних граней прямокутної пластини з напівпровідника прикласти напругу, що викликає постійний струм, а у напрямі, перпендикулярному до площини пластини направити вектор індукції магнітного поля. Наслідком цього буде поява різниці потенціалів між двома іншими гранями пластини, яку називають ЕРС Холла. Її величина є пропорційною складовій вектора магнітної індукції, перпендикулярної до пластини, товщині пластини та постійній Холла, яка є характеристикою напівпровідника. Отже, знаючи коефіцієнт пропорційності між ЕРС Холла та магнітною індукцією, визначають величину останньої.

При визначенні середнього квадратичного значення напруженості змінного магнітного поля у якості первинного перетворювача використовують рамкову антену, розміри якої є малими у порівнянні з довжиною хвилі. Під дією змінного магнітного поля на виході антени виникає змінна напруга, миттєве значення якої є пропорційним до проекції миттєвого значення напруженості магнітного поля на вісь, що проходить через центр рамкової антени перпендикулярно до її площини. Вимірювання середнього квадратичного значення цієї напруги дає величину, пропорційну середньому квадратичному значенню проекції напруженості магнітного поля на вісь рамкової антени.

Густина потоку енергії електромагнітного поля

На частотах до кількох десятків ГГц густина потоку енергії пов'язана з напруженістю електричного або магнітного поля, тому для вимірювання фактично використовують вимірювачі середнього квадратичного значення напруженості електричного або магнітного полів, відградувані у одиницях густини потоку енергії.

6.5.4. Особливості контролю рівнів електромагнітних полів, створених системами стільникового зв'язку

У системах стільникового зв'язку використовується сукупність великої кількості передавачів невеликої потужності, кожен з яких призначено для обслуговування невеликої ділянки покриття (рис. 6.1). У відповідності до міжнародних рекомендацій стосовно використання рухомого зв'язку у діапазоні частот 862-962 МГц, стандарти GSM на цифрову глобальну стільникову систему наземного рухомого зв'язку передбачають роботу передавачів мобільних рухомих станцій у двох діапазонах частот: 890-915 МГц та 935-960 МГц. Сьогодні швидкими темпами йде перехід на використання діапазону частот 1710-1880 МГц. Фізичний зв'язок між мобільною та базовою станціями реалізується шляхом прийому та передачі радіочастотного пакету, форма маски сигналу якого приведена на рис. 6.2.а. Інформаційна частина радіочастотного пакету міститься в області плоскої частини маски, яка знаходиться між значеннями 0,5 та 0 дБ. Передача інформації відбувається шляхом частотної модуляції несучої радіочастотного пакета, яка відповідає цифровому сигналу (рис. 6.2.б).

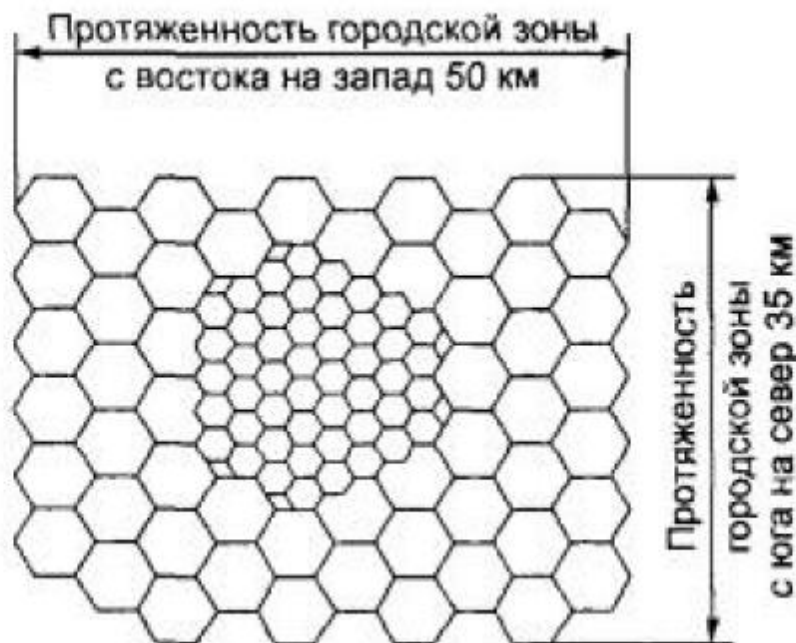


Рисунок 6.1 – Схема стільникового зв'язку у міській зоні

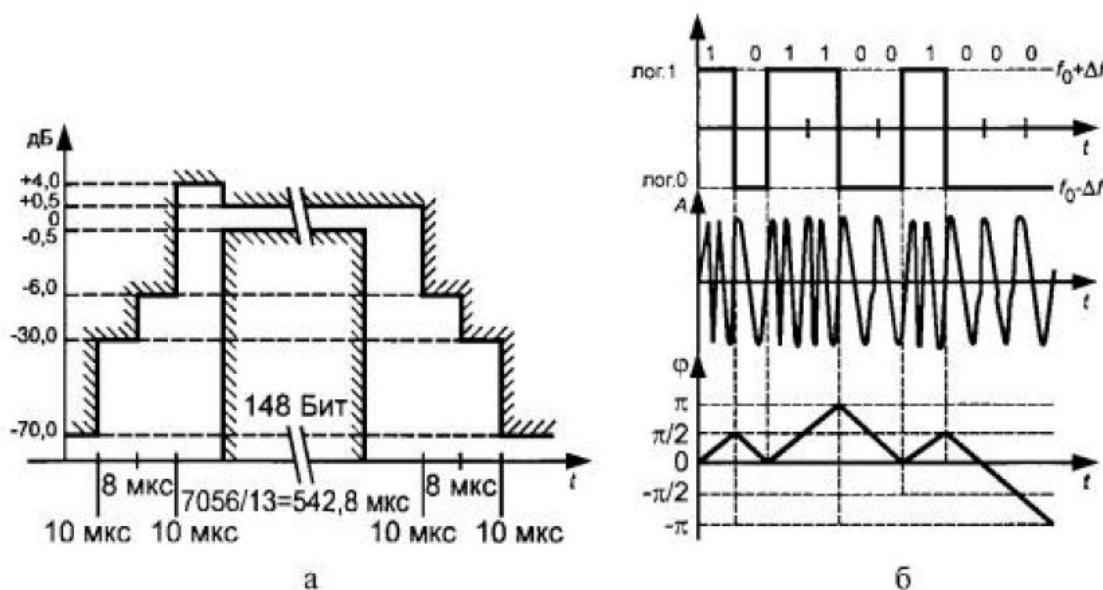


Рисунок 6.2 – Сигнал радіочастотного пакету стільникового зв'язку:
а – маска огинаючої радіочастотного пакета; б – інформаційна частина радіочастотного пакета

Передавачі характеризуються вихідною потужністю, яка подається на антену. Оскільки у стільникових системах зв'язку використовують одні й ті ж типи антен, потужність на вході антени пов'язана з напруженістю електричного поля або густиною потоку енергії електромагнітного поля у дальній зоні. Отже потужність передавача є параметром електромагнітної безпеки, який використовують у стандартах стільникових систем зв'язку.

Термін «вихідна потужність» у стандартах GSM відноситься до потужності, яка усереднюється за інформаційною частиною радіочастотного пакета. Термін «пікова потужність» відноситься до максимальної потужності сигналу за час, достатній для його захоплення та вимірювання. Отже, за своєю сутністю вихідна потужність є середньої піковою. Класи потужності та значення середньої пікової потужності, що їм відповідають, представлено у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Класи потужності та відповідні значення середньої пікової потужності

Клас потужності	Мобільна станція, Вт (дБ відн. 1 мВт)	Базова станція, Вт
1	20 (43)	320
2	7,8 (39)	160
3	5,0 (37)	80

4	2,0 (33)	40
5	0,8 (29)	20
6		10
7		5,0
8		2.5

При експлуатаційних випробуваннях базових станцій контролюють наступні параметри: середню потужність передавача в режимі генерації несучої радіочастотного пакета, яка співпадає з середньою піковою потужністю; центральну частоту спектра випромінення; ширину необхідної полоси випромінень; рівні позаполосних випромінень.

При санітарно-епідеміологічному оцінюванні електромагнітної безпеки населення контролюють густину потоку енергії електромагнітного поля. У зв'язку з тим, що передавач базової станції працює у режимі, близькому до неперервної генерації (оскільки радіочастотні пакети повторюються з великою частотою), при контролі використовують вимірювач середніх квадратичних значень напруженості електричного поля або вимірювач середньої густини потоку енергії, що відповідає гігієнічним вимогам.

Для мобільних станцій у якості нормованого параметру використовують середню пікову потужність у режимі передачі. Для мобільної станції зі вбудованою антеною її визначають через напруженість електричного поля у дальній зоні випромінення мобільної станції. Таке обладнання відносять до 5-го класу потужності.

Для проведення вимірювань електромагнітного поля мобільних станцій необхідно забезпечити визначені заздалегідь режими їх функціонування, які у процесі експлуатації задаються як системою стільникового зв'язку через базові станції, так і користувачем. Тому для встановлення відповідності мобільної станції вимогам стандартів стільникового зв'язку GSM до складу випробувального обладнання обов'язково включають імітатор, який при випробуваннях симулює вплив означених факторів.

Вимірювання напруженості проводять наступним чином:

- мобільна станція розміщується у безеховій камері або на відкритій випробувальній площадці на ізольованій підпорці, яка забезпечує нормальне функціонування станції;
- приймач з імітатором підключають до вимірювальної антени, розташованої на відстані 3 м від мобільної станції;

- імітатор подає виклик, за яким мобільна станція встановлює режим роботи з максимальною середньою піковою потужністю;
- вимірювання пікової потужності радіочастотного пакета мобільної станції, отриманого з виходу антени, здійснюється методом вибірки, при цьому приймач захоплює пакет та здійснює вимірювання на протязі періоду його тривалості;
- швидкість сканування приймача має бути не менш ніж $2/T$, де T – період модуляції, що дорівнює 3,69 мкс;
- отриманий масив даних містить приблизно 300 значень, які відповідають часу передачу інформаційної частини радіочастотного пакета, усереднюються та використовуються у якості опорного рівня 0 дБ, який відповідає максимальній середній піковій потужності мобільної станції;
- отриманий масив даних порівнюється з маскою випромінювання (рис. 6.2.а).

У процесі вимірювань мобільна станція встановлюється у восьми положеннях з кроком кута повороту 45° , у кожному з яких проводяться випробування.

Далі мобільна станція заміщується напівхвильовою дипольною антеною, підключеною до вимірювального генератора, резонансна частота якої відповідає середній частоті діапазону передачу сигналів – 902,5 МГц. Потужність вимірювального генератора встановлюється такою, щоб отримати значення, що відповідають опорному рівню 0 дБ, вимірюваному на виході антени імітатором у восьми положеннях мобільної станції. Цю операцію повторюють на п'яти частотах, що відповідають каналам передачі. З отриманої матриці даних обчислюють для кожного каналу середню вихідну потужність генератора

$$P_c = \frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 P_{c_n} . \quad (6.9)$$

Далі для обчислення використовують співвідношення між потужністю та напруженістю електричного поля у дальній зоні випромінювача.

Оскільки використовується метод заміщення, між потужністю підведеною до дипольної антени та потужністю підведеною до антени мобільної станції існує зв'язок через коефіцієнти направленої дії антен

$$P_c G_a = P_{MC} G_{MC} , \quad (6.10)$$

за яким визначають потужність антени мобільної станції. Для значень потужності усереднених за каналами існує співвідношення

$$P_{MC} \text{ (відносно 1 мВт)} = P_a \text{ (відносно 1 Вт)} + 30 + 2,15 \text{ дБ}. \quad (6.11)$$

У формулі (6.11) передається, що коефіцієнт направленої дії антени мобільної станції дорівнює 1, або 0 дБ. Коефіцієнт направленої дії напівхвильової дипольної антени дорівнює 2,15 дБ. Похибка визначення середньої пікової потужності мобільної станції має знаходитися у межах ± 3 дБ.

Згідно базового європейського стандарту EN 50361 по вимірюванням поглиненої питомої потужності (ППП) при опроміненні людини електромагнітними полями мобільних телефонів у діапазоні частот 300 МГц – 3 ГГц

$$ППП = \frac{dP}{dm} = \frac{\sigma E_i^2}{\rho}, \quad (6.12)$$

де dP – електромагнітна потужність, поглинена масою dm ; σ – питома провідність тканин тіла людини; ρ – густина тканин; E_i – середнє квадратичне значення напруженості електричного поля.

Вимірювання проводяться за допомогою мініатюрного перетворювача для визначення розподілу напруженості електричного поля всередині фантому, що модулює голову людини. Перетворювач встановлюється за допомогою автоматичної системи позиціонування. За виміряними значеннями напруженості електричного поля розраховують розподіл поглиненої питомої потужності та її середнє значення для максимальної маси. При вимірюванні поглиненої питомої потужності мають виконуватися наступні умови:

- навколишня температура у межах 15-30 °C із допустимим відхиленням від встановленого значення за час випробувань ± 2 °C;
- мобільна станція не взаємодіє з локальною мережею зв'язку;
- вплив інших джерел радіочастотного випромінення прибрано;
- усунено вплив викривлень електромагнітного поля мобільної станції зарахунок навколишніх предметів;
- вимірювальну систему проградуєвано;
- фантом за розмірами та формою відповідає голові та шії людини, має пласке вухо для розміщення мобільної станції, властивості матеріалів фантому близькі до властивостей тканин голови;
- фантом являє собою судину з рідиною, що дозволяє сканування електричного поля всередині неї;
- фантом не має містити інших частин тіла окрім голови та шії.

Оболонка фантому виготовляється з діелектричного матеріалу. Допуск на товщину оболонки ± 2 мм. Діелектричні властивості рідини

фантому мають бути наближені до діелектричних властивостей тканин людини, що визначаються формулами

$$\varepsilon_r = 46,52 - 0,006f + 1,59 \cdot 10^{-6}f^2 - 1,40 \cdot 10^{-10}f^3, \quad (6.13)$$

$$\sigma = 0,8054 + 0,00015f + 4,12 \cdot 10^{-8}f^2 + 2,87 \cdot 10^{-11}f^3,$$

де ε_r – відносна діелектрична проникність; σ – питома провідність рідини; f – частота, МГц.

Також у стандарті EN 50361 представлені організаційні аспекти атестації вимірювальних систем:

- зразки мобільних станцій мають бути надані трьом органам, призначеним національними комітетами;
- кожна мобільна станція випробовується індивідуально випробувачем для того, щоб її середня пікова потужність знаходилася у межах $\pm 0,3$ дБ від потрібної величини та у тому ж діапазоні, що й виміряна у безеховій камері;
- організаціям також надається обладнання для контролю частоти та середньої пікової потужності мобільної станції;
- при оцінюванні похибки вимірювальної системи має проводитися порівняння з контрольними значеннями ППП, які визначаються шляхом міжлабораторних порівнянь та надходять від призначених органів;
- якщо різниця між виміряними та контрольними значеннями перевищують ± 15 % ($\pm 0,5$ дБ), то проводиться переатестація вимірювальної системи.

6.6. Методи контролю показників випромінювань оптичного діапазону.

При контролі показників освітленості застосовують люксметри різних конструкцій. Найпростіший люксметр складається з селенового фотоелементу, який перетворює світлову енергію на енергію електричного струму, та вимірюючого цей фотострум стрілкового мікроамперметра зі шкалами, проградуєваними у люксах. Різні шкали відповідають різним діапазонам вимірюваної освітленості, перехід від одного діапазону до іншого відбувається за допомогою перемикача, який змінює опір електричного ланцюга. Ще більш високі значення показника освітленості можна вимірювати, використовуючи світлорозсіювальну насадку, яка встановлюється на фотоелемент з метою послаблення падаючого на нього випромінювання у потрібне число разів.

Криві відносної спектральної чутливості селенового фотоелементу та середнього людського ока неоднакові, тому показання люксметра залежать від спектрального складу випромінювання. Зазвичай прилади градуують з лампою розжарювання, тому при вимірюванні параметрів освітленості від інших джерел освітлення використовують коректуючі коефіцієнти. Похибка вимірювання такими люксметрами складає не менш ніж 10% від вимірюваної величини.

Люксметри більш високого класу споряджують:

- корегуючими світлофільтрами, в поєднанні з якими спектральна чутливість фотоелемента наближується до чутливості ока;
- насадкою для зменшення похибок при вимірюванні освітленості, створеної світлом, що падає під кутом;
- контрольним пристроєм для перевірки чутливості приладу.

Просторові характеристики освітлення вимірюють люксметрами з насадками сферичної або циліндричної форми. Є також моделі люксметрів для вимірювання яскравості. Похибка люксметрів високих класів знову біля 1%.

6.7. Методи контролю показників небезпечних факторів пожежі та вибуху.

6.8. Методи контролю показників іонізуючих випромінювань.

6.9 Методи контролю параметрів хімічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

До хімічних виробничих факторів відносяться усі виробничі впливи, що викликають токсичну дію моментального або пролонгованого характеру. Рівень та характер викликаних ними порушень у нормальному функціонуванні організму людини залежить від шляху потрапляння до організму, дози, часу впливу, концентрації речовини, стану окремих органів та організму в цілому, а також стану навколишнього середовища, зокрема, атмосферного тиску, температури, вологості повітря, тощо.

За характером дії хімічні речовини поділяють на шість груп:

- загальнотоксичні – більшість з використовуваних речовин, зокрема: ароматичні вуглеводні, тетраетилсвинцю,

фосфорорганічні речовини, хлоровані вуглеводні, ртуть та її органічні сполуки. тощо;

- подразнюючі, наприклад: кислоти, луги, а також хлор-, фтор-, сірко- та азотовмісні сполуки, тощо;
- сенсibilізуючі – сполуки ртуті, платина, альдегіди, тощо;
- канцерогенні – азбестовий пил, продукти нафтопереробної та нафтохімічної промисловості, тощо;
- мутагенні – етиленамін, уретан, органічні перекиси, іприт, формальдегід, тощо;
- ті, що впливають на репродуктивну функцію, – бензол, свинець, сурма, марганець, нікотин, сполуки ртуті, тощо.

За ступенем впливу на організм людини всі шкідливі речовини поділяють на чотири класи небезпеки:

- надзвичайно небезпечні;
- високонебезпечні;
- помірно небезпечні;
- малонебезпечні.

При поділі на класи небезпеки одним з визначальних параметром є концентрація речовини у повітрі робочої зони у співвідношенні до гранично допустимого її значення. Визначення концентрації потребує початкового відбору проби речовини з наступними проведенням аналізу отриманих зразків. Відоме велике різноманіття аналітичних методів контролю параметрів хімічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які широко використовуються у щоденній практиці. Детальний аналіз та підходи до стандартизації цих методів наведені у Лекції № 9.

Газоаналізатори – прилади газового аналізу – призначені для визначення концентрацій газів у повітрі при вирішенні завдань визначення забруднень атмосфери, включаючи автоматизований контроль. Саме різноманітність фізико-хімічних властивостей газів визначає неможливість створення універсального приладу для визначення вмісту будь-яких речовин у повітряній суміші.

За способом керування газоаналізатори поділяють на автоматичні та неавтоматичні; будь-які з них можуть бути стаціонарними, переносними та бортовими.

За принципом дії всі газоаналізатори поділяють на наступні групи:

1) механічні прилади:

- об'ємно-манометричні лабораторні газоаналізатори для визначенні об'єму або тиску суміші після видалення однієї з її складових;

- густинімірні лабораторні газоаналізатори для вимірювання густини газової суміші;
 - акустичні лабораторні газоаналізатори для вимірювання вмісту складових газової суміші за показниками розповсюдження звукової хвилі у ній;
- 2) газоаналізатори магнітні на кисень:
- магнітомеханічні (роторні або магнітоєфузійні) напівавтоматичні газоаналізатори для вимірювання сил. Які діють на діаманітне тіло, оточене кисеньвмісткою газовою сумішшю у магнітному полі;
 - термомагнітні автоматичні газоаналізатори для визначення інтенсивності термомагнітної конвекції кисню;
 - магнітні газоаналізатори теплопровідності, що вимірюють теплопровідність газової суміші у магнітному полі;
- 3) теплові газоаналізатори:
- газоаналізатори теплопровідності (автоматичні) газової суміші;
 - термохімічні прилади, які вимірюють тепловий ефект реакції каталітичного окислення;
- 4) електричні газоаналізатори:
- іонізаційні газоаналізатори для визначення характеристик іонізації газової суміші;
 - електрохімічні автоматичні газоаналізатори, у тому числі: гальванічні та деполяризаційні (для дослідження деполяризаційних властивостей кисню), кулонометричні (для визначення кількості заряду, що утворюється в результаті електролітичної реакції за участю речовини, що оцінюється), кондуктометричні (для визначення електропровідності газової суміші);
 - напівпровідникові абсорбційні газоаналізатори для вивчення властивостей напівпровідників у процесі абсорбції або каталітичного окислення досліджуваних газів;
- 5) оптичні газоаналізатори:
- інтерференційні газоаналізатори, які можуть виділити за допомогою фільтрів потік випромінювання вузьких спектральних діапазонів в ультрафіолетовій або інфрачервоній областях спектру, що відповідають пологам поглинання газів, що досліджуються;
 - спектрометричні автоматичні газоаналізатори для вимірювання спектрів випромінювання газів;

- газоаналізатори інфрачервоного поглинання (оптико-акустичні) автоматичні, що реалізують вимірювання характеристик поглинання газами інфрачервоного випромінювання;
- газоаналізатори ультрафіолетового поглинання автоматичні, що реалізують вимірювання характеристик поглинання газами ультрафіолетового випромінювання;
- фотокolorиметричні автоматичні газоаналізатори – рідинні та стрічкові – для вимірювання оптичних властивостей інликаорного розчину, який реагує з газом, що оцінюється.

Основну та додаткову похибки газоаналізатора зазвичай визначають у відсотках діапазону вимірювань. Важливою характеристикою газоаналізатора, що визначає ступінь його придатності для аналізу динаміки зміни концентрації компонентів сумішей, є інерційність – час з моменту зміни концентрації компонента на вході приладу до моменту фіксації його показань.

Найпростішим пристроєм для аналізу газових сумішей є стрічковий індикатор, який дозволяє проводити експрес-аналіз повітря на наявність найбільш розповсюджених забруднювачів: діоксиду азоту, діоксиду сірки, сірководню, аміаку, хлору, фтору, оксиду вуглецю, тощо. Для роботи жодної професійної підготовки не потрібно. Сутність роботи індикатора полягає у зміні кольору спеціальної індикаторної стрічки при реакції з компонентом, що визначається. Контроль кольору ведуть візуальним способом. Діапазон вимірювань становить 1-10 ГДК речовини. Прилад працює при температурі –15...+40°C та відносній вологості 50-90 %.

До переваг приладу відносяться оперативність контролю, простоту та надійність, малі габарити та вагу, зручність та безпеку в роботі.

6.10 Методи контролю параметрів біологічного забруднення повітря робочої зони.

Прилади, які використовуються для контролю мікробного забруднення повітря, можна розділити на два основних типи:

- 1) пов'язаний з попереднім відбором проб та наступним їх аналізом з використанням сучасних біофізичних методів індикації білкових субстратів;
- 2) заснований на явищі флюоресценції білків у полі збуджуючого ультрафіолетового випромінювання.

Перший тип приладів контролю мікробіологічного забруднення повітря заснований на інерційному, седиментаційному методах, а також методі фільтрації.

Метод інерційного осаджування та метод осаджування під дією центробіжних сил використовують у пробовідбірниках-імпакторах. Ці методи засновані на осаджуванні частинок-носіїв мікроорганізмів на поверхню живильного середовища. Потім підложку з живильним середовщем інкубують на протязі заданого часу. Для росту колонії бактерій її витримують при температурі 30-35 °C зазвичай на протязі 48 годин. Додаткова інкубація на протязі 72 годин при температурі 20-25 °C забезпечує зростання грибків. Інерційний метод заснований за осаджуванні частинок мікробного аерозолі з повітряного потоку на поверхню живильного агару з наступним інкубуванням (проращуванням) осаджених мікроорганізмів у термостаті. Через визначений час мікроскопічні частинки аерозолі дають на поверхні агару видимі оком колонії мікроорганізмів, число яких можна підрахувати під мікроскопом візуально або за допомогою сучасної відеотехніки.

Не дивлячись на різноманітність конструкцій, в усіх приладах-пробовідбірниках інерційного типу частинки аерозолі при набіганні на перешкоду (поверхня агару або рідини) внаслідок інерції не обігають її, а продовжують прямолінійний рух до співудару з перешкодою (імпація). Прилади, які діють за принципом інерційного осаджування на тверді поверхні, – **імпактори** бувають:

- щілинними, в яких аерозоль входить у щілину та надалі попадає на чашку Петрі з агаром, яка обертається;
- із ситовими решітками, в яких аерозоль проходить через решітку з каліброваними отворами, діаметр яких розраховано на інерційне осаджування частинок масою більшої заданої – зазвичай це частинки розміром більшим 5 мкм;
- центрифужного типу (ротаційні), у яких осаджування аерозольних частинок відбувається зарахунок центробіжної сили також на поверхню агару.

Імпактори дозволяють визначати число аерозольних частинок, які містять ту чи іншу кількість мікроорганізмів, які знаходяться у пробі повітря визначеного об'єму. У каскадних імпакторах використовують декілька ступенів (каскадів) з послідовним збільшенням швидкості проходження аерозолі крізь отвори з меншим, ніж у попередньому каскаді, діаметром. Таким чином вдається осаджувати аерозольні частинки розміром від 5 до 10 мкм

таоримати розподіл частинок за фракціями (імпактор Андерсена, імпактор Мея, тощо).

В імпінжерах осаджування аерозольних частинок, які містять мікроорганізми, відбувається у рідині (зазвичай це фізіологічний розчин – 0,9%-вий розчин NaCl у дистильованій воді). У рідині частинки деагретуються і, внаслідок чого отримують мікробну суспензію. Наступний посів суспензії на чашки Петрі та інкубування у термостаті також дає рост колоній, однак тут кожна колонія формується з однієї мікробної клітини, а не з агрегованих клітин, як це відбувається у імпакторах. Таким чином, імпінжер дає уявлення про кількість мікробних клітин у відібраній пробі повітря (або у одининому об'ємі повітря). Однак слід пам'ятати, що в імпінжерах значна кількість клітин гине при контакті з фізіологічним розчином.

Обираючи той чи інший пробовідбірник слід брати до уваги величину (об'єм) проби, яка має бути достатньо представницькою для надійного оцінювання мікробного забруднення повітря, особливо у приміщеннях високого класу чистоти. Важливе значення має діапазон розмірів частинок, які відбирає пробовідбірник, а також його чутливість, під якої розуміють мінімальну кількість мікробних частинок, визначену у розрахунку на одиницю об'єма проби. Велика чутливість є необхідною, наприклад, при оцінюванні стерильності повітря.

Серед сучасних приладів слід відмітити портативні пробовідбірники ротаційного типу RCS Plus и Standard RCS, чутливістю не менш 1 та 4 КОЕ/м³, які здатні відбирати проби об'ємом до 1000 л. Особливістю цих приладів є використання стрічкових касет з агаром замість чашек Петрі.

Прилади з попереднім відбором проб називають пробовідбірниками «об'ємного аналізу», а спосіб відбору проб називають «активним пробовідбором».

Седиментаційний метод полягає у визначенні мікробних частинок, які осаджуються на поверхню чашек Петрі з агаром. Цей метод не дає кількісної характеристики забруднення повітря та слугує лише додатком до інших методів відбору проб, оскільки на чашки Петрі осаджуються лише частинки великого розміру, в той час як малі частинки продовжують висіти у повітрі й не ідентифікуються. Побічно цей метод характеризує забруднення поверхней.

Метод фільтрації. Існують два типи фільтрів для пробовідбору. Перший – «абсолютний», отвору у якому мають калібрувальний розмір. Такий фільтр затримує всі частинки, розмір

яких є більшим за розмір отворів. Подальше оцінювання мікробного забруднення може проводитися шляхом мікроскопування або методів відбитків на живильне середовище. Другий тип фільтрів – об'ємний, що являє собою тонковолокнисту структуру з випадковим розподілом волокон. Фільтри такого типу часто виготовляють з водорозчинних матеріалів, наприклад желатина. У цьому випадку принаступному посіві проби на тверде живильне середовище отримують оцінку числа клітин, а не частинок, які містять декілька клітин. Метод фільтрації зазвичай супроводжується підвищеною (у порівнянні з методами імпації на поверхню агара) загибеллю клітин при осаджуванні на поверхню фільтра.

Також у відомих працях з біологічного контролю забруднень повітря використовують так званий **проточний оптико-люмінісцентний метод** визначення біоагентів. Він полягає у дослідженні білкових частинок аерозолів за люмінісцентним випроміненням, збуджуванім ультрафіолетовим або лазерним випроміненням. При усіх перевагах проточних лічильних пристроїв аналізу аерозолів, таких як висока чутливість, відносна простота реалізації, вони мають також наступні суттєві недоліки:

- обмеження за верхньою межею вимірювань рахункової та масової концентрації аерозолей;
- неізокінетичний відбір проб, пов'язаний з необхідністю прокачування проб аерозолію через лічильний об'єм приладу, що вносить похибки до визначення дисперсного складу у діапазоні великих розмірів;
- руйнівальна дія в'язкісних сил, прикладених до індивідуальної частинки з боку середовища при зміні вектору швидкості. Ці сили можуть суттєво перевищувати міцність матеріалу, внаслідок чого відбувається дроблення частинки з викривленням дисперсного складу аерозолію;
- на основі проточного оптико-люмінісцентного методу практично неможливо створити функціонально єдиний за структурою прилад, який б аналізував одночасно концентрації біоагента в аерозолі та суспензії.

ЛЕКЦІЯ № 7.

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

7.1. Концепція невизначеності вимірювання. Основні поняття й визначення

Поняття «невизначеність вимірювання» в офіційному побуті вперше з'явилося в 1980 р. у вигляді Рекомендацій робочої групи Міжнародного бюро мір і ваг «Вираження експериментальних невизначеностей». Однієї із причин появи даного документа стала існуюча невідповідність оцінок, які виконуються у різних країнах, метрологічних характеристик однотипних національних еталонів при їхніх міжнародних звіреннях. Іншою немаловажною причиною можна вказати різні підходи, що використовувалися окремими державами при оцінках похибок результатів вимірювання у практиці міжнародних торгово-економічних відносин, що гальмувало розвиток процесів глобалізації й створювало не виправдані бар'єри для міжнародного співробітництва.

Незважаючи на те, що з моменту офіційної легалізації поняття невизначеності пройшло вже більше 30 років (протягом яких був розроблений і прийнятий ряд основних міжнародних документів, включаючи відомий **«Посібник з вираження невизначеності вимірювання»** – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1993, International Organization for Standardization, Geneva), відношення світового співтовариства метрологів до концепцій «похибка вимірювання» і «невизначеність вимірювання» дотепер залишається неоднозначним.

Є прихильники й того, і іншого напрямку, причому, як у нашій країні, так і за рубежом. Не вдаючись у подробиці, відбиті в спеціальній літературі, відзначимо, що основний масив нормативних документів в області метрології в Україні в цей час опирається на класичне поняття «похибка вимірювання», що розглядалося в попередніх розділах цього навчального посібника. Разом з тим, з огляду на очевидні тенденції світового розвитку (що передбачають прискорення переходу до концепції «невизначеність вимірювання»), а також необхідність забезпечити сприятливі умови для рівноправного співробітництва із закордонними партнерами, в Україні також уживають певні кроки по підготовці нормативної бази, що регламентує використання поняття «невизначеність вимірювання» у метрологічній практиці (у цьому зв'язку відзначимо, насамперед, що діє на території України нормативно-методичний документ).

Беручи до уваги зазначену обставину, неважко дійти висновку про необхідність включення концепції невизначеності в навчальні курси по метрології. Далі основні поняття даної концепції, а також деякі результати її аналізу в порівнянні із класичною концепцією похибки, будуть коротко викладені з використанням результатів робіт.

Метою вимірювання в рамках концепції невизначеності вимірювання (як, втім, і в рамках класичної концепції похибки) є визначення значення вимірюваної величини. Як ми вже відзначали в попередніх розділах цього курсу лекцій, результат вимірювання є лише оцінкою або апроксимацією значення вимірюваної величини. Тому результат вимірювання буде повним тільки тоді, коли він супроводжується встановленням похибки (невизначеності) цієї оцінки. Слово «невизначеність» припускає непевність, сумнів. Отже, у своєму самому широкому змісті «невизначеність вимірювання» означає сумнів щодо вірогідності результату вимірювання.

Взагалі під невизначеністю вимірювання мають на увазі параметр, пов'язаний з результатом вимірювання й який характеризує дисперсію (розсіювання) значень, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині.

Таким параметром може бути, наприклад, стандартне відхилення для результату вимірювання або напівширина інтервалу, що має встановлений рівень довіри (див. далі в даному розділі). Звичайне вимірювання здійснюється за наявності ряду факторів, що впливають, які й викликають похибку (невизначеність) результату вимірювання.

При розгляді похибки (див. попередні розділи курсу лекцій), як правило, виділяють дві складові – випадкову та систематичну.

Випадкова похибка виникає через непередбачені тимчасові й просторові зміни величин, що впливають на результат вимірювання (випадкові ефекти). Випадкові ефекти викликають випадкові зміни вимірюваної величини при повторних спостереженнях.

Хоча випадкова похибка результату вимірювання не може бути компенсована виправленням, її звичайно можна зменшити, збільшивши число спостережень. Оскільки може бути виконане лише обмежене число спостережень, повністю усунути випадкову похибку не вдається (іншими словами, залишається якась невизначеність результату вимірювання).

Систематичну похибку, подібно до випадкової похибки, також не можна повністю усунути, але і її також часто можна зменшити. Оскільки така похибка виникає через систематичний вплив величини,

що впливає на результат вимірювання (систематичний ефект), то, якщо відомий цей вплив, можна внести виправлення або поправочний коефіцієнт для компенсації даного ефекту. Через те, що значення систематичного ефекту звичайно не може бути відомо абсолютно точно, то й компенсація його не може бути повної (тут також залишається якась невизначеність вимірювання).

Необхідно підкреслити, що терміни «похибка» і «невизначеність» не є синонімами, вони являють собою різні поняття; їх не слід плутати один з одним або неправильно використовувати. Поняття похибки тісно пов'язане з поняттям істинного значення вимірюваної величини. **Похибка – це відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини.** Важливо, однак, що похибка й істинне значення вимірюваної величини – ідеалізовані поняття, ні те, ні інше не можуть бути відомі точно. Результат вимірювання після внесення виправлення на відомі систематичні ефекти як і раніше є лише **оцінкою** значення вимірюваної величини внаслідок невизначеності, що виникає через випадкові ефекти й неточне знання виправлення результату на систематичні ефекти.

Результат вимірювання (після внесення виправлення на систематичні ефекти) може бути дуже близьким до істинного значення вимірюваної величини й тому може мати зневажливо малу похибку, навіть якщо він має більшу невизначеність.

Отже, точні значення складових похибки невідомі й непізнавані. Аналогічно й невизначеності, зв'язані з випадковими й відомими систематичними ефектами, також можуть бути тільки оцінені. Але, навіть якщо оцінені невизначеності є незначними, немає ніякої гарантії, що похибка результату вимірювання буде також незначною, тому що можуть враховуватися не всі систематичні ефекти, оскільки не всі вони розпізнаються. Таким чином, невизначеність вимірювання не є вказівкою на те, що оцінка вимірюваної величини близька до щирого значення цієї величини. Тут доречно відзначити, що поняття істинного значення вимірюваної величини взагалі не використовується в рамках концепції невизначеності. Невизначеність вимірювання виражає лише той факт, що для результату вимірювання даної фізичної величини немає єдиного значення, а є нескінченне число значень, розсіяних навколо оцінки вимірюваної величини. Ці значення погодяться з усіма спостереженнями й даними, а також зі знанням фізичного миру, і з різним ступенем упевненості можуть бути приписані вимірюваній величині.

На практиці існує багато можливих джерел невизначеності при вимірюванні, включаючи:

- нерепрезентативну вибірку – обмірюваний зразок може й не представляти вимірювану величину;
- використання неадекватних моделей об'єкта вимірювання, а також неадекватне врахування ефектів навколишнього середовища, що впливають на вимірювання;
- суб'єктивна систематична похибка оператора при знятті показань аналогових приладів;
- кінцева роздільна здатність приладу або поріг чутливості;
- неточні значення, приписані еталонам, які використовуються для вимірювання, і стандартним зразкам речовин і матеріалів;
- неточні значення констант і інших параметрів, отриманих із зовнішніх джерел і які використовуються в алгоритмі обробки даних;
- апроксимації й припущення, які використовуються в методі вимірювання й вимірювальній процедурі;
- зміни в повторних спостереженнях вимірюваної величини при явно однакових умовах.

В офіційних документах рекомендується розділяти складові невизначеності на складові, оцінювані за типом А, і складові, оцінювані за типом В. При цьому оцінка за типом А здійснюється відомими з теорії похибок статистичними методами. Оцінка за типом В може бути виконана будь-якими іншими методами, крім статистичних. В оцінках невизначеності виділяють також стандартну (за типом А, за типом В і сумарну) і розширену невизначеності. Методи одержання зазначених оцінок викладаються далі.

7.2. Обчислення стандартної невизначеності. Оцінювання стандартної невизначеності за типом А

У більшості випадків вимірювана величина Y не є прямо вимірюваною, а залежить від n інших вимірюваних величин X_1, X_2, \dots, X_N через якусь функціональну залежність F :

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_N), \quad (7.1)$$

яку зазвичай називають рівнянням вимірювання (моделним рівнянням). Ця залежність вважається апіорі відомою, хоча будь-які загальні (офіційно узаконені) методи її одержання (обґрунтування), а також оцінки її точності (невизначеності) у цей час відсутні. Із загальних міркувань, однак, можна затверджувати, що для

одержання (7.1) необхідно знайти аналітичне рішення системи рівнянь (з відповідними граничними й початковими умовами), що описує всі явища й процеси, істотні при виконанні вимірювання (включаючи рівняння фізичних моделей інформаційного сигналу, об'єкта вимірювання й вимірювального приладу з урахуванням їхньої можливої взаємодії та взаємного впливу, а також рівняння, що описують всі впливові фактори зовнішнього середовища, у якому здійснюються вимірювання).

ПРИКЛАД 1. Нехай потрібно виміряти прискорення вільного падіння g за допомогою математичного маятника (математичним маятником називають матеріальну точку, підвішену на невагомій і нерозтяжній нитці, яка здійснює коливання у вертикальній площині під дією сили ваги). Формула для визначення прискорення вільного падіння (рівняння вимірювання) виходить у результаті рішення відповідних рівнянь руху маятника (які можна знайти в курсах фізики або механіки) і має вигляд

$$g = \frac{4\pi^2 m^2 l}{t^2},$$

де m – число коливань математичного маятника, t – час, затрачений на m коливань; l – довжина математичного маятника. У цьому випадку вимірюваною (вихідною) величиною Y є прискорення вільного падіння g . Ця вихідна величина, на відміну від вхідних величин $X_1 = m$, $X_2 = t$, $X_3 = l$, не є прямо вимірюваною.

Оцінка вхідної величини X_i позначається x_i . Найкращою доступною оцінкою вхідної величини X_i , для якої було отримано n незалежних значень X_{ik} ($k = 1, 2, \dots, n$) при однакових умовах вимірювань, є її середнє арифметичне значення \bar{X}_i , тобто

$$x_i = \bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_{ik}. \quad (7.2)$$

Оцінку вимірюваної (вихідної) величини Y , яка позначається y , одержують із рівняння (7.1), використовуючи вхідні оцінки x_1, x_2, \dots, x_n для значень N величин X_1, X_2, \dots, X_N . Таким чином, вихідна оцінка y виражається в такий спосіб:

$$y = f(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_N). \quad (7.3)$$

Окремі спостереження X_{ik} величини X_i відрізняються один від одного за значенням через випадкові зміни величин, що впливають на X_i . Найкраща оцінка дисперсії середнього значення \bar{X}_i виражається як

$$u^2 \bar{X}_i = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_i)^2. \quad (7.4)$$

Експериментальна дисперсія середнього $u^2 \bar{X}_i$ й експериментальне стандартне відхилення середнього значення, дорівнює додатному квадратному кореню з $u^2 \bar{X}_i$, кількісно визначає, наскільки добре \bar{X}_i оцінює очікуване значення величини X_i . Тому вони можуть бути використані як міра невизначеності \bar{X}_i . Таким чином, для вхідної величини X_i стандартна невизначеність $u \bar{X}_i$ її оцінки $x_i = \bar{X}_i$ є:

$$u \bar{X}_i = \sqrt{u^2 \bar{X}_i}. \quad (7.5)$$

Якщо хочуть указати метод, за допомогою якого в цьому випадку була отримана невизначеність $u \bar{X}_i$, то говорять, що $u \bar{X}_i$ – це стандартна невизначеність, підрахована за типом а. Таким чином, стандартну невизначеність за типом а одержують із ряду повторних спостережень X_{ik} ($k = 1, 2, \dots, n$) вхідної величини X_i (як у розглянутому випадку).

Примітка 1. Число спостережень n повинно бути досить великим, щоб \bar{X}_i давало надійну оцінку очікуваного значення величини X_i і щоб $u^2 \bar{X}_i$ забезпечувало надійну оцінку дисперсії.

Примітка 2. Дисперсія $u^2 \bar{X}_i$ є більш фундаментальною величиною, чим стандартне відхилення $u \bar{X}_i$. Спочатку завжди знаходять середньоквадратичну дисперсію, виходячи з відомого набору значень величини, яка випадково змінюється, X_{ik} ($k = 1, 2, \dots, n$), а потім вже визначається стандартне відхилення. Однак для опису невизначеності величини \bar{X}_i стандартне відхилення $u \bar{X}_i$

використовується частіше, ніж дисперсія $u^2(\bar{X}_i)$, тому що $u(\bar{X}_i)$ має ту ж саму розмірність, що й X_i .

Примітка 3. Якщо випадкові зміни в спостереженнях вхідної величини корельовані (зв'язані між собою), наприклад, за часом, то середнє значення й експериментальне стандартне відхилення середнього можуть бути невідповідними для оцінки очікуваного значення величини і її невизначеностей. У таких випадках результати спостережень варто аналізувати, використовуючи статистичні методи, спеціально призначені для обробки рядів корельованих величин, що змінюються випадково.

ПРИКЛАД 2. Нехай для визначення прискорення вільного падіння g (див. Приклад 1) проводяться $n=5$ повторних спостережень часу $m=10$ коливань математичного маятника (довжина математичного маятника $l=465$ мм). Результати окремих спостережень представлені в таблиці:

Таблиця 7.1.

Номер спостереження, k	1	2	3	4	5
Час 10 коливань, t_k , с	13,649	13,635	13,640	13,662	13,639

Середнє арифметичне значення часу 10 коливань дорівнює

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^5 t_k \cong 13,645 \text{ с.}$$

Саме значення \bar{t} необхідно використовувати

для розрахунку прискорення вільного падіння:

$$g = \frac{4\pi^2 m^2 l}{\bar{t}^2} = 9,86 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Стандартна невизначеність $u(\bar{t})$, с, середнього значення часу

$$u(\bar{t}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^5 (t_k - \bar{t})^2} \cong 0,005$$

10 коливань є

7.3. Обчислення стандартної невизначеності. Оцінювання стандартної невизначеності за типом В

Розглянемо тепер випадок, коли оцінка x_i була отримана не в результаті повторних спостережень вхідної величини X_i , а в будь-

який інший спосіб. У такому випадку стандартну невизначеність $u(x_i)$ визначають на базі наукового судження, заснованого на всій доступній інформації про можливу мінливість X_i . Стандартну невизначеність $u(x_i)$, знайдену в такий спосіб, називають **стандартною невизначеністю за типом В**. Інформація, використана для оцінки $u(x_i)$, може включати:

- дані попередніх вимірювань;
- загальні знання про поводження й властивості відповідних матеріалів і приладів;
- специфікації виготовлювача;
- дані, які приводяться у свідченнях про **калібрування** та в інших сертифікатах;
- невизначеності, приписувані довідниковим даним.

Оцінка стандартної невизначеності за типом В може бути такою ж надійною, як і оцінка за типом А, особливо коли оцінювання за типом А ґрунтується на невеликому числі незалежних спостережень. Розглянемо конкретні приклади.

Якщо невизначеність вхідної оцінки x_i дається в джерелі інформації як деяка величина, кратна стандартному відхиленню, то стандартну невизначеність $u(x_i)$ можна прийняти рівній даній величині, діленій на множник, що визначає зазначену кратність.

ПРИКЛАД 3. Свідчення про калібрування затверджує: «маса m_s еталона з нержавіючої сталі з номінальним значенням 1 кілограм становить 1000,000325 г. Невизначеність цього значення рівняється 240 мкг на рівні трьох стандартних відхилень». Тоді стандартна невизначеність еталона маси дорівнює $u(m_s) = \left(\frac{240}{3} \right) \text{ мкг} = 80 \text{ мкг}$.

Невизначеність величини x_i не завжди дається у вигляді величини, кратної стандартному відхиленню. Замість цього можна зустріти твердження, що невизначеність величини x_i визначає інтервал, що має 90, 95 або 99 %-ний рівень довіри. Якщо не зазначено іншого, то можна припустити, що використовувався нормальний розподіл гаусса для обчислення згаданої невизначеності (див. Примітки 4 та 5). Стандартну невизначеність для x_i одержують діленням наведеної невизначеності на відповідний коефіцієнт для нормального розподілу. Коефіцієнти, що відповідають рівням довіри 90%, 95%, 99 % рівні, відповідно: 1,64; 1,96 і 2,58 (див. Табл. 6.2).

Примітка 4. Нехай імовірність того, що значення величини X перебуває в інтервалі від x до $x + dx$, дорівнює dP . Тоді функцію

$p(x) = \frac{dP}{dx}$ називають **функцією щільності ймовірностей**.

Імовірність того, що значення величини X перебуває в інтервалі від $-\infty$ до $+\infty$, дорівнює 1 (достовірна подія). Тому $\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx = 1$

– умова нормування.

Примітка 5. У випадку **нормального розподілу Гаусса** функція щільності ймовірностей має вигляд

$$p(x) = \frac{1}{u\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2u^2}\right).$$

Тут \bar{x} – середнє значення (оцінка) величини X ; u^2 – її дисперсія, u – стандартне відхилення (додатний квадратний корінь із дисперсії).

Примітка 6. На рис. 7.1 наведена функція щільності ймовірностей $p(x)$ у випадку, коли вхідною величиною X_i є температура t . Передбачається, що можливі значення температури описуються нормальним розподілом Гаусса із середнім значенням $\bar{t} = 100^\circ\text{C}$ і стандартним відхиленням $u = 1,5^\circ\text{C}$.

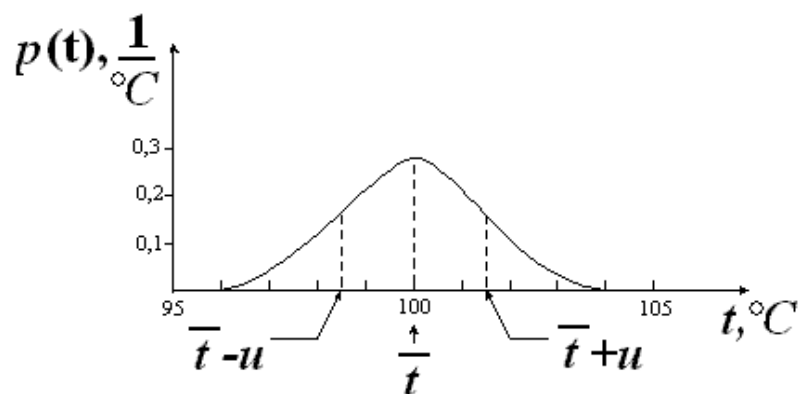


Рисунок 7.1. Функція щільності ймовірностей вхідної величини t (температури) у випадку нормального розподілу Гаусса

ПРИКЛАД 4. У свідченні про калібрування говориться: «опір еталонного резистора R_s з номінальним значенням 10 ом становить

при температурі 23°C $10,000742$ ом ± 129 мком. Згадана невизначеність 129 мком визначає інтервал, що має 99%-ний рівень довіри». Тоді стандартна невизначеність резистора, з урахуванням наведеного наприкінці приклада 3 значення $2,58$ коефіцієнта для рівня довіри 99% , є $u(R_s) = \left(\frac{129}{2,58} \right) \text{ мком} = 50 \text{ мком}$.

У ряді випадків можна оцінити тільки границі (верхня й нижня межі) для величини X_i . Наприклад, затверджується: «імовірність того, що значення X_i перебуває в інтервалі значень від a_- до a_+ , дорівнює одиниці. Імовірність того, що значення X_i перебуває за межами цього інтервалу, істотно дорівнює нулю». Якщо немає конкретних відомостей про можливі значення X_i усередині інтервалу, то можна тільки припустити, що X_i з однаковою ймовірністю може перебувати в будь-якому місці в його межах (рівномірний або прямокутний розподіл можливих значень). Тоді очікуваним значенням (оцінкою) величини X_i є середня точка інтервалу:

$$x_i = \frac{a_+ + a_-}{2}. \quad (7.6)$$

Дисперсія цього прямокутного розподілу, що визначає стандартну невизначеність по типі в, дорівнює

$$u^2(x_i) = \frac{a_+^2 - a_-^2}{12} = \frac{a^2}{3}, \quad (6.7)$$

де $a = \frac{a_+ - a_-}{2}$ – напівширина інтервалу.

Примітка 7. Функція щільності ймовірностей для прямокутного розподілу має вигляд: $p(x) = \frac{1}{2a} = \text{const}$, якщо $a_- \leq x \leq a_+$ і $p(x) = 0$ у протилежному випадку.

Примітка 8. На рис. 7.2 наведена функція щільності ймовірностей у випадку прямокутного розподілу можливих значень. Передбачається, що вхідною величиною X_i є температура t .

Нижньою границею розподілу є значення температури $a_- = 96^\circ\text{C}$, а верхньою границею – значення $a_+ = 104^\circ\text{C}$. Таким чином, напівширина інтервалу дорівнює $a = \frac{a_+ - a_-}{2} = 4^\circ\text{C}$. Найкращою оцінкою t є середня точка інтервалу $\bar{t} = \frac{a_+ + a_-}{2} = 100^\circ\text{C}$. Стандартна невизначеність цієї оцінки, обумовлена як корінь квадратний з дисперсії, є $u(\bar{t}) = \frac{a}{\sqrt{3}} \cong 2,3^\circ\text{C}$.

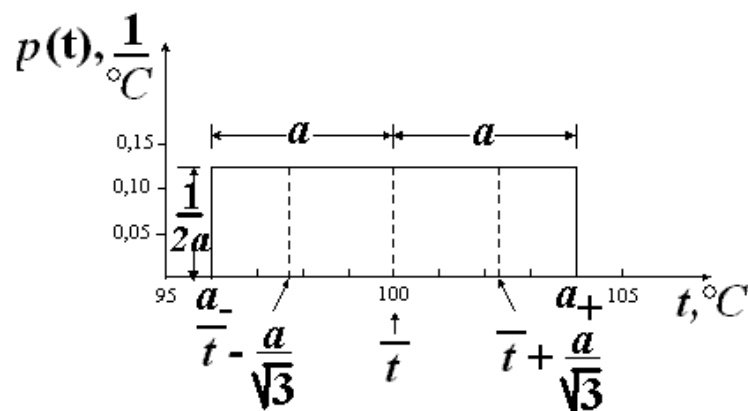


Рисунок 7.2. Функція щільності ймовірностей вхідної величини t (температури) у випадку прямокутного розподілу

ПРИКЛАД 5. Довідник дає значення температурного коефіцієнта розширення міді при 20°C $\alpha_{20}(\text{Cu}) \cong 16,52 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$. Далі говориться, що «похибка цього значення не повинна перевищувати $0,40 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ». Ґрунтуючись на настільки обмеженій інформації, можна лише припустити, що значення $\alpha_{20}(\text{Cu})$ з однаковою ймовірністю перебуває в інтервалі від $16,12 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ до $16,92 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$. Імовірність того, що $\alpha_{20}(\text{Cu})$ перебуває за межами цього інтервалу, мізерно мала. Стандартна невизначеність цього прямокутного розподілу можливих значень $\alpha_{20}(\text{Cu})$ з

напівшириною $a = 0,40 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ дорівнює

$$u_{\alpha_{20}} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0,40 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}} = 0,23 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}}.$$

Через відсутність конкретних даних про можливі значення X_i у межах його границь від a_- до a_+ доводиться використовувати прямокутний розподіл для оцінки u_{α_i} . Однак східчасті розриви функції щільності ймовірностей (Рис. 7.2) часто не мають фізичного підґрунтя. У багатьох випадках більш реалістично очікувати, що значення X_i , розташовані біля границь a_- і a_+ інтервалу, менш імовірні. Ті значення X_i , які перебувають у середині інтервалу, навпаки, більш ймовірні. Тоді замість прямокутного розподілу можливих значень доцільніше використовувати трапецоїдальний розподіл (функція щільності ймовірностей має вигляд рівнобічної трапеції). Ширина основи цієї трапеції дорівнює $a_+ - a_- = 2a$, а ширина верхньої частини $2a\beta$, де $0 \leq \beta \leq 1$. Якщо $\beta \rightarrow 1$, трапецоїдальний розподіл наближається до прямокутного. Випадок $\beta = 0$ відповідає трикутному розподілу. Для трапецоїдального розподілу оцінкою величини X_i є середня точка інтервалу $x_i = \frac{a_+ + a_-}{2}$ (так само, як і у випадку прямокутного розподілу). Дисперсія цього трапецоїдального розподілу є

$$u^2(x_i) = \frac{a^2(1 + \beta^2)}{6}. \quad (7.8)$$

При $\beta = 1$ формула (7.8) переходить у формулу (7.7) для дисперсії прямокутного розподілу. При $\beta = 0$ формула (7.8) набуває вигляду

$$u^2(x_i) = \frac{a^2}{6} \quad (7.9)$$

– дисперсія трикутного розподілу.

Примітка 7. Функція щільності ймовірностей для трикутного розподілу можливих значень має вигляд:

$$p(x) = \frac{x - a_-}{a^2}, \text{ якщо } a_- \leq x \leq \frac{a_+ + a_-}{2};$$

$$p(x) = \frac{a_+ - x}{a^2}, \text{ якщо } \frac{a_+ + a_-}{2} \leq x \leq a_+;$$

$$p(x) = 0 \text{ для інших значень } x.$$

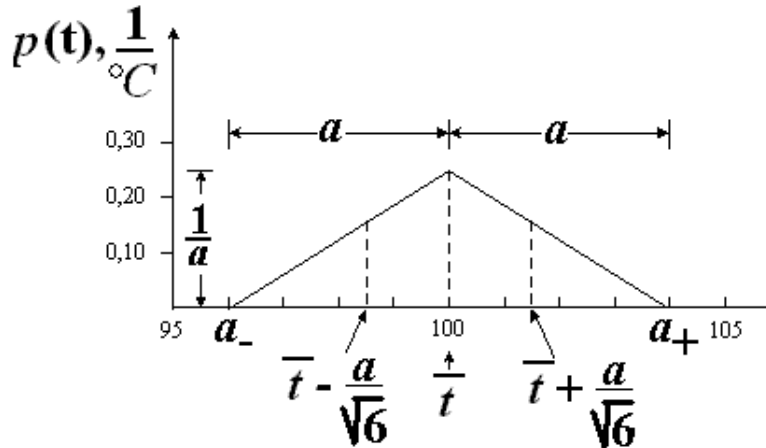


Рисунок 7.3. Функція щільності ймовірностей вхідної величини t (температури) у випадку трикутного розподілу

Примітка 10. Приклад функції щільності ймовірностей для трикутного розподілу наведений на Рис. 7.3. Як і раніше, для визначеності вважається, що вхідною величиною X_i є температура t з нижньою границею

$a_- = 96^\circ \text{C}$ і верхньою границею $a_+ = 104^\circ \text{C}$. Отже, напівширина цього розподілу $a = \frac{a_+ - a_-}{2} = 4^\circ \text{C}$, а найкраща оцінка

температури $\bar{t} = \frac{a_+ + a_-}{2} = 100^\circ \text{C}$. Стандартна невизначеність цієї

оцінки є $u \approx \frac{a}{\sqrt{6}} \cong 1,6^\circ \text{C}$.

На сам кінець відзначимо, що метою класифікації за типом А і типом В є показ двох різних способів оцінки складових невизначеності. Класифікація використовується тільки для зручності обговорення. Вона не призначена для показу того факту, що існує яке-небудь розходження в природі складових невизначеності, оцінених за типом А або за типом В. Обидва типи оцінювання засновані на розподілах ймовірностей. Стандартну невизначеність типу А одержують із функції щільності ймовірностей, що заснована на спостережуваному розподілі по частоті повторення подій. Стандартну

невизначеність типу В одержують із передбачуваної функції щільності ймовірностей, що заснована на ступені впевненості в тім, що подія відбудеться.

7.4. Визначення сумарної стандартної невизначеності

Некорельовані вхідні величини. Розглянемо спочатку випадок, коли всі вхідні величини X_i незалежні (некорельовані). Стандартна невизначеність вихідної оцінки y виходить шляхом відповідного підсумовування стандартних невизначеностей вхідних оцінок x_1, x_2, \dots, x_n . Невизначеність вихідної оцінки y позначають $u_c(y)$ і називають **сумарною стандартною невизначеністю**. Сумарна стандартна невизначеність $u_c(y)$ являє собою додатний квадратний корінь із сумарної дисперсії $u_c^2(y)$, що знаходять за формулою:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (7.10)$$

Тут f – функція, наведена в рівнянні вимірювання (7.1), $u(x_i)$ – стандартна невизначеність вхідної оцінки x_i , визначена за типом а або за типом в. Частинні похідні $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ дорівнюють похідним $\frac{\partial f}{\partial X_i}$, узятим при $X_i = x_i$. Нагадаємо, що частинною похідною $\frac{\partial f}{\partial X_i}$ функції декількох змінних $f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ називають похідну цієї функції, узяту за змінною X_i за умови, що всі інші змінні X_j , $j \neq i$ залишаються постійними. Ці похідні часто називають коефіцієнтами чутливості. Вони показують, як змінюється вихідна оцінка y при зміні значень вхідних оцінок x_1, x_2, \dots, x_n . Нехай, наприклад, зміна оцінки x_i дорівнює її стандартної невизначеності $u(x_i)$. Тоді відповідна зміна в y буде дорівнює $\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot u(x_i)$.

ПРИКЛАД 6. Опір R провідника при температурі t визначається формулою

$$R = \rho \frac{l}{S} = f(\rho, l, S),$$

де ρ – питомий опір провідника при температурі t , l – довжина провідника, S – площа його поперечного перерізу. Тоді

$$\frac{\partial R}{\partial \rho} = \frac{l}{S} \qquad \frac{\partial R}{\partial l} = \frac{\rho}{S} \qquad \frac{\partial R}{\partial S} = -\rho \frac{l}{S^2}$$

Дисперсія вихідної оцінки (опору R), згідно (7.10) дорівнює

$$u_c^2(R) = \left(\frac{\partial R}{\partial \rho} \right)^2 u^2(\rho) + \left(\frac{\partial R}{\partial l} \right)^2 u^2(l) + \left(\frac{\partial R}{\partial S} \right)^2 u^2(S).$$

Коефіцієнти чутливості $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ замість того, щоб розраховуватися з функції f , іноді визначаються експериментальним шляхом. Для цього змінюють величину X_i і визначають відповідну зміну в Y . При цьому інші вхідні величини підтримуються незмінними.

Розглянемо особливо один окремий випадок рівняння вимірювання. Нехай Y має вигляд $Y = c X_1^{p_1} X_2^{p_2} \dots X_N^{p_N}$, причому ступені p_i є додатними або від'ємними числами (c – постійна величина). Якщо p_i мають малі невизначеності, якими можна знехтувати, то рівняння (7.10) у цьому випадку можна привести до вигляду:

$$\left[\frac{u_c(y)}{y} \right]^2 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{p_i u(x_i)}{x_i} \right]^2. \quad (7.11)$$

Тут $\left[\frac{u_c(y)}{y} \right]^2$ – відносна сумарна дисперсія. Величину $\frac{u_c(y)}{|y|}$ ($|y| \neq 0$) називають **відносною сумарною стандартною**

невизначеністю, величину $\frac{u(x_i)}{|x_i|}$ ($|x_i| \neq 0$) – відносною

стандартною невизначеністю вхідної оцінки x_i .

ПРИКЛАД 7. При накладенні двох світлових когерентних хвиль відбувається їхнє взаємне посилення або ослаблення (інтерференція). Когерентними називають хвилі, що мають постійну (незмінну із часом) різницю фаз у кожній точці простору. Про інтерференцію світла судять по виду інтерференційної картини, що виникає на екрані при падінні на нього когерентних хвиль. У випадку, коли джерелом когерентних хвиль є світна щілина, інтерференційна картина являє собою світлі й темні смуги, що чергуються на екрані. Явище інтерференції дозволяє визначити довжину хвилі світла λ . Розрахунок (рішення відповідної системи рівнянь, що описують всі фізичні процеси, істотні при вимірюванні) дає, що рівняння

вимірювання має вигляд $\lambda = \frac{x\sqrt{d_1 d_2}}{ml}$, де x – відстань між m

світлими (або темними) смугами; l – відстань від джерела світла (щілини) до екрана; d_1, d_2 – зменшена й збільшена відстані між двома зображеннями щілини, що виходять за допомогою біпризми й лінзи. Вхідні величини x, m, l, d_1, d_2 є на відміну від вихідної величини λ , прямо вимірюваними. Вираз для λ можна представити у

вигляді добутку вхідних змінних: $\lambda = x^1 m^{-1} l^{-1} d_1^{\frac{1}{2}} d_2^{\frac{1}{2}}$. Тому відносну сумарну дисперсію можна визначити за формулою (7.11). Виходить

$$\left[\frac{u_c(\lambda)}{\lambda} \right]^2 = \left[\frac{u(x)}{x} \right]^2 + \left[-\frac{u(l)}{l} \right]^2 + \left[\frac{u(d_1)}{2d_1} \right]^2 + \left[\frac{u(d_2)}{2d_2} \right]^2.$$

Через те, що число смуг m експериментаторові відомо абсолютно точно, відповідну стандартну невизначеність у вищенаведеній формулі ми поклали рівної нулю: $u(m) = 0$. Відстань між екраном і щілиною l визначають за допомогою вимірювальної лінійки з міліметровими розподілами, а величини x, d_1, d_2 за допомогою мікрометра. Нехай у результаті вимірювань маємо наступні значення: $m=6$, $x=1,83$ мм, $d_1=0,58$ мм, $d_2=1,24$ мм,

$l=380$ мм. Тоді $\lambda = \frac{1,83\sqrt{0,58 \cdot 1,24}}{6 \cdot 380} = 0,68$ мкм. Кожне зі значень

вхідних величин x , m , l , d_1 , d_2 отримано не в результаті багаторазових спостережень, а в результаті одноразових вимірювань. Тому всі стандартні невизначеності вхідних оцінок є стандартними невизначеностями, обумовленими за типом в. Стандартну невизначеність $u(\bar{l})$ можна покласти рівною одному розподілу вимірювального приладу (лінійки), за допомогою якого визначається відстань l , тобто $u(\bar{l})=1$ мм. Можна вважати, що розподіл можливих значень l є приблизно нормальним. Тоді інтервал від $l_- = l - U$ до $l_+ = l + U$, де $U = 2u(\bar{l})$ містить близько 95% розподілу всіх значень, які можна приписати l . У цьому випадку ми поклали, що $u(\bar{l})=1$ мм, тому нижня й верхня границі розглянутого інтервалу будуть дорівнювати $l_- = 378$ мм, $l_+ = 382$ мм, відповідно. Ширина інтервалу $\Delta l = l_+ - l_- = 4$ мм представляється цілком достатньою, щоб дійсно охоплювати близько 95 % всіх можливих значень l . Аналогічно можна вважати, що стандартні невизначеності величин x , d_1 , d_2 дорівнюють одному розподілу мікрометра, використаному для їхнього вимірювання. Таким чином, $u(\bar{x}) = u(\bar{d}_1) = u(\bar{d}_2) = 0,01$ мм. З урахуванням сказаного для відносної сумарної стандартної невизначеності вихідної оцінки λ виходить значення:

$$\frac{u_c(\lambda)}{\lambda} = \sqrt{\left[\frac{0,01}{1,83}\right]^2 + \left[-\frac{1}{380}\right]^2 + \left[\frac{0,01}{2 \cdot 0,58}\right]^2 + \left[\frac{0,01}{2 \cdot 1,24}\right]^2} \approx 0,01,$$

тобто довжина хвилі в даному експерименті визначені з невизначеністю 1%.

Корельовані вхідні величини. Якщо які-небудь вхідні величини X_i , X_j у значній мірі корельовані (взаємозалежні), то кореляцію необхідно брати до уваги. У цьому випадку вираз для сумарної дисперсії $u_c^2(\bar{y})$ буде мати вигляд:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) +$$

$$2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j). \quad (7.12)$$

Тут x_i і x_j – оцінки вхідних величин X_i і X_j , а $u(x_i, x_j) = u(x_j, x_i)$ – оціненої коваріацією, пов'язаної з x_i і x_j .

Розглянемо дві середньоарифметичні величини $\overline{X_i}$ і $\overline{X_j}$, які оцінюють очікувані значення двох величин, що випадково змінюються, X_i і X_j . Нехай $\overline{X_i}$ і $\overline{X_j}$ обчислюються з n незалежних пар одночасних спостережень X_i і X_j , зроблених за однакових умов вимірювань. Тоді коваріація $\overline{X_i}$ і $\overline{X_j}$ оцінюється за формулою

$$u(x_i, x_j) = u(\overline{X_i}, \overline{X_j}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (X_{ik} - \overline{X_i})(X_{jk} - \overline{X_j}) \quad (7.13)$$

Тут X_{ik} і X_{jk} ($k = 1, 2, \dots, n$) є індивідуальними спостереженнями величин X_i і X_j , а $\overline{X_i}$ і $\overline{X_j}$ розраховуються зі спостережень відповідно до рівняння (7.2). Якщо в дійсності спостереження некорельовані, то розрахункова коваріація приблизно дорівнює нулю.

Значна кореляція між двома вхідними величинами може існувати, якщо при їхньому визначенні використовують той самий вимірювальний прилад, фізичний еталон вимірювання або довідкові дані, що мають значну стандартну невизначеність. Нехай, наприклад, виправлення на температуру, необхідне для оцінки вхідної величини X_i , отримують за допомогою деякого термометра. Якщо виправлення на температуру, необхідне для оцінки іншої вхідної величини X_j , теж отримують за допомогою цього ж термометра, то дві вхідні величини можуть бути істотно корельовані.

7.5. Визначення розширеної невизначеності. Коефіцієнт охоплення

Сумарна стандартна невизначеність $u_c \sqrt{\sum u_i^2}$ може використовуватися для вираження невизначеності результату вимірювання. Однак часто потрібно вказати інтервал можливих значень для вимірюваної величини y , у межах якого повинна перебувати більша частина (задана частка) розподілу значень, які можна приписати вимірюваній величині. Додаткова міра невизначеності, що відповідає вимозі вказання такого інтервалу, називається **розширеною невизначеністю** U . Розширену невизначеність можна одержати, помноживши сумарну стандартну невизначеність $u_c \sqrt{\sum u_i^2}$ на так званий **коефіцієнт охоплення** k :

$$U = k u_c \sqrt{\sum u_i^2}. \quad (7.14)$$

Тоді результат вимірювання виражається так: $Y = y \pm U$. Цей запис означає наступне:

- 1) Найкращою оцінкою значення, приписуваного вимірюваній величині Y , є y ;
- 2) Інтервал від $y - U$ до $y + U$ містить більшу частину розподілу значень, які також з достатньою підставою можна приписати y .

Значення коефіцієнта охоплення k вибирається на основі рівня довіри p , що задається. Рівень довіри p означає ту частину (задану частку) розподілу значень вимірюваної величини Y , що охоплюється інтервалом від $y - U$ до $y + U$. Наприклад, $p = 95\%$ означає, що інтервал від $y - U$ до $y + U$ містить 95% розподілу всіх значень, які можна приписати вимірюваній величині Y .

В ідеалі хотілося б вказати конкретне значення коефіцієнта охоплення k , що давало б інтервал $Y = y \pm U = y \pm k u_c \sqrt{\sum u_i^2}$, повністю відповідному необхідному рівню довіри p . Для заданого значення k також хотілося б чітко вказати рівень довіри p , пов'язаний із цим інтервалом. Відзначимо, однак, що це нелегко здійснити на практиці, оскільки це вимагає повного знання розподілу ймовірностей. Звичайно, результат вимірювання y і його сумарна стандартна невизначеність $u_c \sqrt{\sum u_i^2}$ мають велику значимість. Але самі по собі вони недостатні, щоб установити інтервал, що має **точно відомий** рівень довіри. У більшості випадків не має змісту намагатися

знайти відмінність між інтервалом, що має рівень довіри 95% та 96%. Одержання обґрунтованих інтервалів з рівнем довіри 99% і вище – особливо важка справа. Це обумовлено нестачею інформації про найбільш екстремальні ділянки або «хвостах» розподілів ймовірностей вхідних величин.

Деякі значення коефіцієнта охоплення k , розраховані для різних рівнів довіри p наведені в Табл. 7.2.

Таблиця 7.2.

ЧИСЛО СТУПЕНІВ ВОЛІ ν	РІВЕНЬ ДОВІРИ p , %			ЧИСЛО СТУПЕНІВ ВОЛІ ν	РІВЕНЬ ДОВІРИ p , %		
	90	95	99		90	95	99
1	6,31	12,71	63,66	15	1,75	2,13	2,95
2	2,92	4,30	9,92	16	1,75	2,12	2,92
3	2,35	3,18	5,84	17	1,74	2,11	2,90
4	2,13	2,78	4,60	18	1,73	2,10	2,88
5	2,02	2,57	4,03	19	1,73	2,09	2,86
6	1,94	2,45	3,71	20	1,72	2,09	2,85
7	1,89	2,36	3,50	25	1,71	2,06	2,79
8	1,86	2,31	3,36	30	1,70	2,04	2,75
9	1,83	2,26	3,25	35	1,70	2,03	2,72
10	1,81	2,23	3,17	40	1,68	2,02	2,70
11	1,80	2,20	3,11	45	1,68	2,01	2,69
12	1,78	2,18	3,05	50	1,68	2,01	2,68
13	1,77	2,16	3,01	100	1,660	1,984	2,626
14	1,76	2,14	2,98	∞	1,645	1,960	2,576

Одним з параметрів таблиці є так зване число ступенів волі ν , що у теорії невизначеності визначається з наступних міркувань. Для величини $x_i = \bar{X}_i$, оціненої з n незалежних спостережень, число ступенів волі дорівнює $\nu = n - 1$. Якщо $u_c^2(y)$ є сума двох і більше складових дисперсії у вигляді

$$u_i^2(y) = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i),$$

то число ефективних ступенів волі v_{eff} може бути отримане з формули Велча–Саттерсвейта :

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N u_i^4(y) / v_i} \quad (7.15)$$

$$v_{eff} \leq \sum_{i=1}^N v_i$$

Тут v_c – число ступенів волі, що приписується стандартній невизначеності u_i ,

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^N u_i^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u_i^2.$$

Коефіцієнт охоплення k для u_c вибирається з таблиці з $V = v_{eff}$.

Примітка 11. Якщо отримане значення v_{eff} не є цілим числом, то відповідне значення k може бути знайдене з Табл. 7.2 шляхом інтерполяції або шляхом зменшення v_{eff} до найближчого цілого числа.

Примітка 12. Значення коефіцієнта k при $v \rightarrow \infty$ (останній рядок таблиці) відповідають нормальному розподілу гаусса.

ПРИКЛАД 8. Допустимо, що $Y = f(X_1, X_2, X_3) = bX_1X_2X_3$. Нехай оцінки x_1, x_2, x_3 вхідних величин X_1, X_2, X_3 суть арифметичні середні від $n_1=10$, $n_2=5$, $n_3=15$ відповідно незалежних повторних спостережень. Нехай також відносні стандартні невизначеності дорівнюють $\frac{u_{x_1}}{x_1} = 0,25\%$, $\frac{u_{x_2}}{x_2} = 0,57\%$, $\frac{u_{x_3}}{x_3} = 0,82\%$. У цьому випадку $c_i = \frac{\partial f}{\partial X_i} = \frac{Y}{X_i}$ (оцінені при x_1, x_2, x_3), а

$$\left[\frac{u_c(y)}{y} \right]^2 = \sum_{i=1}^3 \left[\frac{u(x_i)}{x_i} \right]^2$$

$$= (0,25\%)^2 + (0,57\%)^2 + (0,82\%)^2 = (1,03\%)^2$$

Рівняння (7.15) набуває вигляду

$$v_{eff} = \frac{\left[u_c(y) / y \right]^4}{\sum_{i=1}^3 \frac{\left[u(x_i) / x_i \right]^4}{v_i}}$$

Таким чином,

$$v_{eff} = \frac{1,03^4}{\frac{0,25^4}{10-1} + \frac{0,57^4}{5-1} + \frac{0,82^4}{15-1}} = 19,0$$

Для $v=19$ і рівня довіри $p=95\%$ коефіцієнт охоплення $k=2,07$. Отже, відносна розширена невизначеність для цього рівня довіри становить $U = 2,09 \times (1,03\%) = 2,2\%$. Таким чином, $Y = y \pm U = y (\pm 0,022)$ (y визначається з рівності $y = bx_1, x_2, x_3$). Рівень довіри, пов'язаний з інтервалом $0,978y \leq Y \leq 1,022y$, становить приблизно 95%.

Коли v_{eff} розраховується за формулою (6.15), то виникає питання щодо числа ступенів волі v_i , що приписуються стандартній невизначеності $u(x_i)$, оціненої за типом в (для стандартної невизначеності типу а $v_i = n_i - 1$, де n_i – число вимірювань). У цьому випадку для оцінки v_i можна скористатися формулою

$$v_i = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \quad (7.16)$$

Величина у квадратних дужках є відносною невизначеністю $u(x_i)$ для оцінювання стандартної невизначеності за типом в;

$\frac{\Delta u_i}{u_i}$ – суб'єктивна величина, значення якої одержують шляхом наукового судження, заснованого на всій доступній інформації.

ПРИКЛАД 9. Допустимо, що чиєсь знання про те, як визначалася вхідна величина x_i і як оцінювалася стандартна невизначеність u_i , приводить до того, що він вважає, що значення u_i надійно приблизно на 25%. Це може означати, що відносна невизначеність становить $\frac{\Delta u_i}{u_i} = 0,25$ і, отже, з рівняння

$$(7.16) \quad v_i = \frac{0,25^2}{2} = 8.$$

Якщо замість цього хтось вирішив, що значення u_i надійно тільки приблизно на 50 %, тоді

$$v_i = \frac{0,5^2}{2} = 2.$$

Коли значення u_i відомо точно, тобто u_i

розглядається як константа без невизначеності, то $\frac{\Delta u_i}{u_i} \rightarrow 0$ і

$v_i \rightarrow \infty$. Це не створює ніяких труднощів при оцінюванні v_{eff} за формулою (7.15). Крім того, допущення, що $v_i \rightarrow \infty$, не є неминуче нереалістичним.

У багатьох практичних випадках можна допустити, що розподіл імовірностей, яке характеризується результатом вимірювання y і його сумарною стандартною невизначеністю $u_c(y)$, є нормальним (тобто $v_{eff} \rightarrow \infty$). З огляду на приблизний характер процедури оцінювання невизначеності й непрактичність спроб розрізнити інтервали з різницею рівнів довіри в 1 або 2%, можна робити наступне: для 2% – прийміть $k=2$ і припустить, що $U = 2u_c(y)$ визначає інтервал, який має рівень довіри приблизно 95%; або (для більш критичних ситуацій) для 1% – $k=3$ і $U = 3u_c(y)$ визначає інтервал, що має рівень довіри приблизно 99%.

ПРИКЛАД 10. Прискорення a , з яким рухається вантаж, визначається за формулою $a = \frac{s^2}{2s_0 t^2}$. Тут s_0 – довжина шляху,

пройденого вантажем на першій ділянці (з перевантаженням), s – довжина шляху, пройденого вантажем на другій ділянці (без перевантаження), t – час руху вантажу на другій ділянці. Відстані s_0 і s вимірюються за допомогою лінійки з міліметровими розподілами. У результаті були отримані значення: $s_0 = 250$ мм, $s = 200$ мм. Як відзначалося раніше (див. Приклад 7), стандартні невизначеності $u(s_0)$ і $u(s)$ можна покласти рівними одному розподілу лінійки, за допомогою якої були обмірювані величини s_0 і s , тобто $u(s_0) = u(s) = 1$ мм. Час руху вантажу на другій ділянці шляху визначалося в експерименті п'ять разів. У результаті вийшли значення: $t_1 = 0,396$ с; $t_2 = 0,385$ с; $t_3 = 0,401$ с; $t_4 = 0,349$ с; $t_5 = 0,370$ с. Середнє арифметичне $n = 5$ спостережень, відповідно до формули (6.3), дорівнює \bar{t} , с,

$$\bar{t} = \frac{0,396 + 0,385 + 0,401 + 0,349 + 0,370}{5} \cong 0,380$$

Експериментальна дисперсія середнього, обчислена з рівняння (6.4), є $u^2(\bar{t}) = \frac{1}{5-1} \{ (0,396-0,380)^2 + (0,385-0,380)^2 + (0,401-0,380)^2 + (0,349-0,380)^2 + (0,370-0,380)^2 \} \cong 89 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2$. Звідси виходить, що експериментальна стандартна невизначеність середнього значення дорівнює $u(\bar{t}) = \sqrt{u^2(\bar{t})} \cong 0,009$ с (див. 7.5). Прискорення вантажу з урахуванням вказаних для s_0 , s і \bar{t} значень дорівнює

$$a = \frac{200}{2 \cdot 250 \cdot 0,380^2} \cong 0,55 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \text{ Вираз для прискорення можна}$$

представити у вигляді добутку $a = \frac{1}{2} \cdot s^2 \cdot s_0^{-1} \cdot t^{-2}$. Тоді відносна сумарна стандартна невизначеність, згідно з (7.11), є

$$\frac{u_c(a)}{a} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot u(s)}{s} \right)^2 + \left(-\frac{u(s_0)}{s_0} \right)^2 + \left(-\frac{2u(\bar{t})}{\bar{t}} \right)^2}$$

Підставляючи конкретні значення вхідних величин і їхніх невизначеностей, одержимо

$$\frac{u_c(a)}{a} = \sqrt{\left(\frac{2}{200}\right)^2 + \left(-\frac{1}{250}\right)^2 + \left(-2\frac{0,009}{0,380}\right)^2} \cong 0,05$$

Отже, сумарна стандартна невизначеність має значення

$$u_c \cong 0,05 \cdot 0,55 \frac{M}{c^2} \cong 0,028 \frac{M}{c^2}.$$

Щоб знайти розширену невизначеність, оцінимо число ефективних ступенів волі ν_{eff} . З рівняння (7.2) треба

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(a)}{c_1^2 \cdot u(s_0)^2 / \nu_1 + c_2^2 \cdot u(s)^2 / \nu_2 + c_3^2 \cdot u(\bar{t})^2 / \nu_3},$$

Де $c_1 = \frac{\partial a}{\partial s_0}$, $c_2 = \frac{\partial a}{\partial s}$, $c_3 = \frac{\partial a}{\partial \bar{t}}$, а ν_1, ν_2, ν_3 – числа ступенів

волі, що приписуються невизначеностям $u(s_0)$, $u(s)$ і $u(\bar{t})$, відповідно. Будемо вважати, що стандартні невизначеності $u(s_0)$, $u(s)$ відомі точно, тобто значення $u(s_0) = 1\text{мм}$ і $u(s) = 1\text{мм}$ будемо розглядати як константи без невизначеностей. Відповідно до рівняння (7.16) це означає, що $\nu_1 \rightarrow \infty$, $\nu_2 \rightarrow \infty$. Число ступенів волі

для $u(\bar{t})$ є $\nu_3 = n - 1 = 4$. Через $c_3 = \frac{\partial a}{\partial \bar{t}} = -\frac{s^2}{s_0 \bar{t}^3} = -\frac{2a}{\bar{t}}$, вираз для

ν_{eff} набуває вигляду

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(a) / a^4}{4 \cdot u(\bar{t})^2 / \bar{t}^2} = \frac{0,05^4}{4 \cdot (0,009 / 0,380)^2} = 4.$$

(v_{eff} зменшили до найближчого цілого числа). Коефіцієнт охоплення k для обчисленого значення $v_{eff} = 4$ і рівня довіри $p = 95\%$ дорівнює $k = 2,78$ (див. Табл. 7.2). Тому розширена невизначеність $U = k u_c = 2,78 \cdot 0,28 \cong 0,08 \frac{M}{c^2}$. Таким чином, остаточний результат може бути представлений у вигляді $a = 0,55 \pm 0,08 \frac{M}{c^2}$.

7.6. Складання звіту про невизначеність

Складання звіту про те, як знайдена невизначеність результату вимірювань, є одним з обов'язкових вимог міжнародних нормативно-методичних документів по невизначеності.

Якщо мірою невизначеності є сумарна стандартна невизначеність u_c , треба:

- а) дати опис вимірюваної величини Y ;
- б) дати оцінку y вимірюваної величини Y і її сумарну стандартну невизначеність u_c ; завжди повинні бути зазначені одиниці для y і u_c ;
- в) за потреби включити у звіт відносну стандартну невизначеність $\frac{u_c}{|y|}$ ($|y| \neq 0$).

При складанні докладного звіту необхідно також:

- г) дати значення кожної вхідної оцінки x_i і її стандартної невизначеності u_i разом з описом того, як вони були отримані;
- д) дати оцінені коваріації u_{x_i, x_j} для всіх корельованих вхідних оцінок і методи, використані для їхнього одержання;
- е) указати ступені волі для стандартної невизначеності кожної вхідної оцінки й те, як вони були отримані;
- ж) привести функціональну залежність $Y = F(x_1, x_2, \dots, x_N)$ і, за необхідності, – часткові похідні або коефіцієнти чутливості $\frac{\partial f}{\partial x_i}$.

Однак кожний з таких коефіцієнтів, визначених експериментально, привести необхідно.

Щоб запобігти нерозумінню процедури оцінки невизначеності u_c , найкраще представляти чисельний результат вимірювання одним з наступних способів (укажемо це правило на прикладі, коли вимірювана величина є еталоном маси m_s з номінальним значенням 100 г):

1) $m_s = 100,02147$ г із сумарною стандартною невизначеністю $u_c = 0,35$ мг;

2) $m_s = 100,02147(35)$ г, де цифри в дужках є чисельним значенням сумарної стандартної невизначеності u_c , що відповідають останнім цифрам наведеного результату;

3) $m_s = 100,02147(0,00035)$ г, де число в дужках є чисельним значенням сумарної стандартної невизначеності u_c , вираженої в одиницях наведеного результату.

Коли мірою невизначеності є розширена невизначеність $U = k u_c$, треба:

а) дати опис вимірюваної величини Y ;

б) указати результат вимірювання як $Y = y \pm U$ і привести одиниці для y і U ;

в) коли прийнятно, включити відносну розширену невизначеність $\frac{U}{|y|}$, $|y| \neq 0$;

г) дати значення коефіцієнта охоплення k , використовуване для одержання U (або дати й k і u_c – для зручності тих, хто використовує оброблений результат вимірювань);

д) привести приблизний рівень довіри p , пов'язаний з інтервалом $y \pm U$, і вказати, як він був визначений;

е) при складанні докладного звіту привести також інформацію, зазначену в підпунктах г) – ж) попереднього пункту.

Коли відомою мірою невизначеності є U , то найкраще для максимальної ясності чисельний результат вимірювань представляти в такий спосіб (це правило також приведемо на прикладі вимірюваної величини, що є еталоном маси m_s з номінальним значенням 100 г):

$m_s = (100,02147 \pm 0,00079)$ г, де число, що впливає за знаком \pm , є

чисельним значенням розширеної невизначеності $U = k u_c$. Тут U визначено із сумарної стандартної невизначеності $u_c = 35$ мг і коефіцієнта охоплення $k = 2,26$, заснованого на розподілі для $\nu = 9$ ступенів волі. Наведений інтервал значень має рівень довіри приблизно 95%.

Числові значення оцінки y , її стандартної невизначеності u_c або розширеної невизначеності U не слід давати з надлишковим числом цифр. Зберігати додаткові значущі цифри треба, однак, для того, щоб уникнути похибококрруглення в наступних розрахунках. Вихідні й вхідні оцінки повинні округлятися так, щоб відповідати своїм невизначеностям. Наприклад, якщо $y = 10,05762$ Ом з $u_c = 27$ мОм, то y варто округлити до 10,058 Ом.

7.7. Короткий опис процедури оцінювання й вираження невизначеності

При оцінюванні й вираженні невизначеності результату вимірювання необхідно:

1. Виразити математично залежність між вимірюваною величиною Y і вхідними величинами X_i , від яких вона залежить: $Y = F(X_1, X_2, \dots, X_N)$. Функція f повинна містити кожен величину, що може внести значну складову у невизначеність результату вимірювань.

2. Визначити x_i – оцінене значення вхідної величини X_i . Якщо для X_i були отримані n незалежних спостережень X_{ik} ($k = 1, 2, \dots, n$) то її оцінкою є середнє арифметичне $x_i = \bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_{ik}$.

3. Оцінити стандартну невизначеність u_i кожної вхідної оцінки x_i або за типом А, або за типом В.

4. Якщо значення яких-небудь вхідних величин корельовані, потрібно оцінити їх коваріації (формула (7.13)).

5. Розрахувати результат вимірювання, тобто оцінку y вимірюваної величини Y за формулою (7.3).

6. Визначити сумарну стандартну невизначеність u_c результату вимірювання y , виходячи зі стандартних невизначеностей вхідних оцінок і їхніх коваріацій (див. формули (7.10) або (7.13)).

7. Якщо потрібно дати розширену невизначеність U , потрібно помножити сумарну стандартну невизначеність u_c на коефіцієнт охоплення k , щоб одержати $U = k u_c$. Коефіцієнт охоплення k вибирається, виходячи з бажаного рівня довіри, необхідного для інтервалу від $y - U$ до $y + U$.

Представити результат вимірювання разом з його сумарною стандартною невизначеністю u_c або розширеною невизначеністю U . Описати, яким образом були отримані y , u_c , U .

ЛЕКЦІЯ № 8.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

8.1. Основні поняття та визначення

Проблема удосконалення метрологічної діяльності в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України є актуальною, оскільки ефективність діяльності таких підрозділів в значній мірі залежить від стану використовуваної протипожежної техніки, повноти інформації щодо небезпечних чинників пожежі та інше. Вказане вище контролюється, як правило, з використанням методів та засобів вимірювань (метрології та вимірювальної техніки). Тому для підвищення ефективності роботи пожежно-рятувальних частин необхідно вдосконалювати систему метрологічного забезпечення (МЗ) в сфері пожежної безпеки. Незважаючи на те, що МЗ вимірювань в сфері пожежної безпеки є предметом державного метрологічного контролю та нагляду і регламентується діючими нормативними документами в галузі метрології, питання оптимального планування робіт з МЗ діяльності пожежно-рятувальних підрозділів, як і питання оцінки ефективності таких робіт, є недостатньо розробленими. Зокрема, на сьогодні нема кількісних методів оцінки результатів робіт з метрології, що виконуються в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України. Ця обставина не сприяє прийняттю оптимальних рішень щодо вдосконалення метрологічної діяльності в підрозділах.

Запропоновані математичні алгоритми для кількісної порівняльної оцінки результатів робіт з метрології, які виконуються різними пожежно-рятувальними підрозділами ДСНС протягом одного і того ж часу, або одним підрозділом за різні проміжки часу; на основі запропонованих математичних алгоритмів обґрунтовано методики оцінки метрологічної діяльності пожежно-рятувальних підрозділів з урахуванням будь яких критеріїв оцінки (кількісних, в тому числі різної розмірності та фізичної природи, якісних, та ін.).

Впровадження методики оцінки результатів робіт з метрології в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС як допоміжного засобу під час прийняття рішень буде сприяти оптимальному плануванню заходів зі підвищення ефективності діяльності вказаних підрозділів.

В методиці використовуються наступні визначення:

Ефективність діяльності – характеристика якості і кількості результатів діяльності з урахуванням якості і кількості ресурсів, які використано для отримання цих результатів.

Метод аналізу ієрархій – метод запропонований Т. Сааті (розділ 8.2) для визначення оптимального варіанта (з декількох) з урахуванням багатьох критеріїв різної природи.

Попарні порівняння – оцінки відносної важливості критеріїв між собою (або порівнюваних об'єктів між собою – відносно кожного критерію, за якими вони порівнюються), що здійснюються з використанням шкали відносної важливості.

Шкала відносної важливості – впорядкований набір градацій, що визначаються чисельно, для вираження результатів попарних порівнянь. Ця шкала дозволяє визначати саме відносну важливість порівнюваних елементів, тому її ділення – безрозмірні величини.

Матриця попарних порівнянь – таблиця чисельних значень результатів попарних зрівнянь, отриманих за шкалою відносної важливості.

Індекс узгодженості – кількісний показник несуперечливості результатів порівнянь (суперечливості в порівняннях виникають внаслідок суб'єктивних помилок у вихідних даних), який є позитивним числом і визначається за формулами, наведеними в розділі 8.1.

Відношення узгодженості – відношення розрахованого індексу узгодженості до середньостатистичного значення індексу узгодженості при випадковому виборі коефіцієнтів матриці порівнянь. Відношення узгодженості для системи в цілому характеризує її зважене середнє значення по всім матрицям порівнянь. Результати попарних порівнянь можна вважати практично несуперечливими (достатньо узгодженими, неспотвореними), якщо значення відношення узгодженості менше ніж 0,1.

8.2. Оцінювання результатів робіт з метрології в пожежно-рятувальних підрозділах

Запропонована методика оцінювання ефективності робіт з метрології в пожежно-рятувальних робіт призначена для:

1) порівняльного аналізу робіт з метрології в пожежно-рятувальних підрозділах, що проводять метрологічні роботи (один варіант для будь яких пожежно-рятувальних підрозділів);

2) порівняльного аналізу робіт з метрології в близьких за виконуваними задачами групах підрозділів.

3) порівняльного аналізу динаміки робіт з метрології по кожному підрозділу окремо – для реалізації цього варіанта підсумки роботи підрозділу в поточному році (періоді) порівнюються з підсумками його роботи за попередній рік (період), за результатами порівняння можуть бути зроблені висновки і рекомендації .

Розрахунковий алгоритм для усіх вищевказаних варіантів однаковий. Вихідні дані для розрахунків за кожним з варіантів методики повинні бути окремі.

Методика базується на методі аналізу ієрархій (MAI), який дозволяє використовувати при порівнянні різноманітні критерії (кількісні, якісні, числові з різною розмірністю, тощо).

Структура задачі визначення ефективності в рамках методики згідно з методі аналізу ієрархій надається у вигляді трьох ієрархічних рівнів (див. рис. 8.1). Перший (верхній) рівень ієрархії відповідає меті задачі – визначенню ефективності. На другому рівні розміщуються критерії, за якими визначається ефективність. На третьому (нижньому) рівні – пожежно-рятувальні підрозділи, ефективність яких треба визначити (порівняти).

Згідно з вищевикладеним, в рамках методики може бути реалізовано декілька варіантів порівняння, які відносяться або до випадку порівняння результатів діяльності різних пожежно-рятувальних підрозділів за один і той же проміжок часу, або до випадку, коли порівнюються результати діяльності одного і того ж пожежно-рятувального підрозділу за різні інтервали часу.

Для спрощення викладення розрахункового алгоритму (який є загальним для всіх варіантів порівняння) далі будемо використовувати термін "пожежно-рятувальний підрозділ" (ПРП).

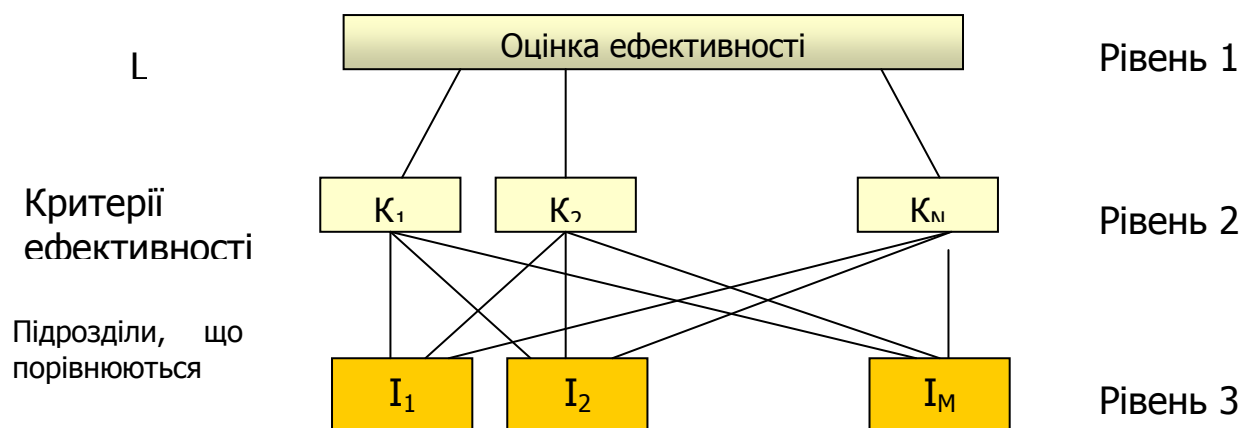


Рисунок 8.1 – Структура моделі прийняття рішення в методі аналізу ієрархій

Головне призначення ієрархії (див. рис. 8.1) згідно з МАІ – оцінка властивостей вищих рівнів ієрархії з урахуванням інтенсивності впливу різних елементів ієрархії.

Згідно з Методикою для кожного рівня ієрархії, крім вищого, будуються матриці попарних порівнянь елементів (що розміщені на цьому рівні), які є вихідними даними для подальшої стандартної математичної обробки з метою визначення ефективності ПРП, що порівнюються, в рамках МАІ.

Для матриць кожного рівня встановлюються вектори локальних пріоритетів, які відображають внесок в оцінку окремих елементів цього рівня. За допомогою локальних пріоритетів визначаються глобальні пріоритети для кожного підрозділу (обраного для порівняння), які надають можливість здійснити ранжування цих ПРП з урахуванням впливу всіх обраних критеріїв ефективності.

8.3. Принцип побудови матриць попарних порівнянь

Згідно з методом аналізу ієрархій перш за все необхідно побудувати матрицю попарних порівнянь щодо критеріїв оцінки ефективності та набір матриць попарних порівнянь щодо обраних для аналізу ПРП (або єдиного ПРП, якщо аналізується часова динаміка результатів роботи саме цього ПРП) стосовно кожного критерію. Саме ці матриці є вихідними даними для здійснення подальших розрахунків згідно з загальним алгоритмом МАІ.

При попарному порівнянні між собою всіх критеріїв обраного варіанта, в тому числі кількісних та якісних, результатам порівняння цих критеріїв надаються чисельні значення згідно зі шкалою, що наведена в таблиці 8.1

Згідно з цією шкалою, відносна важливість a_{ij} критерію i у порівнянні з критерієм j може бути виражена натуральним числом від 1 до 9 або зворотним числом (тобто, в порядку зменшення, $1, \dots, 1/9$). Числа a_{ij} при цьому є елементами матриці \mathbf{A} попарних порівнянь критеріїв:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & \dots & a_{NN} \end{pmatrix}, \quad (8.1)$$

де N – кількість критеріїв, a_{ij} – відносна важливість критерію i по відношенню до критерію j . Коли $i = j$ то $a_{ij} = 1$.

Таблиця 8.1. Шкала відносної важливості критеріїв

Відносна важливість	Визначення
1	Рівна важливість
3	Помірна перевага одного над іншим
5	Суттєва перевага
7	Значна перевага
9	Дуже сильна перевага
2, 4, 6, 8	Проміжне рішення між двома сусідніми судженнями
Зворотні величини наведених чисел	Якщо при порівнянні одного критерію з другим отримано одне з вищевказаних чисел (наприклад, 3), то для порівняння другого критерію з першим маємо зворотню величину (тобто 1/3)

Чисельні значення a_{ij} відносної важливості критеріїв встановлюються особою, що приймає рішення:

- або під час затвердження методики (якщо очікується, що розподіл критеріїв за пріоритетами буде незмінним протягом всього періоду використання методики);
- або безпосередньо при кожному конкретному випадку виконання аналізу діяльності ПРП (якщо є впевненість, що пріоритетність критеріїв буде змінюватися).

8.4. Побудова матриць попарних порівнянь пожежно-рятувальних підрозділів

За допомогою табл. 8.1 будуються також матриці \mathbf{B}_k попарного порівняння ПРП стосовно кожного критерію з номером $k = 1, 2, \dots, N$, N – кількість критеріїв:

$$\mathbf{B}_k = \begin{pmatrix} b_{11}^k & \dots & b_{1M}^k \\ \dots & \dots & \dots \\ b_{M1}^k & \dots & b_{MM}^k \end{pmatrix}, \quad (8.2)$$

де b_{ln}^k – результат попарного зрівняння 1 - го та n - го пожежно-рятувального підрозділу відповідно до k - го критерію ($k = 1, 2, \dots, N$), M – кількість пожежно-рятувальних підрозділів, що порівнюються.

При побудові матриць \mathbf{B}_k можуть бути застосовані два підходи: коли нема попередньої інформації щодо чисельних характеристик діяльності пожежно-рятувальних підрозділів відповідно до обраного k – го критерію, а є тільки деякі якісні дані, то елементи матриць b_{ln}^k визначаються – безпосередньо за допомогою табл. 8.1. Коли є попередня чисельна інформація (наприклад, є результати попередніх розрахунків або статистичної звітності пожежно-рятувальних підрозділів, що характеризують результати їх діяльності за окремими критеріями і визначаються числами будь якої розмірності – обсяги виконаних робіт у гривнях, кількість проведених робіт з метрології та ін.), то така інформація використовується для отримання елементів матриць b_{ln}^k за допомогою табл. 8.1 згідно з наступними рекомендаціями.

8.5. Порядок обчислення ефективності

Порядок обчислення ефективності надається таким чином:

а) складається перелік пожежно-рятувальних підрозділів, ефективність робіт з метрології яких буде аналізуватись (M – кількість пожежно-рятувальних робіт, що порівнюються);

б) обирається один з варіантів порівняння та група параметрів, що йому відповідає;

в) згідно з п. 8.4 обираються матриця \mathbf{A} – формула (8.1), та вихідні дані для визначення матриць \mathbf{B}_k (результати попередніх розрахунків або статистичної звітності пожежно-рятувальних підрозділів, що характеризують результати їх діяльності за окремими критеріями і визначаються числами будь якої розмірності);

г) згідно з п. 8.4 визначається масив матриць (8.2) попарного порівняння пожежно-рятувальних підрозділів відповідно до кожного критерію ефективності;

д) визначаються нормовані власні вектори для кожної побудованої матриці попарних порівнянь (вектори, що визначають локальні пріоритети). Компоненти нормованих власних векторів локальних пріоритетів визначаються за формулою:

$$A_i^k = \frac{\sqrt[L]{\prod_{j=1}^L x_{ij}^k}}{\sum_{i=1}^L \sqrt[L]{\prod_{j=1}^L x_{ij}^k}}, \quad (8.3)$$

де $x_{ij}^k = a_{ij}$ для $k = 0$; $L = N$; $i, j = 1, 2, \dots, N$ (тобто для матриці попарних порівнянь критеріїв); $x_{ij}^k = b_{ij}^k$ для $k = 1, 2, \dots, N$; $L = M$; $i, j = 1, 2, \dots, M$ (тобто для матриць попарних порівнянь підрозділів).

Індекс k як натуральне число використовується для позначення номера критерію, до якого відноситься величина з цим індексом. Якщо ж мова іде про порівняння самих критеріїв, використовується $k = 0$;

е) перевіряється узгодженість локальних пріоритетів, тобто перевіряється якість вихідних даних, що увійшли до матриць **A**, **B_k**. З цією метою визначається відношення узгодженості за формулою:

$$OS_k = \frac{IS_k}{SS}, \quad (8.4)$$

де $k = 0$ – для матриці порівняння критеріїв, $k = 1, 2, \dots, N$ – для матриць порівняння центрів стосовно кожного критерію; IS_k – індекс узгодженості вихідних даних, що увійшли до матриць **A**, **B_k**; SS – випадкова узгодженість, яка визначається згідно з табл. 2.2 (де L – розмірність матриці: $L = N$ – для матриці **A** і $L = M$ для матриць **B_k**, при цьому для $L \leq 2$ $OS_k = 0$).

Таблиця 8.2

L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SS	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Індекс узгодженості визначається за формулою

$$IS_k = \frac{\lambda_{\max}^k - L}{L - 1}, \quad (8.5)$$

де розмірність L матриці визначається кількістю рядків або стовпчиків матриць **A**, **B_k** (N – для **A**, M – для **B_k**); λ_{\max}^k – найбільше власне число для відповідної матриці (**A** або **B_k**), яке обчислюється за формулою:

$$\lambda_{\max}^k = \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^L x_{ij}^k \cdot A_i^k, \quad (8.6)$$

де використані величини, позначення яких надані у раніше наведених формулах.

Щодо індексу k , то принцип його визначення обговорений вище. Наприклад, індекс узгодженості результатів оцінок пожежно-рятувальних підрозділів відповідно до 3-го критерію є IS_3 , а IS_0 – це вже індекс узгодженості оцінок самих критеріїв.

Якщо всі визначені за формулою (8.4) $OS_k \leq 0,1$, то вихідна інформація вважається узгодженою і можна переходити до наступного пункту е). Якщо деякі $OS_k > 0,1$, то відповідні вихідні дані вважаються неприпустимо спотвореними – в цьому випадку слід повернутися до пп. б), в) порядку з метою перегляду необхідних вихідних даних з внесенням додаткової (корегуючої) інформації.

є) визначаються глобальні (узагальнені) пріоритети для кожного з M пожежно-рятувальних підрозділів, що порівнюються, за формулою

$$G_n = \sum_{i=1}^N A_i^0 A_n^i, \quad n = 1, 2, \dots, M. \quad (8.7)$$

де A_i^0, A_n^i – компоненти нормованих власних векторів локальних пріоритетів, які визначаються за формулою (8.3);

ж) знайдені за формулою (8.7) глобальні пріоритети для кожного з пожежно-рятувальних підрозділів (тобто, для $n = 1, 2, \dots, M$) ранжуються (розміщуються у порядку зростання величини G_n). Отриманий порядок є ранжуванням пожежно-рятувальних підрозділів, що порівнюються, з урахуванням всіх обраних для порівняння критеріїв. Підрозділ, для якого отримано максимальне значення G_n , визнається найбільш ефективним.

Для побудови матриць B_k попарного порівняння ПРП щодо кожного критерію може бути використана звітна інформація підрозділів, яка надається керівним органам відповідно до діючих інструкцій і положень.

Відмітимо, що компоненти нормованих векторів локальних пріоритетів є, фактично, відповідними ваговими характеристиками, оскільки співвідношення (8.3) встановлюють аналітичний зв'язок між показниками відносної важливості порівнюваних елементів за шкалою Сааті і їх ваговими коефіцієнтами

$$\frac{i\sqrt[n]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}}}{i\sqrt[n]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}} + i\sqrt[n]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}} + i\sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}} = A_1$$

$$\frac{i\sqrt[n]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}}}{i\sqrt[n]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}} + i\sqrt[n]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}} + \dots + i\sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}} = A_2$$

$$\frac{i\sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}}{i\sqrt[n]{1 \cdot a_{12} \dots a_{1i}} + i\sqrt[n]{a_{21} \cdot 1 \cdot a_{23} \dots a_{2i}} + \dots + i\sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \dots 1}} = A_i$$

Такий зв'язок дозволяє визначати окремі елементи матриць (8.1),(8.2) не лише в результаті попарних порівнянь, але і (у тих випадках, коли будь яке з попарних порівнянь здійснити не вдається) шляхом перерахунку із застосуванням вагів використовуваних критеріїв (які можуть бути встановлені з використанням додаткової інформації або на основі експертних оцінок).

8.6. Загальний перелік можливих критеріїв оцінки ефективності робіт з метрології

В загальному випадку, перелік критеріїв формується особою, що приймає рішення, або групою експертів-розробників методики, і включає достатньо велику кількість критеріїв для того, щоб максимально всебічно відобразити показники діяльності об'єкта оцінки. Згідно з рекомендаціями Т.Сааті, для проведення обґрунтованого чисельного порівняння слід порівнювати не більше ніж 7 ± 2 елемента. Тому окремі, близькі за змістом, критерії групуються в узагальнені критерії, яких повинно бути не більш ніж 9. Зазвичай кожен узагальнений критерій може бути оцінений з використанням звітної або іншої відомої інформації щодо окремих часткових критеріїв. Попарні зрівняння і всі інші етапи МАІ здійснюються вже з узагальненими критеріями.

В рамках методики доцільно прийняти узагальнені критерії, що відповідають певним групам часткових критеріїв, наприклад:

K1 – показники оснащеності метрологічним устаткуванням;

K2 – показники метрологічної готовності засобів виміральної техніки і устаткування;

К3 – показники використання метрологічного устаткування;

К4 – кількість метрологічних відмов;

К5 – показники виконання планів підвищення ефективності метрологічної діяльності (МД);

К6 – показники витрат на заходи щодо підвищення ефективності МД;

К7 – укомплектованість фахівцями-метрологами та ін..

Слід відзначити, що алгоритм МАІ не перешкоджає використанню інших критеріїв, що обумовлюють ефективність пожежно-рятувальних підрозділів, що порівнюються, і є суттєвими при розв'язанні тієї чи іншої конкретної задачі, яку сформульовано особою, що приймає рішення.

Наведені узагальнені критерії характеризують як кількісні так і якісні показники ефективності. Для попарного порівняння проміж собою всіх узагальнених критеріїв, в тому числі кількісних та якісних, з поданням результату порівняння у кількісній формі, слід користуватися шкалою Т.Сааті, що надається в таблиці 8.1.

Окремо необхідно зазначити, що запропонована методика може бути використана не тільки для порівняння показників метрологічної діяльності різних підрозділів в один і той же період часу, а й для порівняння результатів діяльності одного й того ж підрозділу у різні періоди часу. У цьому випадку в якості вихідних даних використовують результати роботи за досліджувані періоди часу, а при побудові матриць порівнянь під підрозділами розуміють стан роботи одного підрозділу у кожному періоді.

ЛЕКЦІЯ № 9. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

9.1 Стандартизація методів і засобів контролю стану довкілля

Методом контролю (аналізу, випробувань) є правила застосування певних принципів і засобів випробувань; **органолептичний контроль** – це контроль, за якого первинна інформація сприймається органами чуття (ДСТУ 3021-95).

Методики виконання вимірювань обов'язково містять розділ щодо засобів вимірювальної техніки та допоміжних пристроїв, у якому має бути перелік відповідних засобів та пристроїв (вимірювальних установок, стендів, засобів вимірювальної техніки тощо, в тому числі стандартних зразків, атестованих сумішей, пристроїв, реактивів, матеріалів та речовин тощо). При застосуванні стандартних зразків, атестованих сумішей, розчинів вказують способи їх приготування (рекомендований додаток 2 до ГОСТ 8.010-90).

Приклади використання МВВ та методів контролю (аналізу):

ГОСТ 8558.1-78 регламентує визначення нітриту за допомогою фотоелектроколориметра із застосуванням **стандартного розчину** азотистокислого натрію для побудови градуювального графіка (встановлюється точність вимірювання і необхідні ЗВТ);

ГОСТ 8558.2-78 – визначення нітриту за допомогою фотоелектроколориметра із застосуванням **стандартного розчину** азотистокислого натрію для побудови градуювального графіка (встановлюється точність вимірювання і необхідні ЗВТ);

ГОСТ 26927-86 – визначення вмісту ртуті за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометра із застосуванням **стандартного розчину** ртуті та розчину йода для побудови градуювального графіка (встановлюється точність вимірювання і необхідні ЗВТ);

ГОСТ 26928-86, ГОСТ 26930-86 ... ГОСТ 26935-86 – аналогічно для визначення вмісту заліза, миш'яку, міді, свинця, кадмія, цинку і олова тощо.

Відоме велике різноманіття аналітичних методів контролю параметрів об'єктів довкілля, які широко використовуються у щоденній практиці. Коротко розглянемо основні характеристики найбільш розповсюджених методів і їх міжнародну стандартизацію.

Візуальні та органолептичні методи контролю використовуються при визначенні деяких параметрів повітря, води і ґрунту. Візуальні методи визначення кольору води стандартизовані ISO 7887, якісний метод визначення забруднення повітря частинками сажі (індекс чорного диму) регламентує ISO 9835. Запах повітря, води і ґрунту часто зумовлений наявністю в них деяких небезпечних забруднювачів, на вкус людина може визначити у воді надлишок магнію, кальцію, натрію, міді, заліза і цинку.

Хімічні методи контролю параметрів довкілля як і раніше широко використовуються у повсякденній практиці завдяки своїй надійності і ефективності. Найбільш застосовувані методи – гравиметричний і титриметричний, які використовуються для точного контролю вмісту забруднення у повітрі, воді та ґрунті.

Сутність **гравиметричного метода** полягає в осадженні речовини, її відділенні і визначенні маси осаду. Він відрізняється високою точністю визначення, обладнання для його лабораторної реалізації не дороге, але його застосування вимагає великих витрат часу. Для визначення сульфатів у всіх типах вод, включаючи морську, застосовують цей метод згідно міжнародного стандарту ISO 9280 (визначається концентрація SO_4^{2-} в діапазоні 10-5000 мг/л при об'ємі проби 10-200 мл); для визначення хлоридів у дощовій і стічній воді – згідно ISO 9297 (безпосереднє визначення у концентраціях 5-150 мг/л). За стандартом ISO 9096 вимірюється концентрація і масова швидкість течії частинок у димоходах і трубах (визначається концентрація частинок від 0,005 до 10 г/м³); ISO 11465 – визначаються сухі речовини і вода у ґрунті.

Сутність **титриметричного метода** основана на використанні реакції між речовинами з наступним визначенням невідомої концентрації однієї з речовин за допомогою розрахунків, якщо відомі концентрація та об'єм речовини, що була у реакції. Цей метод широко використовується у міжнародних стандартах з контролю якості води і при аналізі водяної витяжки з ґрунту. Стандарт ISO 5813 регламентує йодометричний метод визначення розчиненого у воді кисню; ISO 9963-1 – метод визначення лужності природних і стічних вод; ISO 9963-2 – карбонатної лужності природних вод і питної води; ISO 5664 – амонію у природній, питній і стічній водах; ISO 7934 – масової концентрації диоксиду сірки, який міститься у газових викидах промислових печей і обладнання тощо.

Сутність **колориметричного метода** базується на визначенні концентрації досліджуваних речовин за кольоровими реакціями. Найбільш широко у практиці розповсюджений метод визначення pH

води чи водної витяжки за допомогою індикаторного паперу. Ці методи розвиваються у напрямку підбору індикаторів для точної характеристики різних значень pH, однак їх точність обмежена і їх рекомендують застосовувати у польових умовах. Стандарт ISO 7393-2 встановлює метод визначення вільного і загального хлору у воді; ISO 8760 – масової концентрації окису вуглицю у повітрі робочих місць при концентраціях більше 10 мг/м³; ISO 8761 – масової концентрації диоксиду азоту у повітрі робочих місць в діапазоні концентрацій 1-50 мг/м³.

Фізико-хімічні методи контролю параметрів довкілля дозволяють ефективно контролювати практично кожні забруднення повітря, води і ґрунту. Це найчисельна група методів контролю.

Електрохімічні методи основані на використанні ефекту взаємодії поверхні електрода з оточуючим його середовищем. Найбільш розповсюдженим методом цієї групи є **потенціометричний метод**, який базується на залежності електрорушійної сили комірки від концентрації досліджуваної речовини в розчині, що аналізується. Останній метод поділяється на іонометрію і потенціометричне титрування. Іонометрія широко застосовується при визначенні pH досліджуваних розчинів і при визначенні концентрації речовин за допомогою іоноселективних електродів.

Електрометричні методи визначення pH основані на вимірюванні електрорушійної сили електрохімічної комірки, яка складається з проби води, скляного електрода і електрода порівняння. Цими методами досягається стандартне відхилення при визначенні 0,05 чи менше. Стандарт ISO 10523 встановлює метод визначення pH всіх типів вод за допомогою pH-метра, в т. ч. стічних; ISO 10390 – pH водних сумішей ґрунту теж за допомогою pH-метра; ISO 5814 – розчиненого у воді кисню (вимірювання концентрації кисню у воді, відповідного насиченню від 0 до 100 %); ISO 6778 – амонію у природних і стічних водах із застосуванням аміакчутливих мембран потенціометричним методом.

Спектриметричні методи аналізу найбільш широко стандартизовані ISO.

Серед методів атомної емісійної спектрометрії представлена **спектрометрія полум'я**. В цьому випадку полум'я слугує не тільки для автоматизації досліджуваної речовини, але і для збудження емісійних спектрів елементів.

Зазначений метод використовується у стандарті ISO 9964-3 для визначення розчинених калію і натрію у неочищеній і питній воді.

Сутність метода полягає у вимірюванні величини характерного випромінювання калію і натрію у полум'ї.

Атомно-емісійна спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою використовується для визначення розчинених і нерозчинених елементів, а також їх загальної кількості у питній воді та у природних і стічних водах. Цим методом, який регламентований ISO 11885, можна визначити дуже велику кількість металів.

Однак, прилади, які застосовуються для реалізації цього методу, дуже дорогі і їх застосування виправдовується лише при великому потоці визначення металів, а також деяких неметалів.

Атомно-абсорбційна спектроскопія оснований на ефекті резонансного поглинання квантів світла вільними атомами, які виникають при пропусканні світлового пучка через шар пароподібної досліджуваної речовини. Цей метод з атомізацією у полум'ї широко застосовується при кількісному хімічному аналізі об'єктів довкілля у відповідності до стандартів ISO. Атомно-абсорбційний спектрометр з повітряно-ацитиленою горілкою застосовують для визначення натрію і калію за ISO 9964-1 і ISO 9964-2; цей метод застосовують для визначення жорсткості води за ISO 7980, а також для визначення трьома методами кадмію, нікелю, міді, свинцю і цинку у воді за ISO 8288; двома методами кадмію — за ISO 5961; свинцю у навколишньому повітрі — за ISO 9855; середньозваженої масової концентрації свинця та його сполук у повітрі робочої зони — за ISO 8518 тощо.

Фотоколориметрія і спектрофотометрія оснований на селективному поглинанні світла молекулами досліджуваної речовини. Фотоколориметри використовують полігармонічне світло у видимій області світла, а спектрофотометри – монохроматичний пучок світла. Вони мають просту конструкцію, і ними оснащені майже всі аналітичні лабораторії. Спектрофотометри хоча більш складні по конструкції, але завдяки властивості визначення концентрації речовин з вузькою смугою поглинання чи різними речовинами з близькими довжинами хвиль поглинання вони необхідні кожній промисловій чи санітарній лабораторії.

Стандарт ISO 6332 встановлює застосування фотометричного метода визначення заліза у природних і стічних водах (концентрації від 0,01 до 5 мг/л); ISO 10530 – метод визначення сульфідів у воді і у стічних водах (концентрації від 0,04 до 1,5 мг/л); ISO 7890 – нітратів у питній і природній воді (концентрації від 0,06 до 25 мг/л); ISO 9390 – бората у воді (концентрації від 0,01 до 1 мг/л); ISO 6595 – миш'яку у природних і стічних водах (концентрації від 0,001 до 0,1 мг/л); ISO

4221 – масової концентрації диоксиду сірки у навколишньому повітрі (від 3,5 до 150 мкг/м³) тощо.

Хроматографічні методи аналізу основані на розділі суміші досліджуваної речовини з наступним визначенням окремих з'єднань. У міжнародних стандартах найбільш широко застосовується **газова хроматографія** і **високоєфективна рідинна хроматографія**. Більшу гнучкість застосування методів газової хроматографії забезпечують різноманітні детектори. Універсальним детектором є полум'я-іонізаційний, для галогенвмістовних з'єднань найбільш підходить електронозахватний детектор. Рідинна хроматографія отримала застосування для аналізу низьколетючих забруднювачів довкілля.

Стандарт ISO 8165 встановлює застосування газового хроматографа для аналізу фенольного забруднення води; цей метод також застосовується за ISO 6468 для визначення деяких хлорорганічних інсектицидів, поліхлорованих бифенілів і хлорбензолів, крім моно- і дихлорбензолів, у воді; ISO 8186 регламентує методи контролю окису вуглецю у повітрі хроматографічним методом; ISO 8762 встановлює метод визначення концентрації мономерів винилхлорида, який міститься у повітрі робочої зони при виготовленні різних виробів з полівинилхлорида тощо.

Хемілюмінесцентні методи визначення основані на застосуванні хемілюмінесценції. Стандарт ISO 7996 встановлює застосування цього метода для визначення масового вмісту окислів азоту у навколишньому повітрі; ISO 10313 – масової концентрації озону у повітрі.

Радіометричні методи контролю основані на радіоактивності і стандартизовані поки що лише для контролю якості води. Стандарт ISO 9696 встановлює метод визначення сумарної альфа-активності несольоної води, яка містить альфа-активні радіонукліди, нелетючі при 350 °C; ISO 9697 – сумарної бета-активності несольоної води; ISO 9698 – активності тритированої води ($[^3\text{H}]\text{H}_2\text{O}$) у воді рідинний сцинтиляційним лічильником; ISO 12889 — ізотопів стронцію ^{89}Sr і ^{90}Sr у питній воді, поверхневих, морських і стічних водах.

Радіометричні методи активно розробляються для стандартизації контролю параметрів ґрунтів.

Біологічні методи контролю застосовуються при контролі параметрів води і ґрунту. У зв'язку з наявністю великої кількості хімічних сполук, вплив яких на якість води і ґрунту неможливо оцінити хіміко-фізичними методами, все більше значення набуває їх

біотестування відносно біологічних організмів і систем. За допомогою біотестування визначають ГДК нових хімічних сполук, проводять біохімічний і генотоксичний моніторинг водних систем. Результати, отриманні за допомогою хіміко-фізичних методів і біотестування, доповнюють один одного. Стандарт ISO 7346 встановлює метод визначення гострої летальної токсичності речовин на звичайному акваріумному морському карасі; ISO 10712 – впливу різних забруднюючих речовин на розмноження бактерій *Pseudomonas putida*, які широко розповсюджені у водоймах; ISO 8692 – впливу розчинених у воді токсичних речовин на швидкість росту прісно водних водоростей; ISO 9439 – граничної біодеградації органічних сполук активним намулом тощо.

Повітря, вода і ґрунт містять у собі різні мікроорганізми. На основі життєвого досвіду людина давно знала, що найбільшу небезпеку для питної води і ґрунту мають забруднення стічними водами і фекаліями. В ISO приділяється велика увага стандартизації методів контролю **мікробіологічних забруднень**. Для оцінки санітарно-гігієнічного стану повітря на здоров'я людини у стандарті ISO 7708 визначені методи підрахунку поступлення частинок в організм людини; ISO 6222 – встановлює методи підрахунку кількості мікроорганізмів у волі при різних температурах; ISO 14240 – надає два методи визначення біомаси.

Для розробки міжнародних стандартів в галузі якості повітря, включаючи терміни та визначення, методи відбору проб, вимірювання і подання характеристик повітря, ISO у 1971 р. створив ТК 146, секретаріат якого очолює Німеччина. До складу ТК 146 входять 24 країни активні члени (Р-члени) і 35 країн – пасивних членів (О-члени). Структура ТК 146 наведена на рис. 9.1.

В рамках ПК ТК 146 створено більше 30 робочих груп, які очолюються фахівцями США, Німеччини, Японії, Великобританії, Канади, Нідерландів, Італії, Бельгії, Франції, які розробляють стандарти з конкретних питань (визначення концентрації озону, окислів сірки, окислів азоту, парів органічних сполук, вмісту азбесту, методи планування якості повітря, способи подання даних, стратегія відбору проб тощо).

ТК 146 розроблено і впроваджено біля 40 міжнародних стандартів, які встановлюють терміни та визначення, параметри загальної якості повітря, атмосферного повітря і повітря робочої зони, вимоги до стаціонарних джерел викидів, зокрема до автоматичного моніторингу масових концентрацій частинок, різноманітні методи визначення окремих домішків у повітрі тощо.

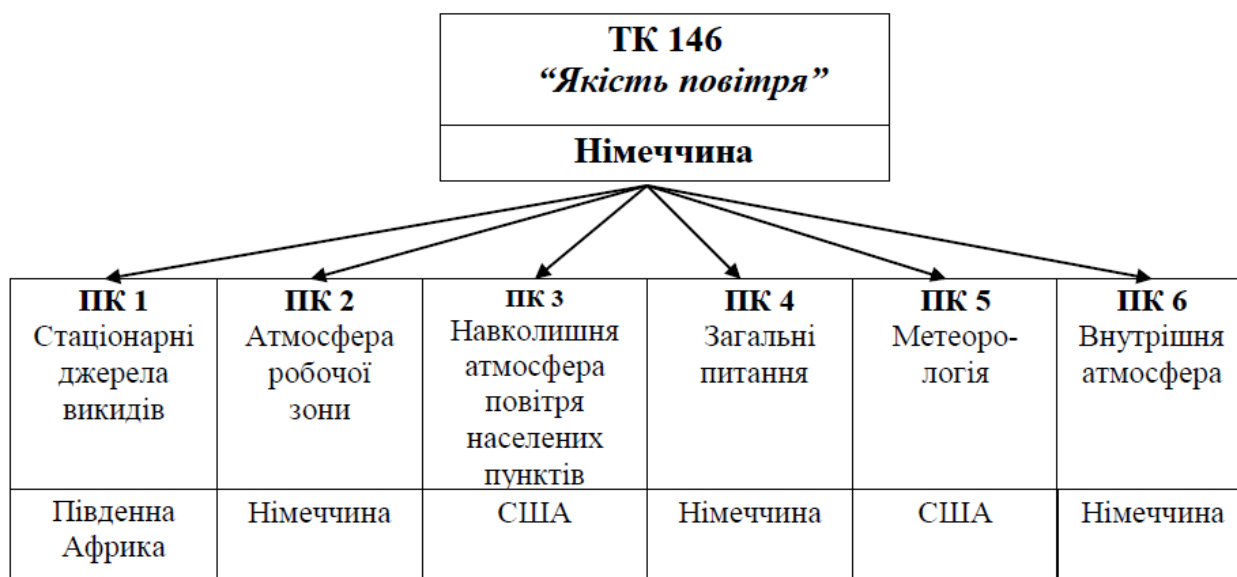


Рисунок 9.1 – Структура ТК 146

Для розробки міжнародних стандартів в галузі якості води, включаючи методи відбору проб, ISO у 1971 р. створив ТК 147, секретаріат якого очолює Німеччина. До складу ТК 147 входять 34 країни активні члени (Р-члени) і 34 країни – пасивні члени (О-члени). Структура ТК 147 наведена на рис. 9.2.

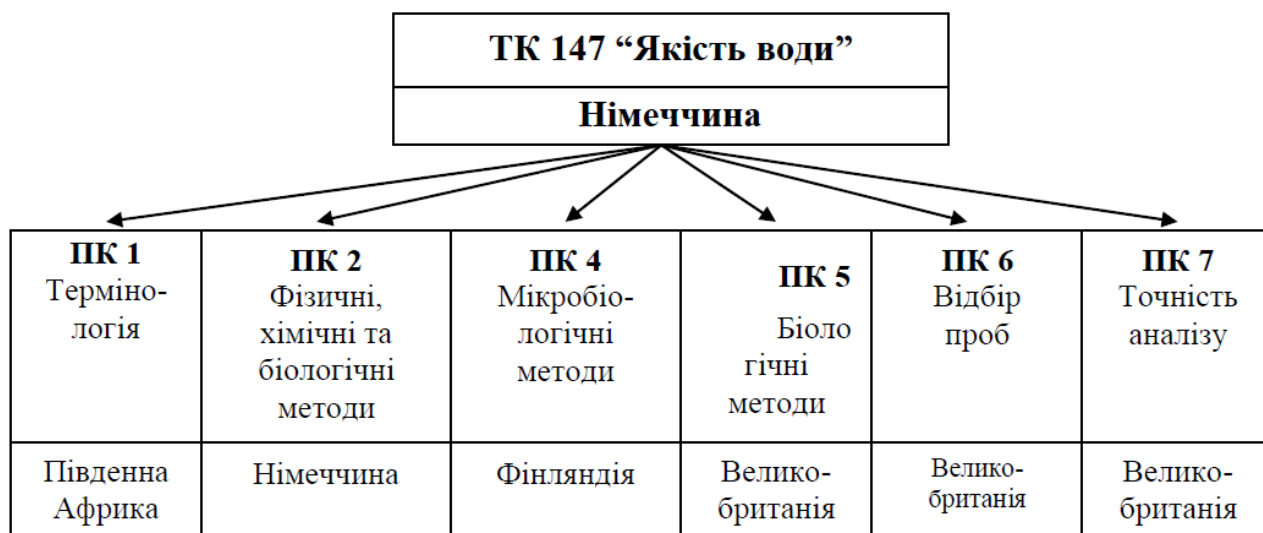


Рисунок 9.2 – Структура ТК 147

В рамках ПК ТК 147 створено більше 30 робочих груп, які очолюються фахівцями Австралії, Австрії, Великобританії, Німеччини, Канади, Нідерландів, Франції, Швеції, які розробляють стандарти з конкретних питань. ТК 147 розроблено і впроваджено більше 130

міжнародних стандартів, які встановлюють терміни та визначення, параметри якості води різного призначення, різноманітні методи визначення окремих домішків у воді.

Для розробки міжнародних стандартів в галузі якості ґрунтів, включаючи класифікацію, терміни та визначення, методи відбору проб, вимірювання та опису характеристик ґрунтів, ISO у 1985 р. створив ТК 190, секретаріат якого очолюють Нідерланди. Структура ТК 190 наведена на рис. 9.3.

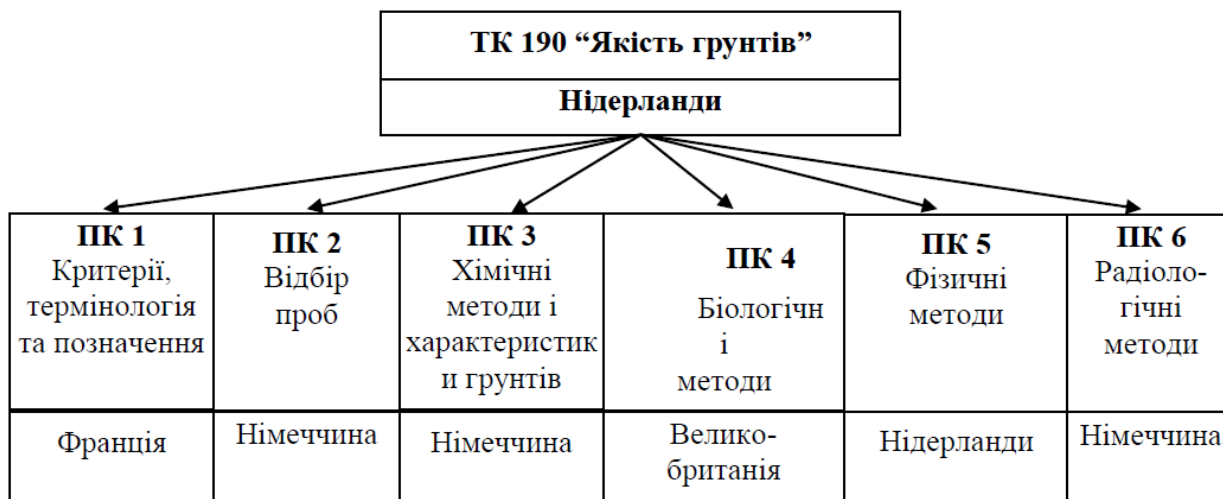


Рисунок 9.3 – Структура ТК 190

В рамках ПК ТК 190 створено більше 20 робочих груп, які очолюються фахівцями Франції, Великобританії, Німеччини, Угорщини, Італії, Нідерландів, Польщі, які розробляють стандарти з конкретних питань. До складу ТК 190 входять 21 країна активні члени (Р-члени) і 38 країн – пасивних членів (О-члени). ТК 190 розроблено і впроваджено біля 30 міжнародних стандартів, які встановлюють терміни та визначення, різноманітні методи визначення окремих домішків у ґрунті.

Лише виконання вимог міжнародних стандартів, які регламентують різноманітні методи визначення інгредієнтів у повітрі, воді та ґрунті, дозволить досягти можливості міжнародної порівнювальності отриманих результатів аналітичних вимірювань і, відповідно, достовірної оцінки антропогенного впливу на довкілля.

9.2 Акредитація екологічних лабораторій

Акредитація – це процедура, завдяки якій авторитетний орган офіційно визнає, що орган або особа компетентні виконувати певні завдання. Іншими словами, акредитація спричиняє атестацію та

аудит лабораторій, органів з сертифікації та інспектування, які проводяться через систематичні інтервали третьою стороною щодо визначення їх технічної компетенції згідно визначених технічних критеріїв. Як технічна оцінка третьою стороною, вона є важливим інструментом для створення і підтримки довіри до цих органів.

Акредитація лабораторій організується таким чином, щоб продемонструвати як технічну їх компетентність, так і відповідність їх систем забезпечення якості міжнародному стандарту ISO 9002:1994 для того, щоб акредитованій лабораторії не було необхідності вдаватися до додаткової сертифікації її системи забезпечення якості для задоволення споживачів, які вимагають її відповідності ISO 9002:1994, а інспекція чітко і визначено відрізняється від випробування та сертифікації продукції і орієнтована на оцінку ступеня відповідності обладнання, за місцем його функціонування, відповідно інструкції, занотованої у вигляді набору визначених вимог.

Стаття 6 Угоди WTO/TBT **Світовою організацією торгівлі** щодо забезпечення оцінки відповідності визначає необхідність подальшого розвитку та заохочення системи акредитації лабораторій. У останні роки до укладення урядових двосторонніх торговельних угод країни наполягають на еквівалентності національних еталонів. Існує тенденція поширення умов двосторонніх угод на багатосторонні угоди про вільну торгівлю, а також обумовленості еквівалентності національних еталонів. Ця політика підтримується Світовою організацією торгівлі.

Нормативною основою акредитації лабораторій є міжнародні стандарти. До питань акредитації лабораторій мають відношення настанови ISO/IEC щодо оцінювання компетентності лабораторій і систем акредитації лабораторій, зокрема настанови ISO/IEC 25:1990 і ISO/IEC 58:1993, а до питань метрологічного забезпечення акредитованих лабораторій – міжнародні стандарти ISO серії 9000 та 10000.

Стандарти ISO серії 9000 мають корисний вплив на продукцію та її сертифікацію, звернувши увагу багатьох організацій, що прагнуть досягти сертифікації, на потребу в надійних засобах вимірювань та передавання розміру одиниць вимірювань. Основні питання метрологічного забезпечення викладені у них у самому загальному вигляді без жорсткого регламентування у розділах 4.11 стандартів "Управління контрольним, вимірювальним та випробувальним обладнанням". Головну увагу питанням вимірювань, їх достовірності, сумісності сконцентровано на державному рівні через систему забезпечення єдності вимірювань.

Згідно викладених рекомендацій постачальник повинен впровадити та підтримувати в робочому стані документально оформлені методики регулювання, перевірки (в т.ч. калібрування, атестації, повірки) і технічного обслуговування вимірювального обладнання, застосовуваних ним для підтвердження відповідності продукції встановленим вимогам. Вимірювальне обладнання повинно застосовуватися таким чином, щоб була впевненість у тому, що невизначеність вимірювань відома і відповідає необхідній точності вимірювань.

В Україні впроваджений Порядок акредитації вимірювальних лабораторій (далі – Порядок), затверджений Держстандартом, який реалізує положення Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” і встановлює: загальні вимоги до організації та порядку проведення акредитації вимірювальних лабораторій (далі – лабораторії); критерії акредитації лабораторій; функції, права та обов’язки лабораторій. Порядок поширюється на лабораторії підприємств, установ і організацій усіх форм власності та підпорядкування (далі — підприємства і організації). Акредитованою має бути кожна лабораторія, що виконує роботи у сфері поширення державного метрологічного нагляду, зокрема у сфері охорони довкілля.

Порядок враховує основні положення тих чинних нормативних документів України, ISO, європейських стандартів, які стосуються питань акредитації лабораторій. Згідно Порядку **вимірювальна лабораторія** – це організація чи окремий підрозділ організації, підприємства, що здійснює вимірювання фізичних величин, визначення хімічного складу, фізико-хімічних, фізико-механічних та інших властивостей і показників речовин, матеріалів і продукції. До вимірювальних лабораторій належать аналітичні, хімічні, випробувальні лабораторії, що виконують зазначені вище роботи.

Акредитацію лабораторії проводять з метою офіційного визнання її правочинності в проведенні, за конкретними видами вимірювань, вимірювань хімічного складу, фізико-хімічних, фізико-механічних та інших властивостей і показників за конкретними групами (видами) об’єктів (речовин). Органами з акредитації лабораторій є територіальні органи Держстандарту і метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, та уповноважені ними підприємства і організації, що належать до сфери їхнього управління, які керують системою акредитації лабораторій, проводять акредитацію і здійснюють інспекційний контроль за їх діяльністю (далі — органи з акредитації).

Територіальні органи Держстандарту здійснюють акредитацію лабораторій підприємств і організацій, що не належать до сфери управління центральних органів виконавчої влади, а також лабораторій підприємств і організацій, що належать до сфери управління центральних органів виконавчої влади (якщо це передбачено законодавством), на право проведення вимірювань у сфері поширення державного метрологічного нагляду.

Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади і уповноважені ними підприємства та організації здійснюють акредитацію лабораторій підприємств і організацій. Акредитація лабораторій, що виконують вимірювання у сфері поширення державного метрологічного нагляду, здійснюється за обов'язкової участі територіальних органів Держстандарту.

Лабораторія, що підлягає акредитації, повинна відповідати встановленим критеріям акредитації лабораторій і може бути акредитована на термін, що не перевищує 5 років (конкретний термін установлює орган з акредитації). **Критерії акредитації** – сукупність вимог, які має задовольняти вимірювальна лабораторія для того, щоб бути акредитованою; **акредитована лабораторія** – лабораторія, яка пройшла акредитацію. Акредитовані лабораторії підлягають державному метрологічному нагляду, метрологічному нагляду та інспекційному контролю.

Результати вимірювань, які одержані акредитованою лабораторією, підлягають офіційному визнанню для всіх видів робіт.

Критеріями акредитації лабораторій на право проведення вимірювань є наявність умов, що забезпечують отримання достовірних результатів вимірювань і позитивні результати експериментальної перевірки якості проведення вимірювань. **Перевірка лабораторії** – комплексна оцінка лабораторії з метою визначення її відповідності встановленим критеріям акредитації лабораторії.

Умовами, що забезпечують достовірність результатів вимірювань лабораторією, є:

- наявність затвердженого положення про лабораторію;
- наявність затвердженого документа, що встановлює перелік видів (марок) сировини, речовин, матеріалів, продукції, інших об'єктів та конкретних компонентів хімічного складу, показників фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей об'єктів, що визначаються, який затверджується керівником підприємства, якщо лабораторія є його структурним підрозділом або керівником лабораторії, якщо вона має статус юридичної особи;

- наявність НД, що регламентує вимоги до хімічного складу, фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей об'єктів, МВВ, відповідність їх НД в галузі метрології (перелік НД відповідно до галузі акредитації подається в паспорті лабораторії);

- наявність потрібних ЗВТ (у т. ч., що підлягають метрологічній атестації), СЗ, атестованих сумішей, лабораторного випробувального і допоміжного обладнання, реактивів, мірного посуду;

- наявність свідоцтв про повірку (атестацію), що підтверджують придатність до застосування ЗВТ, СЗ та випробувального обладнання лабораторії;

- наявність журналів обліку ЗВТ, СЗ, атестованих сумішей, випробувального обладнання, графіків їхньої повірки і атестації, їх дотримання;

- відповідність монтажу, умов експлуатації і зберігання ЗВТ, реактивів, СЗ, атестованих сумішей, випробувального обладнання вимогам нормативної та експлуатаційної документації, забезпечення їх постійної готовності до проведення вимірювань з потрібною точністю;

- наявність внутрішнього лабораторного та зовнішнього контролю результатів вимірювань, що реалізує принципи, норми, правила, вимоги та процедури забезпечення єдності вимірювань і що документально викладена у вигляді стандарту підприємства, положення чи методики контролю точності (якості) вимірювань, затверджених керівництвом підприємства або лабораторії, якщо вона має статус юридичної особи;

- наявність Системи забезпечення якості вимірювань, що регламентується "Настановою з якості" (має бути розроблена з урахуванням рекомендацій державних стандартів, європейського стандарту EN 45001, настанови ISO/IEC 25 і затверджена керівником лабораторії);

- наявність фахівців, що забезпечують виконання вимірювань і мають достатню професійну підготовку, кваліфікацію та досвід у проведенні вимірювань хімічного складу, у визначенні фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей у заявленій галузі акредитації;

- наявність затверджених посадових інструкцій для фахівців лабораторії і планів підвищення кваліфікації персоналу;

- наявність затверджених інструкцій з охорони праці і техніки безпеки;

- відповідність приміщень лабораторії вимогам НД щодо дотримання умов проведення вимірювань, у т. ч. відповідність вимогам техніки безпеки, охорони здоров'я і довкілля.

Лабораторія може мати статус юридичної особи або бути окремим структурним підрозділом у складі свого підприємства чи організації і її персонал не повинні піддаватися будь-якому комерційному, фінансовому чи іншому тиску, здатному впливати на їх технічні оцінки і висновки. Лабораторія, що бажає пройти акредитацію, направляє в орган з акредитації офіційну заявку, в якій зазначає галузь акредитації і до неї додаються копії положення про лабораторію, паспорта лабораторії і настанови з якості.

Орган з акредитації перевіряє документи і інформує лабораторію про прийняте рішення в установлений термін. Відомості, наведені в заявці, розглядаються органом з акредитації як конфіденційні. Положення про лабораторію має визначати функції, права, обов'язки та відповідальність лабораторії, а її паспорт оформлюють згідно з встановленими формами.

Настанова з якості має містити опис діючої системи забезпечення якості вимірювань за встановленою формою подання інформації.

Орган з акредитації здійснює експертизу наданих матеріалів в установлені терміни і за результатами експертизи приймає рішення про можливість акредитації і встановлює терміни проведення перевірки, про що сповіщає лабораторію за певний час до проведення перевірки. Результати експертизи оформлюються у вигляді експертного висновку за встановленою формою. У разі відмови в проведенні акредитації орган з акредитації вказує причину відмови та її обґрунтування, а оскаржити його рішення заявник може до вищестоящої організації, якій підпорядкований орган з акредитації, чи до суду.

Лабораторія після одержання рішення щодо можливості її акредитації укладає з органом з акредитації договір на проведення робіт з акредитації. Орган з акредитації за кожною заявкою формує і затверджує наказом склад комісії для проведення перевірки лабораторії. Склад комісії доводиться до відома лабораторії і всіх фахівців, що беруть участь у роботі комісії. До складу комісії включаються кваліфіковані фахівці в галузі відповідних видів вимірювань, що виконуються, з урахуванням спеціалізації лабораторії та галузі акредитації. При потребі до складу комісії можуть входити представники зацікавлених державних інспекцій або служб.

До проведення перевірки лабораторії комісія знайомиться із заявкою на акредитацію та експертним висновком, складає програму експериментальної перевірки якості вимірювань, що виконуються лабораторією. Комісія безпосередньо в лабораторії перевіряє

відповідність лабораторії критеріям акредитації, а також відповідність наданої інформації фактичному стану, аналізує і оцінює стан метрологічного забезпечення вимірювань, проводить експериментальну перевірку якості вимірювань відповідно до програми.

Експериментальна перевірка якості вимірювань може бути проведена шляхом вимірювання шифрованих проб СЗ, атестованих сумішей, контрольних розчинів, методами добавок і варіювання наважок, повторних і порівняльних вимірювань із використанням нормативів контролю точності вимірювань, встановлених НД, атестованих МВВ. Така перевірка може проводитися відповідно до процедури, що регламентується внутрішньо лабораторним чи зовнішнім контролем якості (точності) і достовірності вимірювань, впровадженням (чинним) на підприємстві, частиною якого є лабораторія, що акредитується.

За результатами перевірки комісія складає акт за встановленою формою.

Один примірник акта надсилається до органу із акредитації, другий залишається в лабораторії, що акредитується. Орган з акредитації на підставі акта перевірки лабораторії приймає рішення про акредитацію лабораторії або про відмову в акредитації. У разі позитивного рішення орган з акредитації оформлює атестат акредитації за певною формою. **Атестат акредитації лабораторії** – документ, який видається органом з акредитації лабораторій згідно з правилами процедури акредитації лабораторій.

Кожний наступний етап виконується в разі позитивних результатів попереднього. У разі відмови в акредитації орган з акредитації повідомляє заявникові її причину. Відмова має бути викладена письмово, мати відповідне обґрунтування. Лабораторія, яка бажає продовжити перебування в статусі акредитованої лабораторії, за два місяці до закінчення терміну акредитації направляє до органу із акредитації заявку. Орган з акредитації проводить акредитацію відповідно до викладеного порядку.

Для розширення галузі акредитації, закріпленої атестатом акредитації, лабораторія направляє в орган з акредитації заявку, на підставі якої проводиться акредитація (щодо розширення галузі акредитації) в тому ж порядку. За наявності позитивних результатів акредитації видається атестат акредитації з новою галуззю вимірювання.

Функцією акредитованої лабораторії є проведення робіт у галузях, визначених атестатом акредитації. Акредитована

лабораторія може брати участь у проведенні арбітражних вимірювань, робіт, за результатами яких можуть застосовуватися санкції під час контролю продукції або параметрів довкілля, робіт із перевірки діяльності інших акредитованих лабораторій. Акредитована лабораторія в рамках, визначених атестатом акредитації, має право посилається на факт акредитації лабораторії в документах і рекламних матеріалах, що видаються, брати участь у розробленні НД з акредитації, укладати з іншими акредитованими лабораторіями або підприємствами договори на проведення конкретних робіт.

Акредитована лабораторія зобов'язана: протягом встановленого терміну акредитації відповідати критеріям акредитації та вимогам зазначеного Порядку; сповіщати орган з акредитації про передбачені зміни, що впливають на її відповідність критеріям акредитації; посилаючись на факт своєї акредитації, вказувати галузь акредитації; надавати органу із акредитації можливість здійснювати контроль за її діяльністю; заявляти про свою діяльність і проводити роботи, на які поширюється галузь акредитації; не використовувати права і не виконувати функції акредитованої лабораторії в разі закінчення терміну дії, анулювання або призупинення дії атестата акредитації.

За діяльністю акредитованих лабораторій здійснюється державний метрологічний нагляд, інспекційний контроль і метрологічний нагляд. Державний метрологічний нагляд за додержанням умов і правил проведення вимірювань у лабораторіях, що виконують роботи у сферах поширення державного метрологічного нагляду, здійснюється територіальними органами Держстандарту.

У разі виявлення порушень умов і правил проведення вимірювань лабораторією, територіальні органи Держстандарту на підставі акта державного метрологічного нагляду можуть призупинити дію чи анулювати атестат акредитації лабораторії, якщо вони є органом з акредитації, або подати до органу з акредитації пропозицію щодо призупинення чи анулювання атестата акредитації.

Інспекційний контроль за діяльністю акредитованих лабораторій здійснюють органи з акредитації, які на підставі акта інспекційного контролю можуть, у разі порушення умов акредитації, призупинити дію або анулювати атестат акредитації лабораторії. Періодичність здійснення інспекційного контролю встановлюється органом з акредитації, але не рідше одного разу на 2 роки. Метрологічний нагляд за додержанням умов і правил проведення вимірювань у лабораторіях, що виконують вимірювання поза сферами державного

метрологічного нагляду, може здійснюватися метрологічними службами центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій.

Паспорт лабораторії вміщує такі структурні елементи: титульний аркуш; інформаційні відомості про лабораторію; перелік груп об'єктів вимірювань, закріплених за лабораторією; відомості про НД на об'єкти і МВВ; про стандартизовані та атестовані ЗВТ, СЗ, та випробувальне обладнання, які використовуються в лабораторії; відомості про фахівців лабораторії та про стан основних виробничих приміщень лабораторії.

"Настанова з якості" (далі – Настанова) лабораторії має містити опис діючої системи забезпечення якості і має охоплювати всі галузі діяльності лабораторії. Її вимоги обов'язкові для діяльності лабораторії, вона має бути доведена до відома всього персоналу лабораторії і її слід оперативно коригувати згідно зі змінами в системі забезпечення якості.

Структура Настанови: назва; зміст; політика якості; визначення; структура лабораторії; галузь діяльності; персонал лабораторії; приміщення лабораторії і умови роботи; матеріально-технічне забезпечення; нормативне і методичне забезпечення; процедури роботи з об'єктами аналізу вимірювань; контроль якості результатів аналізу вимірювань; рекламації; архів лабораторії; конфіденційність і режим роботи лабораторії. Допускається об'єднувати, вилучати деякі розділи, вводити нові розділи з урахуванням специфіки діяльності конкретної лабораторії.

Важливою інформацією у Настанові є відомості щодо ЗВТ, випробувального та допоміжного обладнання, порядку введення їх в експлуатацію, технічного обслуговування, порядку атестації, повірки, градування, інформація про СЗ складу та властивостей речовин і матеріалів, ступінь забезпеченості ними, порядок придбання та атестації, відомості про реактиви, матеріали, мірний посуд, щодо порядку забезпечення ними, процедури перевірки якості реактивів і терміну їх дії. Для лабораторії наводиться перелік чинних НД, які регламентують вимоги до хімічного складу, фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей об'єктів; МВВ; інформація про порядок ведення і обліку НД.

Внутрішній контроль системи забезпечення якості повинен передбачати: процедури контролю правильності застосування НД; процедури оперативного контролю якості вимірювань; процедури статистичного контролю точності результатів вимірювань з метою об'єктивної оцінки фактичного стану і, при потребі, вживання

керівних впливів для забезпечення якості вимірювань на належному рівні; процедури контролю якості результатів вимірювань у разі зміни обладнання, впровадження нових методик або використання чинних методик щодо нових об'єктів вимірювань; відомості про участь лабораторії в процедурах зовнішнього (який виходить за рамки лабораторії, що акредитується) контролю точності вимірювань; процедури проведення коригувальних впливів.

Труднощі, пов'язані з користуванням стандартами ISO серії 9000, можуть вплинути на погляди щодо використання стандартів ISO 10000 (дві частини), які розроблені з метою найбільш ефективного контролю процесів вимірювання. У міжнародній практиці як загальні вказівки щодо метрологічного забезпечення лабораторій використовуються вимоги стандартів ISO 10012–1:1992 та ISO 10012–2:1998.

У стандарті ISO 10012–1:1992 установлені основні характеристики щодо використовуваної постачальником системи підтвердження свого вимірювального обладнання. Він поширюється на лабораторії, які використовують систему якості згідно до настанови ISO/IEC 25:1990, в т.ч. на калібрувальні лабораторії, постачальників продукції та послуг, які використовують систему якості, що передбачає застосування результатів вимірювань для доказу відповідності продукції та послуг установленим вимогам, інші організації, які використовують результати вимірювань як доказ відповідності установленим вимогам.

Метрологічним підтвердженням відповідності вимірювального обладнання є сукупність операцій для підтвердження того, що це вимірювальне обладнання відповідає вимогам при його використанні за призначенням. Воно, серед іншого, передбачає калібрування і необхідне юстування або ремонт з подальшим повторним калібруванням, а також усі необхідні види пломбування та етикетування. Вимірювальним обладнанням є усі ЗВТ, СЗ, допоміжні пристрої з інструкціями (рекомендаціями), які необхідні для виконання вимірювань. У стандарті розглядається лише те вимірювальне обладнання, що використовується при випробуваннях і контролі.

У стандарті ISO 10012–2:1998 наведена концепція вимірювання як підсумкового процесу. У стандарті пропонується документація, необхідна для забезпечення якості. До нього ввійшли 15 рекомендацій, які охоплюють різні аспекти починаючи з процесів вимірювання, аналізу даних, нагляду, перевірки, реєстрації, персоналу тощо, закінчуючи періодичними аудитами та переглядом

системи контролю процесу вимірювання. У додатках до стандарту надається короткий огляд контрольних вимірювань і використання контрольних еталонів.

ISO рекомендує використовувати стандарт ISO 10012–2:1998: **замовником** при складанні технічних умов на продукцію; **постачальником** — при аналізі технічних умов на продукції, що пропонується; **споживачем чи працівником, законодавчим чи регулюючим органом**, а також з метою оцінювання чи аудиту систем управління. В той час як стандарт ISO 10012–1:1992 містить загальні вимоги із забезпечення якості контролю вимірювального обладнання, стандарт ISO 10012–2:1998 надає керівні засади до застосування статистичного контролю процесу, коли це придатне для досягнення мети першого стандарту.

Методики контролю процесів вимірювання, які базуються на регулярному моніторингу та аналізі даних вимірювання, придатні для всіх рівнів вимірювання, починаючи від калібрування робочих еталонів постачальника зовнішньою метрологічною лабораторією та закінчуючи власними вимірюваннями постачальника. Стандарт рекомендує, щоб процедури контролю процесів вимірювання застосовувалися для виявлення незвичайних відхилень у функціонування процесу вимірювань, повторюваних проблем, визначення та обчислення корегувальних чинників для усіляких відхилень, допомогти в ідентифікації прогнозованих періодичних відхилень, включаючи циклічні, забезпечення документації, яка вимагається для забезпечення якості.

Хоча метрологічна система підтвердження деталізована у стандарті ISO 10012–1:1992 і описується як така, що надає високу вірогідність коректного функціонування вимірювального обладнання, але після закінчення інтервалу підтвердження вона не може повністю захистити від випадкових помилок чи порушень, які не очікуються чи які зразу виявляються. Контролювання вимірювання як процесу згідно ISO 10012–2:1998 зменшує можливість появи проблем від випадкових помилок, шкоди чи порушень.

Європейським стандартом EN 45001:1989, зокрема, установлюються вимоги щодо калібрування вимірювального обладнання лабораторій з метою забезпечення простежуваності результатів вимірювань, їх відповідності національним і міжнародним еталонам. Якщо таку простежуваність здійснити неможливо, то лабораторія повинна надати переконливий доказ кореляції або точності результатів вимірювань, наприклад, шляхом участі у відповідних програмах міжлабораторних порівняльних випробувань.

Зараз важливим є питанням взаємного затвердження відповідності порядку роботи калібрувальних служб і визнання їх сертифікатів на основі взаємного довір'я та постійного обміну знаннями та досвідом. В країнах Західної Європи працює більше 1000 калібрувальних і 3000 випробувальних акредитованих лабораторій різних країн. Організаційна і нормативна основа їх діяльності – європейські стандарти серії EN 45000, що доповнюються і розвиваються настановами ISO/IEC. Калібрувальні служби різних країн тісно співпрацюють одна з іншою, а також в рамках регіональних і міжнародних організацій, що дозволяє проводити відповідні міжнародні співставлення і добиватися рівноцінності сертифікатів, що видають національні органи різних країн.

Результати, отримані в різних лабораторіях, можна порівнювати між собою тільки тоді, коли відома невизначеність вимірювань.

Питання невизначеності вимірювань для калібрувальних лабораторій в Європі регулюються документом EAL-R2 "Викладення невизначеності вимірювань при калібруванні". Умовою для технічної еквівалентності сертифікатів калібрування є визначення і вказування в сертифікатах невизначеності узгодженим способом. Документ містить основні рекомендації щодо оцінювання невизначеності вимірювань і викладення її в сертифікатах калібровки. Основними питаннями документу є: визначення основних застосовуваних термінів; методи оцінювання невизначеності вимірювання вхідних величин; відношення між невизначеністю вимірювання вихідних величин і невизначеністю вимірювання вхідних величин; викладення невизначеності вимірювання вихідних величин; встановлення невизначеності вимірювань; процедура поступового розрахунку невизначеності вимірювань.

Вихідна величина пов'язана з вхідними величинами X_i ($i = 1, 2, \dots, N$) залежністю $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$. Модель функції f і визначає процедуру вимірювань і метод оцінювання невизначеності вимірювань. Документом регламентується оцінювання стандартної невизначеності типів A і B. Для оцінювання невизначеності типу B використовуються попередні дані вимірювання, попередні чи основні знання властивостей матеріалів і приладів, технічні умови на ЗВТ і дані, отримані при калібровці ЗВТ, що подані в сертифікатах; невизначеність базових даних.

При калібруванні визначається, що загальна невизначеність вимірювань одержується за допомогою множення стандартного відхилення S_y на коефіцієнт забезпечення k , який прийнято рівним 2. У випадку нормального (гаусівського) розподілу коефіцієнт $k = 2$

означає, що границі загальної невизначеності призначені для довірчої імовірності приблизно 95 %. У випадку, коли кількість вимірювань менша 10, то множник може бути від 1,2 до 7,0 в залежності від кількості вимірювань. Загальна невизначеність u повинна даватися у вигляді $(y \pm u)$. Завдання системи екологічного контролю – забезпечити необхідний і достатній контроль складу вод, атмосферного повітря, ґрунтів і відходів відповідно до встановленої номенклатури нормованих показників. В основі всіх заходів щодо запобігання чи зниження забруднення довкілля лежить контроль за змістом шкідливих речовин.

Виконанню вимог по забезпеченню точності і достовірності результатів контролю сприяють роботи з акредитації екоаналітичних лабораторій. Основна задача акредитації – визначити технічний рівень лабораторій у проведенні досліджень. Система акредитації аналітичних лабораторій (СААЛ) розглядається як елемент державної метрологічної системи країни.

Організація робіт з акредитації лабораторій у СААЛ передбачає їхній підрозділ на такі групи лабораторій: які здійснюють аналіз різноманітних речовин і матеріалів, у тому числі виробничий екоаналітичний контроль; загальнодержавних служб, що здійснюють кількісний хімічний аналіз (КХА) для проведення державного контролю і нагляду, а також екоаналітичні лабораторії, що працюють по господарських договорах і дані яких також можуть бути використані для державного контролю і нагляду.

Правила СААЛ передбачають взаємодію органів з акредитації лабораторій з підрозділами державних служб нагляду і контролю (ДСНК), що здійснюють контроль за діяльністю лабораторій, при узгодженні заявок на акредитацію лабораторій, участь у комісіях з атестації акредитації лабораторій представників ДСНК тощо.

При акредитації екоаналітичних лабораторій особлива увага приділяється: правильності визначення об'єктів аналізу (від цього залежить обґрунтованість вибору нормативних документів, що регламентують хімічний склад і МВВ; мети аналізу (виробничий чи державний екологічний контроль, моніторинг стану довкілля, санітарно-гігієнічний контроль), що визначає правомірність застосування тих чи інших МВВ; врахування вимог до лабораторій, які встановлені різними системами сертифікації тощо.

Часто в документах екоаналітичних лабораторій зустрічається термін "природна вода", який є всеосяжним. Відповідно до класифікації, установленої ГОСТ 17.1.1.02-77 "Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов", водні об'єкти

підрозділяються на поверхневі та підземні, кожен з яких у свою чергу розділяється на ряд типів і видів. Аналіз кожного з видів водного об'єкта має свою специфіку, яку необхідно враховувати.

Крім того, одним з важливих моментів є врахування мети водокористування, оскільки саме мета визначає вибір нормативів змісту забруднюючих речовин в об'єкті аналізу і МВВ. В основі оцінок забруднення об'єктів довкілля лежить система гранично допустимих концентрацій. Вибір припустимого нормативу змісту компонента в поверхневій воді залежить від того, ріка це чи море, чи відноситься водойма до об'єкта рибогосподарського призначення, чи є джерелом централізованого питного водопостачання тощо.

Для регулювання забруднення об'єктів довкілля при здійсненні господарської діяльності, крім ГДК, використовуються такі нормативи, як орієнтовно припустимі концентрації, орієнтовані безпечні рівні впливу, гранично припустимі скидання, тимчасово погоджені скидання, гранично припустимі викиди, тимчасово погоджені викиди тощо. Перераховані нормативи, а також реальні змісти шкідливих речовин у контрольованих об'єктах є основою для встановлення діапазонів обумовлених змістів і вибору МВВ, включених в галузь акредитації.

Наявність великої кількості методик КХА різного рівня розробки і затвердження, складність, що виникає при виборі аналітичними лабораторіями методик, привели до формування переліків методик, допущених для використання при контролі за джерелами і наслідками забруднення об'єктів довкілля, при моніторингу забруднення об'єктів довкілля і водних ресурсів, при здійсненні санітарно-гігієнічного контролю як державними службами, так і підприємствами-природокористувачами.

Варто враховувати, що для організацій державних служб обов'язковим є використання методик, включених у переліки, затверджені для відповідних служб. Використання інших методик можливо при проведенні державного екологічного контролю – тільки для показників, не забезпечених методиками з відповідного переліку. Для виробничого екологічного контролю можуть застосовуватися методики з переліків за умови відповідності галузі поширення методики об'єкту, що аналізується, а також інші метрологічно атестовані методики.

Вірогідність контролю показників забруднення вимагає надійного метрологічного забезпечення всіх ЗВТ і випробувального устаткування.

Відповідно до встановленого законодавства порядком, усі використовувані в природоохоронній діяльності ЗВТ повинні пройти державні випробування для затвердження їх типу і потім, у процесі експлуатації, проходити періодичну повірку. Випробувальне устаткування повинне пройти метрологічну атестацію відповідно до ГОСТ 8.568-97. Для проведення внутрішнього контролю якості результатів аналізу і градування ЗВТ в екоаналітичних лабораторіях повинні використовуватися тільки державні СЗ.

Виконання вимог міжнародних стандартів з питань метрологічного забезпечення лабораторій є надійною основою для їх успішної акредитації та надійної роботи у національних і міжнародних системах акредитації.

9.3 Міжлабораторні порівняльні випробування

Міжлабораторні порівняльні випробування (МПВ) – це організація, проведення та оцінка випробувань тих самих чи подібних об'єктів двома чи декількома лабораторіями по заздалегідь встановлених умовах.

Основним завданням, яке розв'язується за допомогою МПВ, є експериментальна перевірка технічної компетентності лабораторій у визначенні показників складу та властивостей речовин і матеріалів у заявленій (затвердженій) галузі акредитації, що проводиться як на стадії акредитації, так і при наступному інспекційному контролі. Аналіз досвіду діяльності різних організацій показує, що при наявності групи з декількох лабораторій, що виконують випробування тих самих речовин і матеріалів, саме МПВ є найбільш раціональним методом перевірки технічної компетентності. Участь у МПВ, у т. ч. при акредитації та інспекційному контролі, сприяє підвищенню довіри до результатів діяльності випробувальної лабораторії.

Коректно спланований міжлабораторний експеримент, як правило, дозволяє не тільки оцінити вірогідність результатів, отриманих у кожній з лабораторій, що беруть участь у ньому, але і вирішити ряд інших задач, пов'язаних з метрологічним забезпеченням випробувань. Зокрема, МПВ проводять для:

- встановлення метрологічних характеристик методик вимірювань, випробувань;
- контролю (МВВ); перевірки єдності та достовірності вимірювань за конкретною МВВ у групі лабораторій;
- оцінки рівня освоєння декількома лабораторіями конкретної МВВ;

- перевірки статистичної підконтрольності MBV у групі лабораторій;
- уточнення приписаних значень характеристик похибки методик;
- атестації стандартних зразків складу і властивостей, а також зразків для контролю.

Оцінку похибки результатів спостережень, основою яких є вимірювання певних параметрів довкілля, виконують при розробці MBV, методик аналізу певних компонентів у об'єктах довкілля. Основними джерелами похибок можуть бути MBV, ЗВТ, модель об'єкта вимірювання, вплив факторів умов вимірювання, помилки оператора, алгоритм обробки результатів спостережень, а також неврахування специфіки виконання аналізу об'єктів довкілля (агрегатний стан об'єкта, методика відбору проб, їх консервація і транспортування тощо).

Характерною особливістю об'єктів довкілля є те, що статистична обробка результатів їх аналізу, виконаного за одною методикою, дає змогу виявити лише випадкову складову помилки. При наявності систематичної складової похибки (наприклад, при приготуванні робочих розчинів), виявити її методами математичної статистики неможливо. Крім того, одноразовий аналіз однієї проби, особливо повітря і води, не характеризує з достатньою надійністю її хімічний склад, який суттєво змінюється у просторі і часі.

На практиці широко використовується серійні спостереження, які виконуються в різних місцях об'єкта дослідження через різні проміжки часу. На основі серійних досліджень оцінюють середній хімічний склад об'єкта в цілому і за певний проміжок часу. Розбіжність між результатами аналізу багатьох проб буде завжди значно більшою, чим між результатами паралельних аналізів одноразово відібраної проби. Тому при характеристиці середнього хімічного складу повітря, води і ґрунту тощо статистично обробляють середні результати одноразових аналізів.

Для оцінювання похибки результатів спостережень можуть використовуватися міжнародні стандарти ISO 3435-1...3 «Статистика. Словник та умовні позначення» (три частини), яким регламентуються імовірність і загальні статистичні терміни, статистичний якісний контроль та планування експериментів, і ISO 5725-1...6 «Точність методів аналізу. Визначення повторюваності і відтворюваності стандартного метода аналізу міжлабораторними випробуваннями» (шість частин), яким регламентуються:

- загальні принципи та визначення;

- основний метод визначення повторюваності та відтворюваності стандартного методу вимірювання (СМВ);
- проміжні критерії прецизійності СМВ;
- загальні методи визначення достовірності СМВ;
- альтернативні методи визначення прецизійності СМВ;
- використання на практиці величин точності.

Два критерії точності, які визначені як «повторюваність» і «відтворюваність», визнані необхідними і достатніми у багатьох практичних випадках для опису варіації методики аналізу. Термін «повторюваність» характеризує варіації методики в умовах, коли аналіз проводить один оператор в одній і тій же лабораторії з використанням одного і того ж обладнання. Термін «відтворюваність» відноситься до умов, коли аналіз проводиться у різних лабораторіях, різними операторами і при використанні різного обладнання. Тобто, повторюваність і відтворюваність є дві крайності – мінімальні та максимальну варіацію конкретного метода аналізу.

Результати спостережень є випадковими величинами в тому розумінні, що при вимірюванні може бути отримане будь-яке наперед невідоме значення.

Сукупність всіх можливих в певних умовах результатів спостережень над випадковою величиною називають **генеральною сукупністю**, а деяку частину цих результатів – **вибіркою**. Кількість результатів спостережень, які входять в вибірку, називають її **об'ємом**. Найбільш універсальним способом опису випадкових величин є встановлення їх інтегральних чи диференціальних функцій розподілу.

Статистичні оцінки числових характеристик законів розподілу називаються точковими, оскільки вони виражаються одним числом, якому на числовій осі відповідає точка. Важливою рисою точкових оцінок є те, що формули їх розрахунку не залежать від виду розподілу, однак вибір оцінок неоднозначний.

Крім точкових оцінок широко використовуються інтервальні оцінки числових характеристик, зміст яких полягає в знаходженні так **званого довірчого інтервалу**, тобто інтервалу значень, в якому із заданою імовірністю (так званою **довірчою імовірністю Р**) знаходиться істинне значення оцінюваного параметра.

Границі довірчого інтервалу називають **довірчими границями**, тобто йдеться не про точно фіксоване значення параметру, а про те, що воно з певною імовірністю лежить в межах визначеного інтервалу. Довірча імовірність Р служить при цьому

мірою довіри до результату, однак, так як $P < 1$, то завжди залишається місце для певного сумніву.

Величина довірчого інтервалу залежить від довірчої імовірності. На практиці задаються або довірчою імовірністю і за нею розраховують довірчий інтервал, або навпаки. Високе значення P приводить до широкого довірчого інтервалу, тому значення довірчої імовірності вибирають таким, щоб була достатня довіра до результату і в той же час ширина довірчого інтервалу давала можливість використовувати його для практичних цілей. Практика показує, що при аналітичних вимірюваннях, P достатньо вибирати в межах 0,90-0,95 і лише в деяких випадках (наприклад, при вимірюваннях, результати яких мають суттєве значення для здоров'я людей чи при екологічній катастрофі) необхідно вибирати більш високу довірчу імовірність.

Можна виділити три принципово різних випадки, які відрізняються один від одного методом оцінки довірчого інтервалу:

1) відомий вид закону розподілу, але явний вигляд функції закону розподілу невідомий;

2) реальна функція розподілу симетрична, одномодальна, відмінна від нуля на скінченному інтервалі значень аргументу, а інша інформація про густину розподілу відсутня;

3) будь-яка інформація про густину розподілу відсутня.

Оцінка похибок вимірювання на етапі розробки методик аналізу дозволить забезпечити їх ефективне впровадження і досягнення основної мети спостережень – отримання достовірної і повної інформації для прийняття управлінських рішень в галузі охорони довкілля.

У цілому, застосування МПВ дозволяє забезпечити оптимальні умови для перевірки і коректування системи забезпечення якості випробувань у групі лабораторій, об'єднаних за видом проведення робіт.

Настанова ISO/IEC 43-1...2 «Перевірка професійного рівня шляхом міжлабораторних порівняльних випробувань» широко використовується у світовій практиці для аналітичних лабораторій і складається з двох частин:

- частина 1 стосується розроблення та експлуатації схем перевірки професійного рівня (СППР);
- частина 2 – вибору та використання СППР органами з акредитації лабораторій.

Керівні вказівки стосуються трьох аспектів:

- проведення розмежування між використанням МПВ для перевірки професійного рівня та для інших цілей;
- розроблення та проведення МПВ для використання в рамках СППР;
- вибір та використання СППР органами з акредитації лабораторій.

У додатках до настанов вміщено опис статистичних методів опрацювання одержаних результатів при використанні СППР даних та керівні вказівки щодо документації на експлуатацію СППР.

В настанові одним з статистичних характеристик показників роботи акредитованих лабораторій є числа E_n , які, як правило, використовуються в схемах порівняльних випробувань і визначаються виразом:

$$E_n = (x - X) / (U_{lab}^2 + U_{ref}^2)^{1/2},$$

де U_{lab} – невизначеність результату учасника; U_{ref} – невизначеність приписаного значення базової лабораторії.

Документ EAL-P7 «Міжлабораторні порівняльні випробовування» встановлює основні критерії проведення МПВ і доповнює Настанову ISO/IEC 43-1...2. При проведенні МПВ акредитованих лабораторій використовуються настанови ISO 33:1989 «Використання сертифікованих стандартних зразків» і ISO 35:1989 «Сертифікація стандартних зразків. Основні та статистичні принципи».

Основним технічним засобом для проведення МПВ є зразки для контролю (ЗК), у якості яких можуть бути використані:

- СЗ за ГОСТ 8.315-97;
- атестовані суміші (АС) по МИ 2334-95;
- зразки речовин і матеріалів, що спеціально приготовлені для проведення МПВ і відповідають визначеним вимогам до однорідності та стабільності (зразки для МПВ).

Найбільш раціональним є застосування як ЗК стандартних зразків на природній основі, що виготовляються з матеріалу, аналогічного об'єктам випробувань. Зокрема, при перевірці технічної компетентності лабораторій подібні зразки дозволяють простежити правильність виконання всієї процедури випробувань і оцінити точність одержуваних результатів. У той же час, обмежена номенклатура існуючих типів СЗ, низька тимчасова стабільність випробовуваних речовин (матеріалів) і деякі інші причини приводять до необхідності використання інших засобів контролю (АС, зразків для МПВ), але і у цьому випадку перевага повинна бути віддана ОК на природній основі.

При виборі вихідного матеріалу ЗК на природній основі для проведення МПВ, як правило, враховують такі фактори:

- поширеність випробувань (досить велика група лабораторій, що проводять випробування подібних матеріалів по обраному для контролю показнику);
- типовість матеріалу для відповідної групи однорідної продукції; можливість зміни природного рівня контрольованого показника без зміни загального складу матеріалу об'єкта досліджень і його структури;
- можливість встановлення метрологічних характеристик ЗК (у тих випадках, коли ці характеристики повинні бути встановлені заздалегідь);
- можливість досягнення необхідного рівня однорідності матеріалу;
- достатня для проведення МПВ тимчасова стабільність; легкість і безпека транспортування.

Для деяких випробувань, пов'язаних з визначенням хімічного складу, вкрай низька тимчасова стабільність самого випробовуваної речовини (матеріалу) чи обумовленого в цій речовині компонента утрудняє централізоване готування і розсилання ЗК для проведення МПВ. У подібній ситуації ЗК на природній основі можуть бути виготовлені безпосередньо в кожній, що беруть участь у МПВ лабораторій, шляхом внесення в матеріал робочих проб об'єкта випробувань контрольних добавок обумовленого компонента, що і розсилаються в лабораторії з інструкцією із застосування. При цьому організатор МПВ повинний враховувати похибки, що можуть виникнути в процесі приготування ЗК у різних лабораторіях.

При проведенні МПВ по визначенню показників хімічного складу ряду об'єктів (наприклад, продуктів харчування, стічних вод і викидів в атмосферу різних виробництв тощо) створення ЗК на природній основі утруднено. При цьому як ЗК можуть бути використані атестовані розчини, що містять обумовлений компонент, і близькі по складу до розчинів, одержуваним у процесі випробувань (аналізу) після виділення обумовленого компонента з матриці проби.

Варто враховувати, що контролю таким способом може бути піддана лише частина загальної погрішності виконуваних випробувань, не враховуючий вплив матриці випробовуваних об'єктів.

Схема проведення МПВ визначається в залежності від поставлених задач, об'єктів випробувань, показників, кількості передбачуваних лабораторій-учасниць, використовуваних методик

випробувань, що існують, можливостей для створення чи придбання ЗК, вартості ЗК і організації МПВ, а також вартості та тривалості випробувань для кожного об'єкта і показника.

Для одного об'єкта і одного показника можуть бути використані чотири схеми проведення МПВ, коли в кожному з лабораторій-учасниць розсилають один ЗК і одержують один результат випробувань (схема 1); не менш трьох ЗК і одержують для кожного ЗК один результат випробувань (схема 2); один ЗК і одержують не менш п'яти результатів випробувань (схема 3); не менш трьох ЗК і одержують не менш п'яти результатів випробувань для кожного ЗК (схема 4). У деяких випадках при проведенні МСИ по другій і четвертій схемах припустиме використання двох ЗК, якщо при цьому хоча б один ЗК попередньо атестований.

У рамках кожної зі схем у залежності від сукупності розв'язуваних в експерименті задач можуть існувати різні форми організації МПВ (різне число лабораторій-учасниць, різні методики випробувань, використання атестованих і (чи) неатестованих ЗК). Як правило, застосування різних способів обробки експериментальних даних, отриманих у результаті того самого МПВ, дозволяє вирішити кілька різних задач. Усі перераховані схеми організації МПВ можуть бути використані для перевірки технічної компетентності лабораторій-учасниць.

Необхідно відзначити, що результати МПВ, проведених по першій схемі (один результат випробувань від кожної лабораторії), не мають великої надійності та не дозволяють приймати керуючі рішення, пов'язані наприклад, з видачею лабораторії атестата чи акредитації з продовженням терміну його дії. Залучення лабораторії до участі в трьох і більш подібних МПВ підвищує вірогідність висновку про якість виконуваних лабораторією визначень контрольованого показника в об'єкті випробувань. Для деяких випробувань по визначенню хімічного складу подібний експеримент можна організувати для одного об'єкта і декількох показників, при визначенні яких використовують той самий метод аналізу.

Оцінка технічної компетентності лабораторій на основі проведеного по першій схемі МПВ може бути виконана по алгоритму, наведеному в МИ 2417-97.

Достовірні висновки про компетентність лабораторій на основі результатів однократно проведених МПВ можуть бути зроблені тільки при використанні схем 2-4. У залежності від необхідності прийняття відповідного керуючого рішення форма організації МПВ по кожній з цих схем, необхідний обсяг експериментальних даних і алгоритми

обробки отриманих результатів можуть бути різні. Відзначимо, що використання схем 2 і 4 дозволяє перевіряти технічну компетентність лабораторій у всьому діапазоні значень обумовленого показника в об'єкті випробувань.

Задача перевірки статистичної підконтрольності методики випробувань у групі лабораторій може бути вирішена тільки з використанням схем 3 і 4; для оцінки рівня освоєння знову впроваджуваних методик застосовні схеми 2, 3 і 4. На основі схем 2 і 4 можна перевіряти правильність установлення значень характеристик похибки результатів випробувань, установити атестовані значення і похибки неатестованих ОК, а також метрологічні характеристики неатестованої МВВ.

В міру збільшення числа розв'язуваних задач ускладнюються схеми проведення МПВ і форми їхньої організації, зростають витрати на їхнє проведення. Використання схеми 4 проведення МПВ дозволяє вирішити найбільше число задач, але вимагає і найбільших фінансових вкладень. Як правило, при плануванні МПВ по тій чи іншій схемі організатор прагне до оптимального сполучення вартості експерименту з обліком усіх факторів, що впливають на неї, і максимальній кількості розв'язуваних у цьому експерименті задач.

Схеми 1-4, природно, не охоплюють усі можливі практичні ситуації і тому можуть модифікуватися. Очевидно, що для перевірки технічної компетентності лабораторії недостатньо результатів одного експерименту, організованого по схемах 1-4, тому що при цьому проводиться контроль якості випробувань тільки одного об'єкта і по одному показнику. Тому для забезпечення необхідного обсягу експерименту при перевірці технічної компетентності лабораторії може бути використана сукупність результатів декількох МПВ, проведених як по одній, так і по різних схемах.

У СААВ за організацію МПВ відповідає орган по акредитації, що може призначити організацію-координатора (далі – координатора). Координатор повинний мати технічну компетентність у визначеній галузі (галузях) вимірювань показників складу речовин і матеріалів, мати досвід і матеріальну базу для створення зразків для контролю, мати знання по плануванню МПВ і обробці отриманих результатів, а також гарантувати їхню конфіденційність.

Схема організації МПВ представлена на рис. 4.4. При правильному виборі для проведення МПВ об'єктів і показників з галузі акредитації лабораторій-учасниць МПВ можуть стати ефективною формою їх експериментальної перевірки.

Проведення МПВ дозволяє оптимізувати процес акредитації лабораторій, інспекційний контроль за діяльністю раніше акредитованих лабораторій, поліпшити якість впровадження внутрішньолабораторного контролю. Також може проводитися перевірка статистичної підконтрольності застосовуваних методик у лабораторіях, оцінюватися рівень освоєння впроваджуваних методик, перевірятися встановлені розрахункові значення характеристик похибки методик, встановлюватися метрологічні характеристики методик і проводитися атестація ОК.

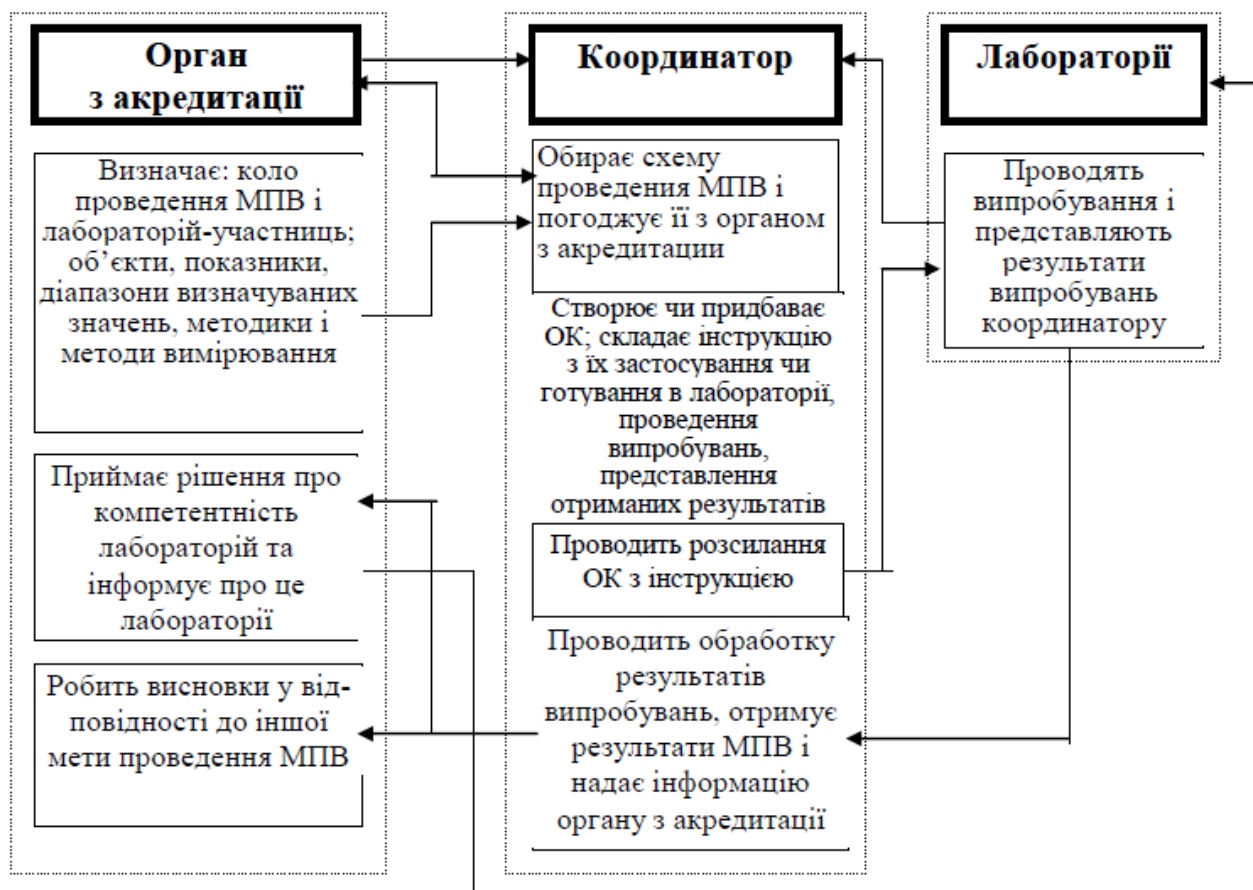


Рисунок 9.4 – Схема організації міжлабораторних перевірювальних випробувань

ЛЕКЦІЯ № 10.

МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ГЛОБАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

10.1. Загальний огляд глобальних навігаційних супутникових систем

Процеси глобалізації, які визначають найбільш важливі особливості сучасного миру, у цей час можна спостерігати не тільки в сфері міжнародних відносин (де, власно, і виник уперше термін глобалізація), але и в науково-технічній сфері. Типовими прикладами загальновідомих глобальних технічних систем, що втілюють новітні досягнення науки, техніки й високих технологій, є Інтернет і мобільний зв'язок. За широтою охоплення (вся земна куля) зазначені системи, які вже давно стали звичними в повсякденному житті переважної більшості жителів планети, є воістину глобальними. Прикладами інших подібних систем є так звані глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС), які також активно впроваджуються в цей час у багатьох сферах людської діяльності.

Головна вимога до ГНСС при їхньому створенні зводилася до забезпечення споживача інформацією про його координати й точний час (а також про швидкість – для споживача, що рухається) у будь-який момент и в любую точці земної кулі. Пізніше виявилось, що ГНСС здатна виконувати безліч інших функцій, що й визначило швидкі темпи розвитку таких систем. У цей час до діючої ГНСС проектів відносять Global Positioning System (GPS), яка належить США, і глобальна навігаційна супутникова система (ГЛОНАСС), створена в Росії. У завершальній стадії розробки перебувають системи GALILEO (Європейський Союз) і COMPASS (Китай).

Враховуючи, що ГНСС відносяться до класу інформаційно-вимірювальних систем, які на відміну від інтернету та мобільного зв'язку, мають саме безпосереднє відношення до метрології, у рамках даного курсу будуть дані необхідні початкові відомості про ГНСС як вимірювальні системи, розглянуті питання точності ГНСС вимірювань для ряду найбільш важливих застосувань (у тому числі, для рішення деяких проблем надзвичайних ситуацій). Будуть порушені, зокрема, такі питання як: фізичні принципи, що лежать в основі функціонування ГНСС; структура ГНСС; рівняння ГНСС вимірювань; основні джерела похибок ГНСС вимірювань; впливу зовнішнього середовища на результати ГНСС вимірювань (включаючи вплив іоносфери, тропосфери, магнітного й гравітаційного полів землі) і

методи їхньої корекції; методи підвищення точності ГНСС вимірювань; принципи метрологічного забезпечення ГНСС вимірювань; найпоширеніші використання ГНСС у науці, техніці, житті людини, у тому числі, використання ГНСС для рішення зворотних завдань – відновлення характеристик зовнішнього середовища за результатами ГНСС вимірювань, а також для рішення проблем прогнозування надзвичайних ситуацій.

Метою даної лекції з ГНСС є: по-перше, дати мінімальні відомості про вимірювальні системи, які в найближчі роки будуть широко впроваджуватися в науці, техніці й повсякденному житті людей, по-друге, продемонструвати на конкретних технічних прикладах принципи практичного застосування правил метрології, що є предметом вивчення курсу лекцій, для рішення сучасних завдань.

10.2. Фізичні принципи, що лежать в основі функціонування ГНСС

В основі функціонування ГНСС лежать принципи, які коротко можна сформулювати в такий спосіб: невідомі (які підлягають визначенню) координати споживача відшукуються за відомими координатами деякої кількості штучних супутників землі (ШСЗ) і вимірюваним відстаням від споживача до даних ШСЗ. Розглянемо більш докладно, як на практиці реалізуються дані принципи.

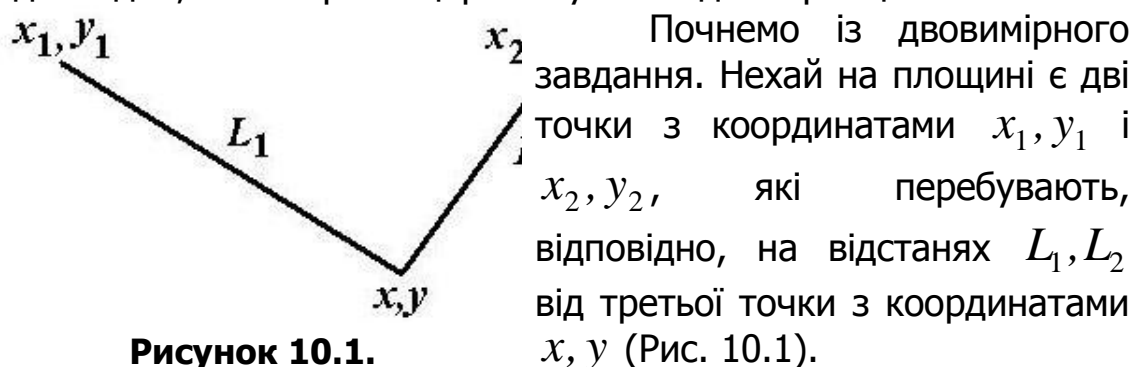


Рисунок 10.1.

Допустимо, що нам відомі величини x_1, y_1 і x_2, y_2 , а також L_1, L_2 . Знайти треба невідомі координати x, y . Рішення такого завдання легко одержати з використанням відомих формул аналітичної геометрії

$$L_1 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2}, L_2 = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2}. \quad (10.1)$$

Це, за суттю, система двох рівнянь із двома невідомими, розв'язуючи яку, знаходимо x, y . Таким чином, використовується

принцип просторової зарубки, відомий у геодезії, коли невідомі координати деякої точки визначаються за відстанями до двох інших точок з відомими координатами. Ці відстані вимірюються в геодезії за допомогою далекомірів. У тривимірному випадку, коли треба визначити три координати, використовуються три точки з відомими координатами.

Аналогічно й у випадку супутникових систем. Якщо в трьох точках з відомими координатами x_1, y_1, z_1 , x_2, y_2, z_2 , x_3, y_3, z_3 розміщаються ШСЗ із радіопередавальними пристроями, що забезпечують безперервну трансляцію сигналів з інформацією про координати й показання бортових годинників ШСЗ, а в точці x, y, z – споживач із приймачем сигналів ШСЗ (Рис. 10.2), то невідомі координати x, y, z споживача (приймача) визначаються в результаті рішення системи трьох рівнянь

$$L_i = |\rho_{Si} - \rho_R| = \sqrt{(x_{Si} - x)^2 + (y_{Si} - y)^2 + (z_{Si} - z)^2},$$

$$i = 1, 2, 3,$$
(10.2)

де відстані до i -го ШСЗ L_i визначаються через час поширення τ_i сигналу від i -го ШСЗ до приймача (цей час фіксується з необхідною точністю за допомогою приймача) і швидкість поширення сигналу c (тобто через швидкість світла, що як відомо, є точно заданою світовою константою)

$$L_i = c \cdot \tau_i.$$
(10.3)

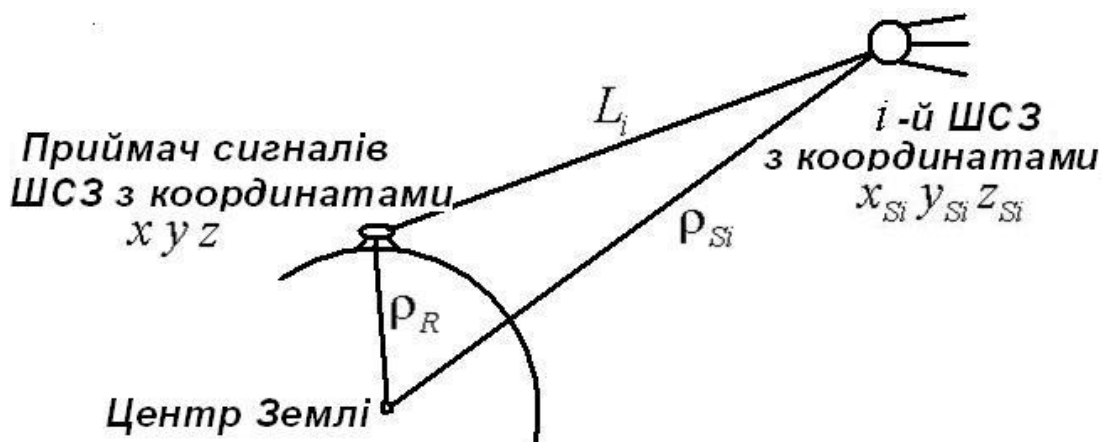


Рисунок 10.2.

Таким чином, в основу функціонування ГНСС закладено принцип просторової зарубки й точні вимірювання часу поширення сигналу, швидкість поширення якого вважається відомою. Відомими, як ми вже відзначали, вважаються й координати ШСЗ, від яких поширюється сигнал (ці координати надходять у приймач разом із сигналом). Звідки відомі координати ШСЗ – пояснимо згодом. Зараз же важливо підкреслити, що для точного визначення часу поширення від i -го ШСЗ до приймача треба, щоб годинники приймача й годинники ШСЗ були синхронізовані. У дійсності точної синхронізації годин приймача й супутників у звичайних практичних умовах отримати не вдається, тобто час поширення вимірюється з помилкою $\delta\tau$, обумовленою різницею ходи годинників приймача та ШСЗ. Таким чином, за формулою (10.3) визначається не чиста відстань L_i (або як її ще називають – дальність), а величина

$$R_i = L_i + c \cdot \delta\tau, \quad (10.4)$$

називається псевдодальністю. Тобто замість рівняння (10.2) варто використовувати рівняння

$$R_i - c \cdot \delta\tau = \sqrt{(x_{si} - x)^2 + (y_{si} - y)^2 + (z_{si} - z)^2}, \quad (10.5)$$

яке й буде рівнянням вимірювань для ГНСС.

Таким чином, ми бачимо, що в рівнянні вимірювань буде принаймні чотири невідомих $x, y, z, \delta\tau$. Тому для рішення завдання необхідно мати як мінімум чотири ШСЗ. На практиці, однак, рівняння (10.5) використовується порівняно рідко (в основному при невисоких вимогах до точності вимірювань), оскільки це рівняння насправді не можна вважати остаточним рівнянням вимірювань. Запис (10.5) є наближенням і не відображає внески різних факторів, що впливають, на результати вимірювань. Урахування вказаних факторів приводить до появи додаткових членів у рівнянні (10.5), які необхідно якимось чином визначати – завдання при цьому істотно ускладнюється (і в частині рівняння вимірювань, і в частині алгоритмів вимірювань, і в частині обробки їхніх результатів). Далі на всіх цих моментах ми зупинимося більш докладно. Тут же особливо відзначимо той факт, що, оскільки ГНСС дозволяє визначати і координати, і виправлення до показань годинників споживача, то ця система використовується як для визначення місця розташування, так і для синхронізації просторово рознесених годинників.

10.3. Структура ГНСС

Будь-яка глобальна навігаційна супутникова система складається із трьох основних сегментів (Рис. 10.3): космічного сегмента, сегмента контролю й управління, сегмента споживачів.

ГНСС		
Космічний сегмент	Сегмент контролю та управління	Сегмент споживачів
Рисунок 10.3.		

До складу космічного сегмента ГНСС входять не менше 24 ШСЗ, що обертаються навколо землі по кругових орбітах. Кількість ШСЗ та їхній розподіл над поверхнею планети забезпечують рівномірне покриття (так, щоб з кожної точки земної поверхні одночасно спостерігалось не менш 4-х ШСЗ). Висота орбіт ШСЗ вибирається як з урахуванням вимог рівномірного покриття, так і вимог по мінімізації витрат на доставку ШСЗ на орбіти, а також вимог до рівня радіосигналів, прийнятих споживачем. Оптимальною висотою виявляється висота порядку 20000 км (для GPS, наприклад, ця висота становить 20200 км).

Сегмент контролю та управління включає кілька наземних станцій спостереження (для GPS таких станцій 5), які визначають за допомогою своїх вимірювальних засобів координати всіх ШСЗ системи й три рази в на добу закладають їх на борт ШСЗ. Звідки вони у вигляді ефемеридної (координатної) інформації безперервно передаються до споживачів. До складу ефемеридної інформації включаються і результати розрахунку виправлень до орбіт ШСЗ, який виконується спеціальними службами сегмента контролю та управління. Похибка ефемерид у реальному режимі часу близько 5 м. Ця похибка істотно знижується в режимі післяобробки (одиниці см після 2-х тижнів).

Сегмент споживачів становлять мільйони приймачів ГНСС сигналів, що одержують із цими сигналами інформацію про хід годинників і ефемерид ШСЗ, тобто інформацію, що дозволяє вирішувати завдання визначення місця розташування приймача й ходу його годинника.

Як ми вже відзначали, рівняння (10.5), що є найпростішою формою рівняння вимірювань, здійснюваних за допомогою ГНСС, сформульовано без урахування факторів, що впливають, тобто без урахування джерел похибок. Перш, ніж увести в дане рівняння

фактори, що впливають, розглянемо роль високоточних вимірювань часу для забезпечення працездатності ГНСС. Виявляється, що точність тимчасових вимірювань треба забезпечувати на еталонному рівні.

Приведемо для ілюстрації прості оцінки. Насамперед, оцінімо, які проміжки часу характерні для поширення сигналів ГНСС на трасах супутник-приймач. Для ШСЗ *gps*, наприклад, розташованого в зеніті над приймачем, що перебуває на земній поверхні, за допомогою (10.3) одержимо рівняння для визначення часу поширення сигналу

$$20200 = 300000 \cdot \tau,$$

звідки $\tau = 0,066$ с, тобто характерні часи – це десятки мікросекунд.

Якби ми використовували як маятник годиннику на ШСЗ звичайні кварцові генератори з відносною нестабільністю частоти

$$\frac{m_f}{f} = 10^{-8},$$

то за 8 годин (це той проміжок часу, через який

проводиться звірення годин ШСЗ з еталонними годинниками сегмента контролю та управління й їхня корекція) годинник ШСЗ встиг би убігти настільки, що похибка вимірювань часу виявилася б на рівні

$$m_\tau = 10^{-8} \cdot 8 \cdot 3600 \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Це означає, що похибка вимірювання відстані (вірніше, псевдодальності, за якою обчислюються координати споживача) виявилася б на рівні

$$m_L = c \cdot m_\tau = 300000 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 90 \text{ км.}$$

Така точність явно не може вважатися задовільною. У зв'язку із цим як стандарти частоти на ШСЗ використовуються сучасні квантові стандарти, у яких відносна похибка знижена до рівня $10^{-13} \dots 10^{-14}$ (цезієвий, рубідієвий і водневий стандарти). Це відповідає (для тих же умов, що й вище) похибці вимірювання дальності 90...9 см. На практиці водневі стандарти на серійні ШСЗ не ставляться – використовуються більше дешеві, але менш точні рубідієві, частота яких регулярно перевіряється наземними станціями сегмента контролю й управління, й підлашжується за частотою наземного еталона.

Говорячи про корекцію частоти бортового генератора ШСЗ за наземним стандартом, не можна не згадати про необхідність

урахування впливу ще одного ефекту, що змінює частоту сигналу. Йдеться про ефект, передбаченому теорією відносності ейнштейна, який потребує обов'язкового урахування при роботі ГНСС. Це релятивістський ефект зміни частоти сигналу, що поширюється в неоднорідному гравітаційному полі (а саме таке поле оточує планету земля). Співвідношення для зсуву частоти сигналу від джерела, що рухається в гравітаційному полі (у нашому випадку джерелом є ШСЗ) має вигляд

$$\frac{f - f_0}{f_0} = \frac{v^2}{2c^2} + \frac{u_0 - u}{c^2}, \quad (10.6)$$

де v – орбітальна швидкість ШСЗ; c – швидкість світла у вакуумі; u – гравітаційний потенціал; індекс «0» ставиться до величин, визначених у поверхні землі.

Для оцінок скористаємося моделлю точкових мас, для якої $u_0 = -\frac{\mu}{R_3}$, $u = -\frac{\mu}{R_3 + H_{SAT}}$, $\mu \approx 4 \cdot 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$, $R_3 \approx 6400 \text{ км}$, $H_{SAT} \approx 20200 \text{ км}$. Враховуючи $v \approx 3,9 \text{ км/с}$, одержуємо відносний зсув частоти

$$\frac{f - f_0}{f_0} = 4,464 \cdot 10^{-10}.$$

Для компенсації цього зсуву замість опорної частоти годинника ШСЗ $F_0 = 10,23 \text{ МГц}$ бортовий стандарт настраюється на частоту

$$F_0 - \frac{f - f_0}{f_0} \cdot F_0 = 10,22999999545 \text{ МГц.}$$

Якщо така частота буде в сигналу при його виході з передавача ШСЗ, то на землі буде прийматися частота $10,23 \text{ МГц}$ – номінальна частота апаратури сегмента контролю й управління.

Може виникнути сумнів із приводу необхідності урахування настільки малих змін. Однак оцінки показують, що їхнє урахування є необхідним, інакше система просто не зможе працювати. Справді, за $1 \text{ годину} = 3600 \text{ с}$ годинники ШСЗ (якщо ефект не скомпенсований) убіжать на $\sigma_t \approx 4,5 \cdot 10^{-10} \cdot 3600 \approx 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ с}$. З рівняння (10.3) маємо формулу для похибки

$$\sigma_L = c \cdot \sigma_t, \quad (10.7)$$

з якої одержуємо помилку псевдодальності $\sigma_L \approx 1,6 \cdot 10^{-10}$ 3000000 \approx 500 м. За 8 годин (як ми вже відзначали, саме такий зараз період корекції параметрів опорного генератора на борту ШСЗ) похибка складе вже близько 4 км, що зовсім неприйнятно. Саме тому й проводиться корекція релятивістського зсуву частоти на борту ШСЗ.

Треба сказати, що наведений приклад у силу його простоти й наочності виявився одним із самих потужних і переконливих доказів справедливості теорії відносності Ейнштейна.

10.4. Рівняння вимірювання з урахуванням факторів впливу

З урахуванням факторів впливу рівняння вимірювання (10.4) для псевдодальності R перетвориться до вигляду

$$R = L + c \cdot \delta\tau + \Delta\rho_{ion} + \Delta\rho_{trop} + \beta_R + m_R \quad (10.8)$$

для кодових вимірювань (коли безпосередньо визначається час поширення сигналу), и до вигляду

$$\lambda \cdot Ph = L + c \cdot \delta\tau - \Delta\rho_{ion} + \Delta\rho_{trop} + \lambda \cdot N + \beta_{Ph} + m_{Ph} \quad (10.9)$$

для фазових вимірювань (коли безпосередньо визначається фаза сигналу, за якою далі встановлюється час його поширення).

У формулах (10.8), (10.9) використані раніше введені позначення, а саме: L – відстань між ШСЗ і приймачем (визначається за формулою (10.3)); R – кодова псевдо дальність тощо, а також введені нові: λ, Ph – довжина хвилі й дробова частина фази сигналу, відповідно; $\Delta\rho_{ion}, \Delta\rho_{trop}$ – додаткові затримки (у лінійній мірі) при проходженні сигналу в тропосфері й іоносфері; N – фазова неоднозначність вимірювань (число укладень довжини хвилі λ на довжині L); β, m – похибки, пов'язані з ефектами багатопроміневості (одночасного прийому прямого сигналу та сигналів, що заважають, перевідбитих від перешкод) і шумами.

Неважко бачити, що в (10.8), (10.9) R і Ph є безпосередньо вимірюваними величинами, в L ((10.4), (10.5)) присутні шукані величини (координати приймача x, y, z), а інші величини описують фактори, що впливають, і їх треба виключати або визначати, щоб вони стали виправленнями й не знижували точність вимірювань. Якщо цього не робити, то вони стають похибками, і досить значними

(десятки й сотні метрів – див. Таблиці, наведені наприкінці лекції). Розглянемо їх більш докладно.

10.5. Ефекти зовнішнього середовища й пов'язані з ними додаткові затримки

Тропосферні ефекти. Тропосфера – це частина земної атмосфери, розташована безпосередньо біля земної поверхні, на висотах від нуля до 30-40 км. Якщо коротко, то це неоднорідне середовище, просторовий профіль показника переломлення якої визначається розподілом у просторі метеорологічних параметрів: тиску, температури та вологості повітря. Показник переломлення тропосфери дуже слабо відрізняється від одиниці

$$n_{trop} = 1 + \xi, \text{ де } \xi \ll 1,$$

тому траєкторії сигналу близькі до прямих ліній, і тропосферна затримка (виправлення), як це слідує з теорії поширення електромагнітних хвиль у неоднорідних середовищах, визначається криволінійним інтегралом

$$\Delta \rho_{trop} = \int \left(n_{trop} - 1 \right) d\sigma, \quad (10.10)$$

який береться уздовж траєкторії σ , що задовольняє променевому рівнянню

$$\frac{d}{d\sigma} \left(n \frac{dr}{d\sigma} \right) = \text{grad } n.$$

Розглянемо найбільш прості моделі виправлення (10.10), тобто ті моделі, для яких інтеграл (10.10) береться в елементарних функціях.

Модель плоского однорідного шару. У цій моделі $n_{trop} - 1 \doteq n_0 - 1 \doteq \text{const}$ і виноситься за знак інтеграла.

Еквівалентна висота тропосфери (тобто висота шару, в який стиснута реальна тропосфера так, щоб вона була розподілена з рівномірною щільністю, рівної її щільності на нульовій висоті над рівнем моря) становить близько 8 км. Це буде границею інтегрування. Якщо променева траєкторія проходить не вертикально, а під зенітним кутом z (цей кут відлічується від вертикалі), то формула для виправлення приймає вигляд

$$\Delta \rho_{trop}^{plane} = \frac{n_0 - 1}{\cos z} \cdot 8000, \text{ м.} \quad (10.11)$$

Тут для сухої тропосфери (нехтуючи вологістю)
 $n_0 - 1 = 10^{-6} \cdot 77,6 \cdot \frac{P_0}{T_0}$, де P_0 в мбар, T_0 в К.

Модель Саастамойнена. Ця модель опирається на так звану умову статичної тропосфери, що є відомою з фізики умовою гідростатичної рівноваги (тиск знизу нагору на виділений елементарний об'єм повітря урівноважується тиском зверху вниз плюс силою ваги, яка визначається вагою виділеного об'єму). Математичний запис цієї умови дозволяє перейти до інтегрованої функції в (10.10) і одержати просте аналітичне співвідношення, яке можна представити для випадку сухої тропосфери у вигляді

$$\Delta \rho_{dry}^{saas} = \frac{0,00227}{\cos z} \cdot \left[P_0 - tg^2 z \cdot z \right], \text{ м,} \quad (10.12)$$

де P_0 в мбар.

Модель Хопфілд. Ця модель використовує степеневу залежність показника переломлення від висоти, що також дозволяє проінтегрувати (10.10) в елементарних функціях. Відповідь для сухої тропосфери (тобто, коли нехтуємо впливом вологості) буде такою

$$\Delta \rho_{dry}^{hopf} = \frac{n_0 - 1}{\sin \sqrt{n_0 - z} + 6,25} \cdot 8000, \quad (10.13)$$

де n_0 визначається як у моделі плоского однорідного шару.

При вертикальному поширенні формули (10.11-13) дають, як правило, величину затримки 220...230 см. Зі збільшенням зенітного кута сигнал проходить більший шлях у тропосфері, і виправлення збільшується. При $z = 80^\circ$, наприклад, вона становить уже близько 12 м.

Вище приводилися формули для сухої тропосфери. Є моделі й для урахування впливу вологості повітря. Виправлення, пов'язане з вологістю, помітно менше виправлення, яке обумовлено сухим компонентом. Для вертикального поширення воно становить усього 10...20 см.

Розроблено безліч моделей тропосферної корекції різної точності. Внесок сухого компонента можна промодельовати з похибкою на рівні міліметрів, похибка моделювання вологого компонента – одиниці сантиметрів.

У тих випадках, коли точність моделювання формул для тропосферних виправлень виявляється недостатньою, використовуються інші способи урахування впливу тропосфери, наприклад, апаратурні та (або) методичні. Один з таких способів полягає в наступному. Якщо рівняння (10.8), (10.9) представлені в лінеаризованому вигляді (що досягається розкладанням у ряд величини L поблизу деякого заздалегідь відомого наближеного значення координат приймача X_0, Y_0, Z_0 , які визначаються, наприклад, за допомогою географічної карти), то шуканими величинами в (10.8), (10.9) виявляються лінійно вхідні в ці рівняння координатні та тимчасові виправлення $\Delta x = x - X_0, \Delta y = y - Y_0, \Delta z = z - Z_0, \delta\tau$. До цих невідомих може бути додана й не залежна від кута z частина тропосферної затримки $\Delta\rho_{trop}$, що також входить лінійно в (10.8), (10.9) і буде визначатися разом з $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \delta\tau$, якщо обробляється достатня кількість результатів спостережень, отриманих для різних положень ШСЗ (тобто кутів z). Відзначимо, що такий підхід може використовуватися й для відшукування виправлень за рахунок інших факторів, що впливають.

Інший спосіб опирається на відомий у метрології підхід, що припускає організацію різниць результатів спостережень. Використовуються при цьому так звані перші, другі, треті різниці, які дозволяють істотно зменшити або повністю виключити внесок у результат вимірювання того або іншого фактора, що впливає (не тільки тропосфери). Наприклад, якщо різниці утворювати з результатів спостережень одного ШСЗ двома приймачами, то можна виключити вплив помилки ефемерид ШСЗ. Якщо утворювати різницю спостережень двох ШСЗ одним приймачем, то можна виключити помилку годин приймача. Треті різниці (утворені із других, які у свою чергу утворюються з перших) використовуються для виключення неоднозначності фазових вимірювань, пов'язаних з визначенням числа укладень N довжини хвилі несучої.

Розглянемо приклад як використання перших різниць приводить до зменшення впливу тропосфери. Візьмемо різницю двох величин R за формулою (10.8) для двох приймачів, що спостерігають один ШСЗ

(рис. 10.4). В отримане співвідношення ввійде різниця тропосферних затримок, що, за аналогією з (10.11), приблизно можна оцінити так

$$\Delta \rho_{trop1} - \Delta \rho_{trop2} \approx \Delta \rho_{trop}^{zenit} \left(\frac{1}{\cos z_1} - \frac{1}{\cos z_2} \right),$$

$$\Delta \rho_{trop}^{zenit} = \Delta \rho_{trop} \ll 0.$$

І треба врахувати, що $z_1 \approx z_2$, тому що $L_1 \approx L_2 \gg L$ (оскільки $L_1 \approx L_2 \approx 20000$ км, $L \approx 1$ км). Тому $z_1 = z_2 + \varphi$, $\varphi \ll z_2$, $\cos z_1 \approx \cos z_2 - \sin z_2 \cdot \varphi$ і тоді

$$\Delta \rho_{trop1} - \Delta \rho_{trop2} \approx \Delta \rho_{trop}^{zenit} \left(\frac{\cos z_2 - \cos z_1}{\cos z_1 \cdot \cos z_2} \right) \approx \operatorname{tg} z_2 \cdot \Delta \rho_{trop2} \cdot \varphi$$

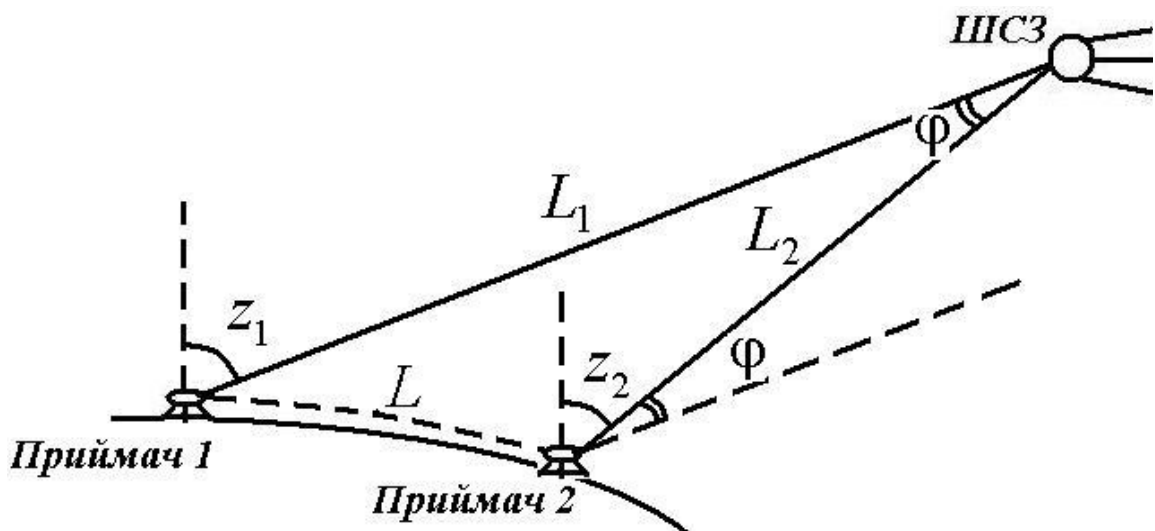


Рисунок 10.4.

Враховуючи, що $\varphi \approx \frac{L}{L_1} \ll 1$, $\operatorname{tg} z_2 \approx 1$, одержимо, що різниця

затримок виявляється на три-чотири порядки менше, ніж сама затримка. Тому моделювання виправлення з похибкою порядку 20 см цілком прийнятно, якщо в обробці результатів вимірювань використовуються перші різниці.

Іоносферні ефекти. Затримка сигналу в іоносфері, так само як и в тропосфері, обумовлена відмінністю показника переломлення даного середовища від показника переломлення вакууму (що так само приводить до відмінності швидкості поширення сигналу від

швидкості його поширення у вакуумі). Так само як і тропосфера, іоносфера просторово неоднорідна. Неоднорідність іоносфери – атмосферного шару, розташованого вище тропосфери, на висотах 100-1000 км – визначається неоднорідністю просторових розподілів заряджених часток, що входять у її состав (електронів, іонів), а також неоднорідністю геомагнітного поля. Для іоносфери розроблені моделі просторового розподілу концентрації електронів, моделі іоносферних виправлень (тут відома формула Клобучара, поточні параметри якої передаються споживачам з навігаційним повідомленням ШСЗ). Загальна формула для іоносферної затримки має такий же вигляд, як і для тропосферної затримки

$$\Delta\rho_{ion} = \int (\epsilon_{ion} - 1) d\sigma. \quad (10.14)$$

Для напрямку в зеніт іоносферна затримка зазвичай становить 0,2...20 м (залежно від іоносферних умов). Для оцінок може використовуватися формула

$$\Delta\rho_{ion} = \frac{40,3}{f^2 \cdot \cos z'} \cdot TVEC, \quad (10.15)$$

Де $TVEC = \int Ndh$ – повний електронний зміст (дані відносно $TVEC$ представлені в мережі інтернет); $\sin z' = \frac{R_3}{R_3 + h_{ion}} \cdot \sin z$,

$h_{ion} \approx 300...400$ км, f – частота сигналу.

На відміну від тропосфери, показник переломлення іоносфери на надвисоких частотах (тобто в діапазоні частот ГНСС) залежить від частоти сигналу ((10.14), (10.15)). Це дозволяє реалізувати апаратний метод виключення іоносферної затримки шляхом вимірювань на двох частотах.

Розглянемо спрощений варіант виводу рівняння вимірювання двочастотного методу. Запишемо вихідні рівняння для двох частот

$$\begin{aligned} R_1 &= L + c\Delta\tau + \Delta\rho_{trop} + \Delta\rho_{ion1} \\ R_2 &= L + c\Delta\tau + \Delta\rho_{trop} + \Delta\rho_{ion2} \end{aligned}$$

і складемо різницю вимірюваних псевдодальностей з урахуванням формули (10.15)

$$R_1 - R_2 = \Delta\rho_{ion1} - \Delta\rho_{ion2} = \frac{40,3 \cdot TVEC}{\cos z'} \cdot \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right). \quad (10.16)$$

З (10.16) маємо $\frac{40,3 \cdot TVEC}{\cos z'} = R_2 - R_1 \cdot \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{f_2^2 - f_1^2}$, звідки остаточно одержуємо

$$\Delta\rho_{ion1} = R_2 - R_1 \cdot \frac{f_2^2}{f_2^2 - f_1^2} -$$

формулу, що виражає іоносферну затримку через різницю псевдодальностей, обмірюваних на різних частотах (ця формула є рівнянням вимірювання двочастотного методу виключення впливу іоносфери при ГНСС вимірюваннях).

Описаний метод реалізований у багатьох типах двочастотних ГНСС приймачів, які застосовуються при високоточних, в основному, геодезичних, вимірюваннях. Цей метод є також одним з основних при застосуванні ГНСС для моніторингу навколишнього середовища, у розглянутому випадку – іоносфери. Одержані відомості про електронну концентрацію використовуються для побудови карт, атласів довідкових таблиць, які приводяться в інтернеті й можуть використовуватися для вирішення широкого кола завдань.

Серед інших різновидів моніторингу за допомогою ГНСС слід зазначити визначення параметрів тропосфери, а також спостереження за стабільністю потенційно небезпечних природних і штучних об'єктів (де спостерігаються зміни координат контрольних точок, закріплених на об'єкті).

Не вдаючись у докладне обговорення інших факторів, що впливають, приведемо зведену таблицю оцінок їхнього внеску в похибку вимірювань (Табл. 10.1).

Як бачимо, основні проблеми пов'язані із тропосферою й іоносферою. Тому їм приділено в лекції основна увага. Зупинимося тепер на зведеній таблиці найбільш популярних методів боротьби з факторами, що впливають (Табл. 10.2). У таблиці прийняті позначення: А – вплив оцінюється; Б – вплив виключається (зменшується) шляхом утворення різниць результатів спостережень; В – виправлення знаходять з використанням результатів спостережень (у тому числі, апаратним шляхом); Г – виправлення

моделюється; Д – виправлення не визначається й розглядається як похибка.

Таблиця 10.1.

Основні фактори, що впливають на точність ГНСС вимірювань

Фактори впливу	Складові похибки, м	
	Кодові вимірювання	Фазові вимірювання
Шкала часу	3,0	3,0
Ефемериди ШСЗ	0,7...1,0	0,7...1,0
Іоносфера	5,0...45,0	5,0...45,0
Тропосфера	2,0...15,0	2,0...15,0
Багатопроміневість	2,0...15,0	0,1...0,3
Шуми приймача	0,75...1,5	0,001...0,002

Таблиця 10.2. Можливі способи урахування основних факторів, що впливають, при вимірюваннях, здійснюваних за допомогою ГНСС

Фактори впливу	Способи урахування				
	А	Б	В	Г	Д
Годинники ШСЗ	+	+			
Орбіта ШСЗ	+	+			
Годинники приймача	+	+			
Іоносфера	+	+	+	+	+
Тропосфера	+	+	+	+	+
Фазова неоднозначність	+	+			
Багатопроміневість		+			+
Шуми приймача					+

10.6. Теоретичні основи метрологічної атестації ГНСС приймачів

У випадку ГНСС вимірювань, так само як і для більшості інших видів вимірювань, досить рідко застосовуються принципи поелементної оцінки складових похибок з наступним їхнім підсумовуванням. На практиці зазвичай прилад, що перевіряється, представляється у вигляді «чорної скриньки», метрологічні характеристики якого оцінюються шляхом зіставлення з відомими (еталонними) значеннями вимірюваної величини. Для ГНСС приймачів, використовуваних з метою вимірювань координат точок або довжин ліній (геодезичних вимірювань), еталонні значення

зазначених величин відтворюються на спеціальних геодезичних полігонах.

Нехай є набір з n еталонних ліній, для яких довжини L_i^{et} , ($i=1,2,\dots, n$) і координати кінцевих точок X_i^{et} , Y_i^{et} , Z_i^{et} заздалегідь визначені й вважаються відомими. Як приклад розглянемо випадок атестації приймачів як засобів вимірювань довжини. Отже, нехай за допомогою ГНСС виконуються серії m вимірювань кожної з величин L_i^{et} , тобто визначаються L_{ik} ($k=1,2,\dots, m$) для кожного $i=1,2,\dots, n$.

За даними вимірювань будуються середні значення результату вимірювань і відповідні до них середньоквадратичні відхилення

$$L_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m L_{ik}, \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (L_{ik}^{et} - L_{ik})^2}{m-1}}, \quad (i=1,2,\dots, n)$$

Далі розглядається отримана відповідно до вищенаведених формул емпірична залежність σ_i від L_i і будується двочленна формула для похибки ГНСС приймача у вигляді

$$\sigma_L = a + bL, \quad (10.17)$$

Де коефіцієнти a , b визначаються за допомогою методу найменших квадратів за наступною схемою. Складається квадратична сума $S = \sum_{i=1}^n (\sigma_i - bL_i - a)^2$, для якої шукається мінімум. Умови

мінімуму – рівність нулю частинних похідних $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$, $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$.

Взявши похідні, одержуємо систему двох рівнянь

$$b \sum_{i=1}^n L_i^2 + a \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n L_i \sigma_i \quad \text{або} \quad \frac{b \sum_{i=1}^n L_i^2}{n} + a = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n}. \quad (10.18)$$

Увівши позначення $\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i$, $\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i$, одержуємо

$$a = \bar{\sigma} - b\bar{L}. \quad (10.19)$$

Підставляючи (10.19) в (10.18), одержуємо рівняння для коефіцієнта b у вигляді

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \sigma_i - \bar{\sigma} \sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n L_i^2 - \bar{L} \sum_{i=1}^n L_i}.$$

Таким чином, коефіцієнти a , b у двочленній формулі для похибки (10.17), з якої атестується ГНСС приймач, визначаються за експериментальними даними.

На закінчення необхідно ще раз відзначити надзвичайно широке коло практичних застосувань ГНСС. Це й навігація, і геодезія, і геодинаміка, і всі сфери економіки, і моніторинг навколишнього середовища, і прогноз надзвичайних ситуацій. Тому не випадковим є загальний інтерес до ГНСС. Крім уже діючих систем – американської GPS і російської ГЛОНАСС – зараз завершується створення подібних систем європейським союзом і Китаєм, ведуться розробки регіональних навігаційних супутникових систем Індією й Японією. Значні зусилля спрямовані на підвищення точності ГНСС вимірювань, на вирішення проблем метрологічного забезпечення таких вимірювань у всіх сферах їхнього використання. Поза всяким сумнівом, ГНСС найближчим часом буде займати в житті людини таке ж важливе місце, яке зараз займають такі глобальні системи, як Інтернет і мобільний зв'язок.

ЛЕКЦІЯ № 11.

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ ЯК ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРОДУКЦІЇ, ТОВАРІВ ТА ПОСЛУГ

Обертаючись на багатовікову історію розвитку стандартизації, сертифікації і метрології, можна замислитися над тим, що трапиться, якщо раптом вилучити стандарти, концепцію єдності вимірювань з практики суспільних відносин. Така ситуація просто неможлива, тому що саме на основі уніфікації вимірювань базується розвиток промисловості й економіки, працюють механізми самоорганізації суспільства.

Стандартизація, метрологія, сертифікація – це складові технічного регулювання, що служать надійною основою для захисту прав споживачів.

11.1. Стандартизація в Україні

Під стандартизацією розуміють визначення і застосування єдиних правил з метою упорядкування діяльності у певній галузі.

Результати стандартизації знаходять відображення у спеціальній нормативно-технічній документації. Основними її видами є стандарти і технічні умови – документи, що містять обов'язкові для продуцентів норми якості виробу і засоби їх досягнення (набір показників якості, рівень кожного з них, методи і засоби вимірювання, випробувань, маркировки, упаковки, транспортування і зберігання продукції). Застосовувана на підприємствах нормативно-технічна документація охоплює певні категорії стандартів, які відрізняються ступенем жорсткості вимог до виробів і сукупністю об'єктів стандартизації.

Стандарт (від англ. **Standard** - норма, зразок – модель, що приймається за вихідну для зіставлення з нею подібних об'єктів) – це нормативний документ, розроблений на основі консенсусу, затверджений визнаним органом, спрямований на досягнення оптимального ступеня упорядкування в певній галузі (згідно з Guide 2 ISO/IEC, 1991 – Керівництво ISO/МЕК, 1991). Стандарти бувають міжнародними, регіональними, національними, адміністративно-територіальні. Стандарти грають значну роль в розв'язанні проблем торгівлі, захисті навколишнього середовища, розробці ефективних соціальних ініціатив, удосконаленні програм безпеки й охорони здоров'я, покращенні якості життя та розвитку економіки. Вони сприяють випуску високоякісної продукції, яка може гідно конкурувати на міжнародних ринках, а також розширенню

експортних можливостей держави. Для виробників товарів і виконавців послуг вони є надійним інструментом, котрий дозволяє досягти балансу між інтересами виробників і споживачів.

Законодавство України у сфері стандартизації складається з Закону України «Про стандартизацію», Декрету Кабміну України «Про стандартизацію і сертифікацію», постанови Кабміну України «Про затвердження Державної програми стандартизації на 2006 – 2010 роки» та інших нормативно-правових актів, які регулюють відносини у цій сфері.

Закон України «Про стандартизацію» №1315-VII від 05.06.2014 р. (із змінами від 2015, 2016 рр.) встановлює правові та організаційні засади стандартизації в Україні і спрямований на забезпечення єдиної технічної політики у цій сфері. Суб'єктами стандартизації є центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері стандартизації та центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері стандартизації, технічні комітети стандартизації, інші суб'єкти, що займаються стандартизацією. Об'єктами стандартизації є продукція, процеси та послуги, зокрема матеріали, складники, обладнання, системи, їх сумісність, правила, процедури, функції, методи чи діяльність.

Декрет Кабінету Міністрів України «Про стандартизацію і сертифікацію» №46-93 від 10.05.1993 р. (із змінами в 1997-2011 рр.), який діятиме до 01.01.2018 р., визначає правові та економічні основи системи стандартизації та сертифікації, встановлює організаційні форми її функціонування на території України.

Державна система стандартизації спрямована на забезпечення:

- реалізації єдиної технічної політики в сфері стандартизації, метрології та сертифікації;
- захисту інтересів споживачів і держави з питань безпеки продукції для життя, здоров'я та майна громадян, охорони навколишнього природного середовища;
- взаємозамінності та сумісності продукції, її уніфікації;
- якості продукції відповідно до розвитку науки і техніки, потреб населення і народного господарства;
- економії всіх видів ресурсів, поліпшення техніко-економічних показників виробництва;
- безпеки народногосподарських об'єктів з урахуванням ризику виникнення природних і техногенних катастроф та інших надзвичайних ситуацій;
- створення нормативної бази функціонування систем стандартизації та сертифікації продукції;

- обороноздатності та мобілізаційної готовності країни.

Державну систему стандартизації створює центральний орган виконавчої влади з питань технічного регулювання.

Основними принципами стандартизації є:

- врахування рівня розвитку науки і техніки, екологічних вимог, економічної доцільності й ефективності виробництва для виготовлювача, користі та безпеки для споживачів і держави в цілому;
- гармонізація з міжнародними, регіональними, а у разі необхідності – з національними стандартами інших країн;
- забезпечення відповідності вимог нормативних документів актам законодавства;
- участь у розробленні нормативних документів усіх заінтересованих сторін;
- взаємозв'язок і узгодженість нормативних документів усіх рівнів;
- придатність нормативних документів для сертифікації продукції;
- відкритість інформації про діючі стандарти і програми робіт із стандартизації.

Нормативні документи із стандартизації поділяються на:

- Державні стандарти України (ДСТУ), Міждержавні стандарти (ГОСТ), Республіканські стандарти (РСТ) Української РСР ;
- Галузеві стандарти (ГСТУ), ОTRASЛЕВЫЕ СТАНДАРТЫ (ОСТ) Радянського Союзу;
- Стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок (СТТУ);
- Технічні умови (ТУ);
- Стандарти підприємств (СТП);
- Міжнародні, регіональні та національні стандарти інших країн..

Як державні стандарти України використовуються також міждержавні стандарти, передбачені Угодою про проведення погодженої політики в сфері стандартизації, метрології та сертифікації, підписаною у Москві 13 березня 1992 року. Для міждержавних стандартів збережено позначення ГОСТ, наприклад:

ГОСТ 8.010-99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения».

Республіканські стандарти Української РСР (РСТ УРСР) застосовуються як державні до їх заміни чи скасування.

Міжнародні, регіональні та національні стандарти інших країн застосовуються в Україні відповідно до її міжнародних договорів. З колишніх можна згадати стандарти РЕВ (Ради Економічної Взаємодопомоги – СТ СЭВ). Найбільш жорсткі вимоги щодо якості містяться у міжнародних стандартах, які розроблюються

Міжнародною організацією зі стандартизації – ISO і використовуються для сертифікації виробів, що експортуються у інші країни і реалізуються на світовому ринку.

Державні стандарти України розробляють на продукцію, роботу та послуги, потреби в яких носять міжгалузевий характер:

- організаційно-методичні та загальнотехнічні об'єкти: організацію проведення робіт із стандартизації, науково-технічну термінологію, класифікацію і кодування техніко-економічної та соціальної інформації, технічну документацію, інформаційні технології, організацію робіт з метрології, достовірні довідкові дані про властивості матеріалів і речовин;
- вироби загальномашинобудівного застосування (підшипники, інструмент, деталі кріплення тощо);
- складові елементи народногосподарських об'єктів державного значення (банківсько-фінансова система, транспорт, зв'язок, енергосистема, охорона навколишнього природного середовища, оборона тощо);
- продукцію міжгалузевого призначення;
- продукцію для населення та народного господарства;
- методи випробувань.

Державні стандарти України містять обов'язкові та рекомендовані вимоги. До обов'язкових належать:

- вимоги, що забезпечують безпеку продукції і вимоги до методів випробувань цих показників;
- вимоги техніки безпеки і гігієни праці з посиланням на відповідні санітарні норми і правила;
- метрологічні норми, правила, вимоги, що забезпечують достовірність і єдність вимірювань;

До вимог безпеки в стандартах відносять: електробезпеку, пожежну безпеку, вибухобезпеку, радіаційну безпеку, гранично допустимі концентрації хімічних і забруднюючих речовин, безпеку при обслуговуванні машин і обладнання, вимоги до захисних засобів і заходів щодо забезпечення безпеки (огорожа, обмежувачі ходи машин, блокуючі пристрої, аварійна сигналізація тощо). В стандартах на окремі види продукції можуть бути приведені такі характеристики, як клас небезпеки, допустимі рівні небезпечних і шкідливих факторів виробництва, що виникають під час роботи обладнання, вплив речовини на людину.

Обов'язкові вимоги державних стандартів підлягають безумовному виконанню органами державної влади, підприємствами,

установами, організаціями та громадянами-суб'єктами підприємницької діяльності.

Рекомендовані вимоги підлягають виконанню, якщо:

- це передбачено чинними Актами законодавства;
- ці вимоги включено до договорів на розроблення, виготовлення та постачання продукції;
- виготовлювачем (постачальником) продукції зроблено заяву про відповідність продукції цим стандартам.

Галузеві стандарти розробляються на продукцію за відсутності державних стандартів чи у разі необхідності встановлення вимог, які перевищують або доповнюють вимоги державних стандартів. Приймають такі стандарти та контролюють виконання обов'язкових вимог державні органи управління (наприклад, міністерства). Об'єктами галузевої стандартизації може бути продукція, процеси та послуги, що застосовуються в галузі, правила, що стосуються організації робіт з галузевої стандартизації, типові конструкції виробів галузевого застосування, правила метрологічного забезпечення в галузі.

Стандарти підприємств розробляються на продукцію, що використовується лише на конкретному підприємстві.

Стандарти підприємств видокремлюють у самостійну категорію умовно (без правової основи). Вони розробляються підприємствами за власною ініціативою з метою конкретизації вимог до продукції і самого виробництва, що містяться звичайно у інших видах нормативно-технічної документації. Об'єктами стандартизації на підприємствах можуть бути окремі деталі, вузли, складальні одиниці, оснащення і інструмент власного виготовлення, певні норми у галузі проектування і вироблення виробів, організації та управління виробництвом тощо. Такі стандарти використовуються для створення внутрішньої системи управління якістю праці і продукції.

Технічні умови містять вимоги, що регулюють відносини між постачальником (розробником, виготовлювачем) і споживачем (замовником) продукції. Вони регламентують норми і вимоги щодо якості тих видів продукції, для яких державні або галузеві стандарти не розробляються та які виготовляються на замовлення окремих підприємств, а також нових видів виробів на період їх освоєння виробництвом.

Стандарти і технічні умови – це документи динамічного характеру. Вони повинні періодично переглядатись і уточнюватись з урахуванням інноваційних процесів і нових вимог споживачів до вироблювальної або проектованої продукції. Сучасні напрямки

удосконалення стандартизації зводяться до розробки державних і міжнародних стандартів не на кожний конкретний виріб, а групи однорідної продукції, а також включення до них обмеженої кількості показників, що характеризують найбільш суттєві якісні характеристики. Це дасть можливість істотно зменшити кількість одночасно функціонуючих стандартів, спростити їх зміст і здешевіти весь процес стандартизації.

Стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок розробляються у разі необхідності поширення результатів фундаментальних і прикладних досліджень, одержаних в окремих галузях знань чи сферах професійних інтересів. Ці стандарти можуть використовуватися на основі добровільної згоди користувачів.

До стандартів прирівнюються державні будівельні норми і правила, а також державні класифікатори.

Окремо виділяються нормативні акти:

- Правила:
 - Правила технічної експлуатації;
 - Правила безпеки, охорона праці (НАОП);
 - Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- Переліки;
- Норми;
 - Санітарні норми і правила;
 - Державні санітарні норми;
 - Строительные нормы и правила (СНиП);
 - Реставрационные нормы и правила;
 - Строительные нормы (СН);
 - Ведомственные строительные нормы;
 - Республиканские строительные нормы;
 - Відомчі будівельні норми (ВБН) України;
 - Межгосударственные строительные нормы;
 - Общесоюзные нормы технологического проектирования;
 - Ведомственные нормы технологического проектирования;
 - Державні будівельні норми (ДБН).
- Положення, (статути);
- Інструкції;
- Порядок;
- Інші:
 - Рекомендації, Керівництва, Вказівки (методичні) (ПР, Р, РД, МИ);
 - Класифікатори, реєстри, номенклатура;
 - Накази;
 - Розпорядження;

- Роз'яснення;
- Рішення;
- Постанова.

Важлива роль у формуванні теоретичної бази стандартизації відводиться відповідним принципам і методам. Стосовно виробничої діяльності можна виділити такі принципи стандартизації: значущості, обов'язковості, системності (комплексності), взаємозамінності, повторювання, варіантності.

Згідно з **принципом значущості** для стандартизації обираються тільки об'єкти, що відповідають певному набору вимог. Перший критерій – суттєвість об'єкту – дозволяє відмовитися від розробки нормативних документів на другорядні та малозначущі об'єкти, завдяки чому встановлюються пріоритети в розробці стандартів. Другим критерієм є повторюваність об'єкту, яка має бути достатньо великою, щоб був сенс розробки стандарту. **Принцип повторювання** визначає коло об'єктів, до яких можна застосувати речі, процеси, види діяльності, явища які наділені одною загальною якістю (повторюванням). Третім критерієм є прогресивність об'єкту розробки, який має достатні перспективи застосування. При цьому стандарт не може бути гальмом прогресу, фіксуючи досягнуте положення на момент введення до дії стандарту, він має мати можливість удосконалення об'єкту стандартизації.

Принцип обов'язковості визначає законодавчий характер стандартизації.

Принцип системності визначає необхідність реалізації системного підходу, комплексності в стандартизації. Цей принцип відображається в системах (комплексах) стандартів, які поєднують стандарти, пов'язані між собою внутрішньо сутністю конкретних об'єктів стандартизації (наприклад, ЄСДП – єдина система допусків і посадок, ЄСКД – єдина система конструкторської документації, ЄСТД - єдина система технологічної документації).

Принцип взаємозамінності є базовим для організації масового автоматизованого виробництва, розвитку та поглиблення спеціалізації.

Принцип варіантності спрямований на раціональну мінімізацію різновидів стандартних елементів, які входять до об'єкта стандартизації.

Надані принципи закладені в основу формування методів стандартизації.

Метод уніфікації полягає в раціональному скороченні числа типів, видів та розмірів об'єктів однакового функціонального призначення. Уніфікацію можна проводити на міжгалузевому, галузевому та заводському рівнях.

Метод типізації полягає у розробці типових конструкцій або технологічних процесів на основі загальних для ряду виробів (процесів) технічних характеристик.

Метод агрегативання полягає у виготовленні машин, механізмів виробів шляхом їх компонування з обмеженої кількості стандартних агрегатів або уніфікованих вузлів і деталей, що мають геометричну та функціональну взаємозамінність.

Розвиток суспільства важко уявити без **метрології**. Вона забезпечує достовірність результатів вимірювань, які характеризують якість продукції в промисловості, сільському господарстві, об'єктивність розрахунків в торгівлі, облік матеріальних й енергетичних ресурсів, якість діагностування та лікування пацієнтів, контроль за станом навколишнього середовища та його впливом на здоров'я людини. Порушення вимог забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань створює умови, які приводять до випуску продукції з відходом від вимог стандартів і технічних умов.

Законодавчою основою державної метрологічної системи України є Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» №113/98-ВР від 11.02.1998 р. (зі змінами 2003, 2004, 2010, 2012 рр.) Закон визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань в Україні, регулює суспільні відносини у сфері метрологічної діяльності та спрямований на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Закон наказує застосування в Україні одиниць вимірювань Міжнародної системи одиниць, прийнятої Генеральною конференцією по мірах та вагам і рекомендованої Міжнародною організацією законодавчої метрології, а також допускає застосування разом з одиницями SI позасистемних одиниць. Визначення основних одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх позначення та правила написання встановлюються державними стандартами України:

ДСТУ 3651.0-97 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення»;

ДСТУ 3651.1-97 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць і позасистемні одиниці. Основні поняття, найменування та позначення»;

ДСТУ 3651.2-97 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа. Основні положення, позначення, найменування та значення».

До професійних свят відносяться 10 жовтня – День працівників стандартизації та метрології, 14 жовтня – Всесвітній день стандартів.

11.2. Основи сертифікації

В умовах розвитку зовнішньоекономічної діяльності підприємств найважливішим елементом виробничого менеджменту взагалі і системи управління якістю зокрема є сертифікація продукції. По суті, будь-яка оцінка відповідності є сертифікація, вся наша діяльність зводиться до трьох взаємозалежних її видів: упорядкування й визначення (стандартизація), контроль і вимірювання (метрологія) і підтвердження результатів (сертифікація).

Складовою частиною діяльності, що стосується технічного регулювання, стали системи **сертифікації** (від лат. *sertifico* - підтверджую, засвідчую; *certus* - безсумнівний і *facio* - робити, діяти, тобто «зроблена вірно»; від франц. *certificate*; англ. - *certification*) продукції та акредитації випробувальних центрів та лабораторій.

Сертифікація - визнаний у світі спосіб незалежної оцінки відповідності продукції, процесів і послуг встановленим вимогам. Застосування сертифікації створює передумови для успішного розв'язання низки важливих соціальних й економічних проблем і завдань. Кожний вид товарів, який те чи інше підприємство хоче вигідно продати на світовому ринку, повинен мати сертифікат – документ, що засвідчує високий рівень його якості, відповідність вимогам міжнародних стандартів ISO серії 9000. Набутий нашими підприємствами досвід зовнішньої комерційної діяльності показує, що так звана безсертифікатна продукція оцінюється на світовому ринку у 3-4 рази дешевше, тобто фактично реалізується за демпінговими цінами.

Організаційною основою сертифікації виробів, що виготовляються підприємствами, служить створювана мережа державних випробувальних центрів по найважливіших видах продукції виробничо-технічного і культурно-побутового призначення.

Сертифікація вважається основним достовірним способом доказу відповідності продукції (процесу, послуги) заданим вимогам. Розрізняють поняття **сертифікації, акредитації та реєстрації**.

Акредитація - процедура, за допомогою якої авторитетний орган офіційно визначає правочинність особи чи органу виконувати конкретні роботи.

Реєстрація - процедура, за допомогою якої будь-який орган показує відповідні характеристики продукції, процесу чи послуги або особливості органу чи особи у відповідному загальнодоступному переліку.

Процедури, правила, випробування й інші дії, які можна розглядати як складові самого процесу сертифікації, можуть бути різними залежно від особливостей об'єкта сертифікації, що, у свою чергу, визначає вибір методу проведення випробувань тощо, інакше кажучи, оцінка відповідності виробляється по тій або іншій **системі сертифікації**. Відповідно до міжнародних норм ISO/IEC - Система сертифікації - це система, яка має власні правила, процедури і управління для проведення сертифікації відповідності, а схема сертифікації - склад і послідовність дій третьої сторони під час проведення сертифікації відповідності. Органом з сертифікації є орган, який здійснює сертифікацію відповідності.

Систему сертифікації (у загальному виді) становлять:

- 1) правила й порядок проведення сертифікації;
- 2) нормативні документи, на відповідність яким здійснюється сертифікація;
- 3) процедури (схеми) сертифікації;
- 4) порядок інспекційного контролю.

Будь-яка система сертифікації використовує стандарти (міжнародні, регіональні, національні), на відповідність вимогам яких проводяться випробування. У системах сертифікації третьою стороною застосовуються два способи указання відповідності стандартам: сертифікат відповідності й знак відповідності, які і є способами інформування всіх зацікавлених сторін про сертифікований товар.

Сертифікат відповідності — це документ, виданий за правилами системи сертифікації, що повідомляє про забезпечення необхідної впевненості у том, що належним чином ідентифікована продукція (процес, послуга) відповідає конкретному стандарту або іншому нормативному документу. Сертифікат може ставитися до всіх вимог стандарту, а також до окремих розділів або конкретних характеристик продукту, що чітко обумовлюється в самому документі. Інформація, що представляється в сертифікаті, повинна забезпечити можливість порівняння її з результатами випробувань, на основі яких він виданий.

Знак відповідності - це захищений у встановленому порядку знак, застосовуваний відповідно до правил системи сертифікації, який вказує на забезпечення необхідною впевненості у тому, що дана продукція (процес, послуга) відповідає конкретному стандарту або іншому нормативному документу. Звичайно в системах сертифікації діють правила по застосуванню знака відповідності або національних стандартів, що регламентують застосування знака відповідності державному стандарту. Дозвіл (ліцензія) на використання знака відповідності видається органом з сертифікації.

Якщо виріб сертифікований на безпеку, то він може маркуватися спеціальними знаками відповідності, які ставляться або до конкретних видів продукції, наприклад, електротехнічним побутовим приладам, або мають більше загальний характер, тобто інформують споживача про безпеку багатьох видів товарів.

Про знаки відповідності більш докладна інформація надається в наступних розділах.

Сертифікація може носити обов'язковий і добровільний характер.

Обов'язкова сертифікація здійснюється на підставі законів і законодавчих положень і забезпечує доказ відповідності товару (процесу, послуги) вимогам технічних регламентів. Для здійснення обов'язкової сертифікації створюються **системи обов'язкової сертифікації**. Номенклатура об'єктів обов'язкової сертифікації встановлюється на державному рівні керування.

Добровільна сертифікація проводиться з ініціативи юридичних або фізичних осіб на договірних умовах між заявником і органом по сертифікації в **системах добровільної сертифікації**. Допускається проведення добровільної сертифікації в системах обов'язкової сертифікації органами по обов'язковій сертифікації. Нормативний документ, на відповідність якому здійснюються випробування при добровільній сертифікації, вибирається, як правило, заявником.

Рішення про добровільну сертифікацію звичайно пов'язане із проблемами конкурентоспроможності товару, просуванням товарів на ринок (особливо закордонний); перевагами покупців, що усе більше орієнтуються у своєму виборі на сертифіковані вироби.

На початку 1993 р. Україна стала членом ISO та Міжнародної електротехнічної комісії – IEC. Це дає їй право нарівні з 90 іншими країнами світу брати участь у діяльності більш ніж 1000 міжнародних робочих органів технічних комітетів по стандартизації і сертифікації та використовувати понад 12000 міжнародних стандартів.

Для набуття максимально можливого зиску та іміджу надійного партнера на зовнішньому ринку підприємствам бажано створювати і сертифікувати також власні системи якості. Згідно з міжнародним стандартом ISO 8402 «Якість. Словник» система якості являє собою сукупність організаційної структури, відповідальності, процедур, процесів і ресурсів, що забезпечує здійснення загального керування якістю. Відповідний рівень такої системи підтримується сертифікатом, який видається підприємству на певний строк – один рік, два роки тощо. Правом видачі сертифікату на систему якості може володіти національний орган по сертифікації; у необхідних випадках йому надається можливість делегувати таку функцію акредитованій для цієї мети організації. Для оцінки системи якості та отримання сертифікату на неї дозволяється залучати будь-яку закордонну фірму, що займається сертифікацією. Вагомість сертифікату і рівень довіри до нього залежить від іміджу організації, яка видає такий документ.

На підприємствах України аналогічні системи якості ще треба створювати. Вони повинні обов'язково передбачати комплексне управління якістю, що вимагає лише колективної діяльності і спільних зусиль. З огляду на це можна окреслити головні принципи (моменти) формування системи якості:

- підготовка усіх категорій кадрів найвищого професійного рівня (необхідну якість забезпечують люди, а не машини);
- безпосередня зацікавленість першого керівника та усього ешелону керівництва підприємства у повсякчасному розв'язанні проблем якості продукції; підпорядкування поставленій меті організаційної якості продукції; підпорядкування поставленій меті організаційної структури системи (зокрема здійснюване нерідко на практиці сполучення посад заступника директора підприємства з питань якості та начальника відділу технічного контролю вкрай недоцільне, оскільки технічний контроль – це далеко не саме головне у системі);
- управління якістю продукції за участю усіх без винятку працівників підприємства (від директора до робітника); поточний розподіл відповідальності між підрозділами і їх керівниками; залучення робітників до повсякденної роботи у цьому напрямку через гуртки якості (за досвідом Японії, США) тощо.

При цьому дуже важливою і вкрай необхідною треба визнати активну політику підтримки підприємств у справі розробки, запровадження і сертифікації систем якості продукції.

Нижче приведена загальна характеристика системи сертифікації України.

В Україні діє державна система сертифікації продукції **УкрСЕПРО**, роботи в якій визначають 149 органи з сертифікації продукції (робіт, послуг) та 811 випробувальні лабораторії (центри). Головним інститутом в системі Державного Комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики з розробки науково-методичних та організаційних засад сертифікації продукції, послуг, систем якості є Український науково-дослідний інститут стандартизації, сертифікації та інформатики (УкрНДІССІ). Законодавчу базу державної системи сертифікації УкрСЕПРО складають:

Декрет КМ України № 46-93 від 10.05.1993 р. (зі змінами, внесеними протягом 1997-2011 рр.) «Про стандартизацію і сертифікацію» визначає правові та економічні основи УкрСЕПРО і встановлює організаційні форми її функціонування в Україні. Дія декрету розповсюджується на підприємства та організації незалежно від форм власності і видів діяльності.

КНД 50-002-93 «Система сертифікації УкрСЕПРО. Основі положення» (чинний з 01.07.93 р.) встановлює основні принципи, структуру та правила Системи, яка призначена, для проведення обов'язкової та добровільної сертифікації продукції (процесів, послуг). Нижче наведені основні поняття, терміни та визначення сертифікації; встановлені ДСТУ 2462-94.

Закон України «Про захист прав споживачів» №1023-XII - ВВР від 12.05.91 р. (із змінами 1995-2012 рр.);

Організаційну основу системи сертифікації УкрСЕПРО становлять ряд державних стандартів України «Система сертифікації УкрСЕПРО».

В Україні прийнято розрізняти обов'язкову і добровільну сертифікацію. Обов'язкова сертифікація здійснюється виключно в межах державної системи управління господарюючими суб'єктами, охоплює у всіх випадках перевірку і випробування продукції з метою визначення її характеристик (показників) та подальший державний технічний нагляд за сертифікованими виробами. Добровільна сертифікація може проводитись на відповідність продукції вимогам, котрі не є обов'язковими, за ініціативою самих суб'єктів господарювання (тих або інших видів суспільної діяльності) на договірних засадах.

При сертифікації продукції в системі УкрСЕПРО застосовуються схеми (моделі) сертифікації відповідно до продукції, що сертифікується: одиничний виріб, партія продукції (виробів),

продукція, що випускається серійно. В системі УкрСЕПРО здійснюються такі взаємопов'язані види діяльності:

- сертифікація продукції (послуг, процесів);
- сертифікація систем якості;
- атестація виробництва;
- акредитація випробувальних лабораторій (центрів);
- акредитація органів з сертифікації продукції;
- акредитація органів з сертифікації систем якості;
- атестація експертів-аудиторів за переліченими видами діяльності.

Загальне керівництво Системою, організація та координація робіт з сертифікації продукції здійснюється національним органом з сертифікації — центральним органом виконавчої влади з питань технічного регулювання, який:

- визначає основні принципи, структуру та правила системи сертифікації в Україні;
- затверджує переліки продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації, з зазначенням нормативних документів, на відповідність яких проводиться сертифікація;
- здійснює контроль за дотриманням правил сертифікації та за сертифікованою продукцією і інформує заявлені організації та громадськість з результатами сертифікації;
- вповноважений виконувати роботи з обов'язкової сертифікації.

В Україні цими органами були Державний комітет стандартизації, метрології та сертифікації України - Держстандарт України (до 2002 р.), Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики – Держспоживстандарт України (до 2011 р.), Державна інспекція України з питань захисту прав споживачів - Держспоживінспекція України. На сьогодні Держспоживінспекція України є центральним органом виконавчої влади, діяльність якого спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України через Першого віце-прем'єр-міністра України – Міністра економічного розвитку і торгівлі України.

Євроінтеграційні спрямування України потребують комплексного реформування національної системи технічного регулювання. На основі положення Угоди про технічні бар'єри в торгівлі, статей 51 і 56 Угоди про партнерство і співпрацю з Європейським Союзом Україна взяла зобов'язання впровадити в національне технічне законодавство міжнародні та європейські стандарти, норми та правила, процедури оцінки відповідності. Цей процес – це поетапне впровадження в українське національне законодавство міжнародних і європейських механізмів і принципів, які забезпечують безпеку життя та здоров'я

громадян, конкурентоспроможність продукції, сприяють поліпшенню умов торгівлі товарами та надання послуг, усуненню зайвих бар'єрів в торгівлі.

Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики (Держспоживстандарт України) був органом виконавчої влади, завдяки якому ідеологія євроінтеграції та гармонізації стандартів України з міжнародними вимогами втілювалася в конкретних справах, цифрах, приладах, системах на вітчизняних підприємствах. Держспоживстандарт України, створений 1 жовтня 2002 р., було збережено як центральний орган виконавчої влади зі спеціальним статусом згідно з Указом Президента України від 12 травня 2005 р. Цим актом вносяться зміни в попередній указ глави держави «Про міністерство економіки України», згідно з яким Держспоживстандарт мав стати департаментом при Мінекономіки.

Згідно з Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» на Держспоживстандарт покладені організація проведення прикладних досліджень в галузі метрології по розробці нових високоточних приладів вимірювальної техніки, створення наукових і організаційних заходів, спрямованих на удосконалення та підвищення ефективності діяльності Державної метрологічної служби, створення та функціонування еталонної бази України.

На сьогодні найбільш актуальним є питання створення еталонів в області нанометрії, оптико-фізичних вимірювань, вимірювань характеристик іонізуючих випромінювань. Останні зумовлені вимогами атомної промисловості й атомної енергетики в частині забезпечення безпеки та підвищення надійності роботи АЕС.

Найважливішим результатом діяльності національної стандартизації є розроблення та прийняття національних нормативних документів. Важливою характеристикою фонду нормативних документів є ступінь гармонізації національних стандартів та кількість упроваджених міжнародних та європейських. Очевидною є проблема оновлюваності стандартів, які потребують упорядкування (перегляду, скасування, віднесення до встановлених законодавством рівнів нормативних документів).

Стандартизація та підтвердження відповідності є актуальними питаннями для кожної економіки. Ці інструменти життєво важливі для забезпечення і конкурентоспроможності підприємств, і інтеграції у міжнародну торгівлю, і захисту прав споживачів. Вступ України до СОТ та її наміри щодо тіснішої інтеграції з Європейським Союзом, зобов'язують країну адаптувати свою систему технічного регулювання, яка включає стандартизацію та сертифікацію, до

міжнародних та європейських підходів. За даними звіту «Технічне регулювання в Україні: як забезпечити розвиток економіки і захист прав споживачів», підготовленого проектом Міжнародної фінансової корпорації (IFC) «Ділове середовище та розвиток підприємництва в Україні», одним з висновків є твердження, що застосовувані стандарти – й досі здебільшого ті, які було розроблено ще за Радянського Союзу. Вони не тільки не відповідають міжнародним стандартам, але й, зазвичай, мають характер приписів та обмежень, та стримують впровадження нових підходів та технологій. А перехід до міжнародних стандартів є занадто повільним.

Роботи щодо гармонізації національних стандартів з міжнародними та європейськими, пріоритетність прямого впровадження яких визначена статтею 5 Закону України «Про стандартизацію», проводяться в Україні на постійній основі з 2001 року. Однією з постійних задач є прискорення темпів гармонізації національних стандартів, впровадження систем якості на українських підприємствах, оскільки тільки продукція, що відповідає європейським і міжнародним стандартам, має перспективи скласти реальну конкуренцію на цьому сформованому економічному полі – внутрішньому ринку та міжнародному ринку. На розробку національних стандартів і їхню гармонізацію спрямована робота 153 технічних комітетів. Станом на кінець 2005 р. в Україні діють понад 2800 національних стандартів, гармонізованих з міжнародними та європейськими, з них 293 були прийняті до 2000 р., 457 – в 2001 р., 340 – в 2002 р., 517 – в 2003 р., 596 – в 2004 р. Загальний рівень гармонізації стандартів в Україні складає близько 20 відсотків. На кінець 2011 р. в Україні загальна кількість національних стандартів, гармонізованих із міжнародними та європейськими, становить 6809 стандартів, з них 1673 стандарти, гармонізовані з європейськими. Затверджені гармонізовані стандарти, зокрема, торкаються вимог і методів контролю харчової продукції, якості питної води, повітря, ґрунту, сільськогосподарських машин, добрив, кормів для тварин, посуду, електропобутових, медичних приладів, інформаційних технологій, ліфтів, засобів індивідуального захисту, побутової та дорожньо-транспортної техніки, виробів текстильної і шкіряної промисловості, пожежної техніки тощо.

Окремо виділені проблеми розробки стандартів державного значення або широкого застосування стандартів ISO серії 9000, 10000, 14000, 17000, 22000, а також стандартів, в яких конкретизовані вимоги технічних регламентів. В перспективі передбачена повна гармонізація національних законодавчої і

нормативної баз в сфері технічного регулювання з європейською та приведення інфраструктури системи технічного регулювання згідно з європейською практикою. Може бути завершено розподіл повноважень в сфері надання послуг зі стандартизації, метрології, сертифікації між центральним органом виконавчої влади та реформованими органами в регіонах.

Україна є афілійованим членом європейських організацій стандартизації - Європейського комітету з стандартизації (CEN) та Європейського комітету з стандартизації в галузі електротехніки (CENELEC) з 01.01.2008, у яких її інтереси як національний орган стандартизації представляє центральний орган виконавчої влади з питань стандартизації.

11.3. Світові організації зі стандартизації

Питаннями стандартизації і сертифікації в теперішній час займаються числені організації, які мають статус міжнародних, регіональних, національних. Серед них можна виділити універсальні, тобто ті, що займаються стандартизацією в різних сферах науки та техніки, або спеціалізовані, що мають більш вузьку спеціалізовану спрямованість. Водночас є такі організації національного рівня, нормативні документи яких поважаються у всьому світі та мають відповідне поширення.

14 жовтня 1946 р. В Лондонському інституті цивільних інженерів відкрилась конференція національних організації зі стандартизації, на яку зібралися делегати з 25 країн. Результатом їхньої роботи стало заснування Міжнародної організації зі стандартизації в 1947 р. В 1970 р. Президент ISO Фарук Сунтер (Туреччина) запропонував святкувати Всесвітній день стандартів, щоб підкреслити важливість цієї сфери для світової економіки, активізувати її роль в суспільстві.



Міжнародна організація зі стандартизації - International Organization For Standardization (**ISO**)- найкрупніший у світі розробник стандартів. Це ціла мережа національних інститутів стандартів 162 країн з Центральним Секретаріатом у Женеві.

Скорочена форма назви організації походить від грецького «isos», що означає «рівний». ISO – незалежна, неурядова організація, однак до неї входять представники як громадських і урядових організацій, так і національних асоціацій виробників. З нею

підтримують зв'язок майже 500 міжнародних організацій, в тому числі всі спеціалізовані агентства ООН, що працюють у суміжних напрямках. Тому ISO здатна діяти як об'єднуюча структура, в якій згода може бути досягнута на рішеннях, котрі враховують і вимоги бізнесу, і більш широкі потреби суспільства. Діяльність ISO спрямована на формування в усіх країнах законодавства, що ставить за мету охорону здоров'я та захист довкілля, забезпечення споживачів безпечними товарами та послугами, а також розвиток міжнародної торгівлі і передачу нових технологій країнам, які розвиваються. Стандарти ISO найбільш широко використовуються у світі, їх більше 13000, причому щорічно переглядаються та приймаються 500-600 стандартів.

ISO своїми розробками сприяє гармонізації процедури сертифікації, що, у свою чергу, уможлиблює взаємне визнання результатів сертифікації навіть при розходженнях у національних законодавчих положеннях. ISO сприяє в методичному плані також створенню систем сертифікації в тих країнах, де вони поки відсутні. В області сертифікації ISO співпрацює з IEC, про що говорять багато спільних керівництв. Основним керівництвом в області сертифікації вважається керівництво ISO/IEC 28 «Загальні правила типової системи сертифікації продукції третьою стороною», що містить рекомендації зі створення національних систем сертифікації.

ISO здійснює стандартизацію в усіх галузях, крім електротехнічної та електронної промисловості, де стандарти створює Міжнародна електротехнічна комісія — IEC. Разом ISO та IEC утворюють загальну систему міжнародної стандартизації — найбільшу в світі неурядову систему добровільного промислового і технічного співробітництва на міжнародному рівні.

Основна мета впровадження стандартів ISO полягає в підвищенні якості та безпеки бізнесу та технологій, що, в свою чергу, веде за собою зростання споживчих характеристик продукції, яка випускається. Водночас, поліпшується взаємодія між покупцем і постачальником, виробником і посередником, надаючи ринковим відносинам цивілізованого взаємовигідного характеру. Наразі сьогодні можна говорити про наступні переваги системи ISO:

1. Планетарний масштаб поширення уніфікованих стандартів.
2. Реальний захист населення та навколишнього середовища від небезпечних товарів і технологій.
3. Стимулювання розвитку торгівлі між різними країнами.
4. Позитивний вплив на еволюцію бізнесу в рамках поліпшення системи управління та контролю.

5. Створення ефективних критеріїв оцінювання, котрі об'єктивно відображають реальний стан речей.

Стандарти ISO поділяються на певні серії, які порушують різні аспекти.

Серія ISO 9000 порушує аспекти управління якістю и містить деякі з найвідоміших стандартів ISO, наприклад, ISO 9001. Повністю остання (на сьогодні) версія стандарту позначається як ISO 9001:2008 «Системи менеджмента якості. Вимоги», а взагалі цей стандарт занесено в Міжнародну книгу рекордів Гінеса як стандарт, який найбільш використовується у світі.

Серія ISO 14000 порушує аспекти екологічного менеджменту. Вона надає практичний інструментарій для компаній і організацій, які прагнуть визначити та контролювати їхній вплив на навколишнє середовище і постійно поліпшувати свої екологічні показники.

Серія ISO 22000 присвячена управлінню безпекою продуктів харчування.

Серія ISO 26000 є керівництвом про те, як підприємства та організації можуть працювати соціально відповідальним чином. Це означає прозору й етичну поведінку, яка сприяє здоров'ю і благополуччя суспільства.

Серія ISO 31000 присвячена менеджменту ризиків. Ризики, що впливають на організації, можуть мати наслідки з точки зору економічної ефективності, ділової репутації, навколишнього середовища, безпеки, соціальні наслідки.

Стандарт ISO 50001 підтримує організації в усіх галузях в їхніх намаганнях використовувати енергію більш ефективно за допомогою розробки системи енергетичного менеджменту (EnMS).

В Таблиці 11.1 наведено приклади позначень, пов'язаних з діяльністю ISO.

Стандарти ISO сприяють гармонізації законодавчих актів і положень різних країн зі загальноприйнятними міжнародними законами та принципами, мають діяти як еталони під час виконання регулятивної та контрольної функції федеральними, державними та місцевими органами влади. З тим, щоб привернути увагу урядів країн до піднесення ролі стандартизації, була підготовлена так звана «Біла книга ISO». Незаперечним вважаємо той факт, що в багатьох (якщо не в більшості) країнах, які розвиваються, рівень знань у політичних колах про стандартизацію взагалі та про міжнародні стандарти, зокрема, дуже низький або близький до нульового. Таким чином, часто є правдою те, що уряди держав не можуть значно допомогти промисловості та компаніям своєї країни у використанні механізмів

стандартизації для підвищення конкурентоспроможності своєї продукції, розвитку торгівлі, захисту власного ринку від недобросовісної конкуренції.

Таблиця 11.1.

Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК) - International Electrotechnical Commission (**IEC**) — міжнародна некомерційна організація зі стандартизації в області електричних, електронних і суміжних технологій, є найстарішим міжнародним співтовариством стандартизаторів, утвореним у 1906 році. Вона об'єднує національні органи зі стандартизації понад 82 країн світу по одному від кожної країни. Завдання IEC - сприяти через її членів міжнародному співробітництву з питань стандартизації електротехніки та пов'язаних з нею напрямів.

Сфера діяльності IEC охоплює всі галузі електротехніки, включаючи електроніку, магнетизм та електромагнетизм, електроакустику, телекомунікації, виробництво та передачу енергії. у аспектах стандартизації: термінологія та умовні позначення вимірювання та характеристики, залежності, конструювання та виробництво, безпека та охорона навколишнього середовища.



Ця комісія на відміну від ISO, що займається винятково методологічними проблемами, розробила міжнародні системи сертифікації й розробляє стандарти, зокрема, з безпеки, які застосовуються як нормативна база при випробуваннях і сертифікації відповідної продукції.

Цією організацією в 1985 р. створена Міжнародна система IEC сертифікації електроустаткування на відповідність стандартам безпеки, що поєднує 34 країни. В 1980р. у IEC була створена система сертифікації виробів електронної техніки з метою сприяння міжнародній торгівлі за допомогою встановлення однакових вимог до цієї продукції.

Стандарти IEC розробляються майже в 200 технічних комітетах (TC) і підкомітетах (SC), у рамках яких утворено близько 700 робочих груп (WG). Проекти подаються на голосування національним органам — повним членам для прийняття категорії міжнародного стандарту. Загалом 10000 експертів світу беруть участь у технічній роботі IEC. На сьогодні опубліковано понад 3500 стандартів IEC.

IEC співпрацює з численними міжнародними і регіональними організаціями з метою сприяння впровадженню міжнародних стандартів. Так, IEC тісно співпрацює з Міжнародною організацією із стандартизації (ISO) та Міжнародним союзом телекомунікацій (ITU), іншими партнерами, включаючи Світову організацію здоров'я (WHO) та Міжнародну організацію праці (ILO). За угодою з ISO створено спільний Об'єднаний технічний комітет «Інформаційні технології» з широким і актуальним полем діяльності. Одним із найважливіших партнерів IEC є Світова організація торгівлі. В Угоді про технічні бар'єри в торгівлі зазначено, що міжнародні стандарти відіграють виняткову роль у підвищенні ефективності економіки і розвитку світової торгівлі. Таке ставлення до них на урядовому рівні має вирішальне значення для управління в таких напрямках, як безпека, охорона здоров'я та захист довкілля.

IEC підтримує країни, що розвиваються, заохочуючи їх до спільних робіт, співпрацює з Міжнародним валютним фондом (IMF), Європейським банком реконструкції та розвитку (EBRD), Світовим банком (WB) та Програмою розвитку Організації Об'єднаних Націй (UNDR).

Міжнародна електротехнічна комісія прагне до тіснішого зближення з регіональними організаціями, число яких зростає. Спільну робочу угоду укладено з Європейським комітетом із стандартизації в електротехніці (CENELEC), що об'єднує близько 20

національних органів, більшість яких є також членами ІЕС. Дрезденська угода, ратифікована у вересні 1996 року, передбачає спільне планування нових робіт і паралельне голосування по проектах стандартів. Також є робоча угода між ІЕС та ETSI (Європейським інститутом стандартів телекомунікацій).



Міжнародний союз з електрозв'язку (МСЕ) - International Telecommunication Union (**ITU**) - міжнародна міжурядова організація. Заснована 17 травня 1865 р. в Парижі 22 державами (у тому числі Росією). До 1932 р. організація мала назву Міжнародний телеграфний союз.

З 1947 р. спеціалізована установа ООН. Згідно із статутом ITU його цілі — сприяння розвитку міжнародної співпраці для поліпшення і раціонального використання всіх видів телекомунікацій і радіо, вдосконалення цих служб і розширення їх використання населенням, узгодження діяльності держав — членів в цій області. ITU визначає стандарти (рекомендації) в галузі телекомунікацій і радіо, зокрема:

- здійснює розподіл між державами радіочастотного спектру і реєстрацію виділених радіочастот;
- полегшує міжнародну стандартизацію електрозв'язку із задовільною якістю обслуговування;
- координує заходи по ліквідації перешкод при роботі радіостанцій різних держав;
- заохочує міжнародну співпрацю в цілях встановлення найбільш низьких тарифів за користування різними видами електрозв'язку;
- сприяє вживанню заходів для забезпечення безпеки при користуванні електрозв'язком;
- проводить дослідження і розробляє рекомендації, включаючи методи і норми космічного електрозв'язку;
- збирає і публікує інформацію по питаннях електрозв'язку на користь всіх членів союзу.

В 1969 р. після низки зустрічей торговельних асоціацій США було прийнято рішення про створення міжгалузевого стандарту кодування продукта. Результатом цього рішення за чотири роки став Універсальний продуктовий код (**UPC**). В тому ж 1974 р. була створена Рада уніфікованого коду (UCC), основною метою якої стало поширення стандартів системи UPC у Північній Америці. В 1977 р. для розвитку всесвітньої системи, сумісної з американською системою кодування (UPC), було створено Європейську Асоціацію Товарної Нумерації (**EAN**). Завдяки розповсюдженню системи EAN за межами

Європи, в 1992 р. асоціація отримала статус міжнародної організації EAN International.



Сьогодні дві організації EAN International (European Article Numbering) и UCC (Uniform Code Council) об'єднані в одну організацію **GS1** (Global Standard One).

Конференція ООН з торгівлі й розвитку — United Nations Conference On Trade And Development (**UNCTAD**) є постійним органом Генеральної Асамблеї ООН. Акт про її створення було прийнято у 1964 р. За підсумками конференції з торгівлі й розвитку, скликаної, у першу чергу, для розгляду проблем країн, що розвиваються.



Рішення [UNCTAD](#) приймаються у формі резолюцій і мають рекомендаційний характер. Головна мета [UNCTAD](#) - сприяти розвитку міжнародної торгівлі, особливо з метою прискорення економічного розвитку. Серед головних функцій організації:

- розвиток торгівлі між країнами, які перебувають на різних етапах економічного розвитку та з різними економічними системами;
- активна діяльність для організації переговорів про торгові угоди;
- узгодження торгової політики країн-членів,

Засідання конференції проводяться кожні чотири роки. У перервах між засіданнями конференції її функції виконує Рада з торгівлі і розвитку, яка є виконавчим органом. Рада відповідає за забезпечення загальної відповідності діяльності погодженим пріоритетам. Секретаріат [UNCTAD](#) співробітничав із урядами держав-членів, взаємодіє з організаціями ООН і регіональними комісіями.

Держави-члени розділені на чотири групи за соціально-економічним і географічним принципами.



Міжнародний торговий центр – International Trade Center UNCTAD/WTO (**ITC**) є агентством з технічного співробітництва Конференції ООН з торгівлі й

розвитку та Світової організації торгівлі, які займаються операційними й орієнтованими на підприємців аспектами розвитку [торгівлі](#).

ITC є спільним допоміжним органом COT та ООН. Був утворений у 1964 р. в рамках ГАТТ, а з 1968 р. увійшов також до структури

[UNCTAD](#). Членами ІТС є члени СОТ та [UNCTAD](#). Штаб-квартира міститься в Женеві.

Головна мета ІТС — усунення дублювання й паралелізму в діяльності СОТ і [UNCTAD](#) щодо сприяння розвитку торгівлі в країнах, що розвиваються. Основні функції ІТС:

- надання країнам, що розвиваються, технічної допомоги в розвитку торгівлі, насамперед у стимулюванні експорту;
- забезпечення країн-членів інформацією про ринкові можливості для традиційних і нетрадиційних товарів;
- удосконалення техніки імпорتنих операцій з метою раціонального використання валютних ресурсів;
- навчання урядових службовців, підприємців і викладачів технології експортно-імпорتنих операцій;
- здійснення наукових дослідів з питань зовнішньої торгівлі.



Генеральна угода з тарифів і торгівлі - General Agreement On Tariffs And Trade (**GATT**) міжнародна угода, укладена в 1947 р. з метою відновлення економіки після другої світової війни, яка протягом майже 50 років фактично виконувала функції міжнародної організації (нині — Світова організація торгівлі).

GATT — угода, не організація. На початку GATT передбачалося перетворити в повноцінну міжнародну організацію, таку як Всесвітній Банк або Світова організація торгівлі. Однак, угода не була [ратифікована](#) і залишилась лише угодою. Функції GATT були передані Світовій організації торгівлі, заснованій останнім раундом переговорів по GATT на початку 1990-х.



Світова організація торгівлі (СОТ) – англ. World Trade Organization (**WTO**), фр. Organisation Mondiale Du Commerce (OMC) — міжнародна організація, створена в 1995 р. з метою лібералізації міжнародної торгівлі й регулювання торгово-політичних відносин держав-членів.

СОТ є спадкоємицею GATT, відповідає за розробку й впровадження нових торговельних угод, а також стежить за дотриманням членами організації всіх угод, підписаних більшістю країн миру й ратифікованих їхніми парламентами.



Також можна згадати про Продовольчу та сільськогосподарську організацію ООН – Food And Agricultural Organization Of The United Nations (**FAO UN**) і Всесвітню організацію охорони здоров'я - World Health Organization (**WHO**).



Незважаючи на те, що стандартизація не є прямою ціллю FAO UN, багато служб цієї організації торкаються зі стандартизацією, а саме наступні відділення: розвитку земель і вод, яке займається проблемами іригації, дренажу, забезпечення сільської місцевості водою; сільськогосподарської техніки, головна увага якого спрямовано на механізацію сільськогосподарських робіт; сільське будівництво; з вирощування та захисту рослин; животних продуктів; лісових ресурсів; лісової промисловості і торгівлі; рибних ресурсів.

Значне місце в діяльності зі стандартизації займає сумісна робота FAO UN і WHO з вироботки міжнародних стандартів на харчові продукти. WHO має консультативний статус в ISO, вона брала участь в роботах щодо стандартизації труб для питної води, дослідженнях пластмас, що використовуються для цього, і взагалі в роботах, які стосуються якості питної води.

ЛЕКЦІЯ № 12.

ПОНЯТТЯ ПРО ОЦІНКУ ВІДПОВІДНОСТІ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

12.1. Поняття про оцінку відповідності

Стандартизація та процедура оцінення відповідності тісно пов'язані між собою. Остання може проводитись лише за наявності нормативних документів, на відповідність якому оцінюється продукція, процес чи послуга. Мають бути застандартизовані методи контролю та випробування, а також сама процедура оцінення відповідності, що забезпечує достовірність, повторюваність та відтворюваність результатів.

У точному змісті слова **сертифікація** — процедура підтвердження, за допомогою сертифіката або знака, відповідності деякого виробу, системи або послуги вимогам певного нормативного документа. Відповідно до положень закону про технічне регулювання підтвердження відповідності спрямоване на досягнення наступних цілей:

- посвідчення відповідності продукції, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації й утилізації, робіт, послуг або інших об'єктів технічним регламентам, стандартам, умовам договорів;
- сприяння набувачам у компетентному виборі продукції, робіт, послуг;
- підвищення конкурентоспроможності продукції, робіт, послуг на внутрішньому й міжнародному ринках;
- створення умов для забезпечення вільного переміщення товарів по території України, а також для здійснення міжнародного економічного, науково-технічного співробітництва й міжнародної торгівлі.
- забезпечення комерційної таємниці відносно відомостей, отриманих при здійсненні підтвердження відповідності.

Підтвердження відповідності здійснюється на основі принципів:

- доступності інформації про порядок здійснення підтвердження відповідності зацікавленим особам;
- неприпустимості застосування обов'язкового підтвердження відповідності до об'єктів, до яких не встановлені відповідні вимоги;
- установлення переліку форм і схем обов'язкового підтвердження відповідності відносно певних видів продукції у відповідному технічному регламенті;

- зменшення строків здійснення обов'язкового підтвердження відповідності й витрат споживача;
- неприпустимості примуса до здійснення добровільного підтвердження відповідності, у тому числі в певній системі добровільної сертифікації;
- захисту майнових інтересів заявників, дотримання комерційної таємниці відносно відомостей, отриманих при здійсненні підтвердження відповідності;
- неприпустимості підміни обов'язкового підтвердження відповідності добровільною сертифікацією.

Підтвердження відповідності розробляється й застосовується так само и рівною мірою незалежно від країни або місця походження продукції, здійснення процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації й утилізації, виконання робіт і надання послуг.

Систематичну перевірку ступеня відповідності заданим вимогам прийнято називати **оцінкою відповідності**. Більше окремим поняттям оцінки відповідності вважають **контроль**, який розглядають як оцінку відповідності шляхом вимірювання конкретних характеристик продукту.

В останнє десятиліття в практиці поставок продукції важливу роль стали грати документи, які підтверджують відповідність продукції, що поставляється, вимогам, установленим у стандартах та інших нормативних документах. Ці підтверджувальні документи є результатом процедури, у якій беруть участь три сторони. Сторони, що беруть участь, представляють, як правило, інтереси постачальників (перша сторона) і покупців (друга сторона). Третя сторона - особа або орган, визнана незалежною від сторін, що беруть участь, у розглянутому питанні. Сторони, що беруть участь, представляють, як правило, інтереси постачальників (перша сторона) і покупців (друга сторона).

З оцінкою відповідності зв'язана перевірка відповідності, нагляд за відповідністю, забезпечення відповідності.

Перевірка відповідності — підтвердження відповідності продукції (процесу, послуги) установленим вимогам за допомогою **вивчення доказів**.

Підтвердження відповідності — документальне посвідчення відповідності продукції або інших об'єктів, процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації й утилізації, виконання робіт або надання послуг вимогам технічних регламентів, положенням стандартів або умовам договору.

Нагляд за відповідністю — це повторна оцінка з метою переконатися в том, що продукція (процес, послуга) продовжує відповідати встановленим вимогам.

Забезпечення відповідності — це процедура, результатом якої є заява, що дає впевненість у том, що продукція (процес, послуга) відповідають заданим вимогам.

Стосовно до продукції це може бути:

- **заява постачальника про відповідність**, тобто його письмова гарантія в том, що продукція відповідає заданим вимогам; заява, що може бути надруковане в каталозі, накладній, керівництві про експлуатацію або інше повідомлення, що ставиться до продукції; це може бути також ярлик, етикетка тощо;
- **сертифікація** — процедура, за допомогою якої третя сторона дає письмову гарантію, що продукція, процес, послуга відповідають заданим вимогам.

Термін «заява постачальника про відповідність» означає, що постачальник (виготовлювач) під свою особисту відповідальність повідомляє про те, що його продукція відповідає вимогам конкретного нормативного документа. Відповідно до керівництва 2 ISO/IEC це є доказом усвідомленої відповідальності виготовлювача й готовності споживача зробити продумане й певне замовлення.

Заява виготовлювача, що називають також **заявою-декларацією**, містить наступні відомості: адреса виготовлювача, що представляє заяву-декларацію, позначення виробу й додаткову інформацію про нього; найменування, номер і дату публікації стандарту, на який посилається виготовлювач; вказівка про особисту відповідальність виготовлювача за зміст заяви й др. Інформація, що представляється, повинна бути заснована на результатах випробувань. Посилання на стандарт не означають твердження виробу організацією, що прийняла цей стандарт. Виготовлювач не має права користуватися знаками відповідності стандартам. Підтвердження відповідності через сертифікацію припускає обов'язкова участь третьої сторони. Таке підтвердження відповідності незалежне, що дає гарантію відповідності заданим вимогам, здійснювана за правилами певної процедури.

12.2. Технічне регулювання продукції, товарів та послуг

Технічне регулювання – правове регулювання відносин у сфері визначення та виконання обов'язкових вимог до характеристик продукції або пов'язаних з ними процесів та методів виробництва, а

також перевірки їх додержання шляхом оцінки відповідності та/або державного ринкового нагляду і контролю нехарчової продукції чи інших видів державного нагляду (контролю)

Згідно наказів Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦМ») за №182-188 від 14.12.2015 дія усіх стандартів, розроблених та впроваджених за часі СРСР (ГОСТ, РСТ, тощо), буде припинена з 01.01.2018 р. На зміну їм мають прийти нові нормативні документи у вигляді технічних регламентів.

У 90-і роки минулого сторіччя введена нова категорія нормативного документу – технічний регламент, в якому містяться технічні вимоги до об'єкта стандартизації. Регламент взагалі за характером дії є обов'язковим і приймається органом влади, а не органом зі стандартизації. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» №124-VIII від 15.01.2015 визначає правові та організаційні засади розроблення і застосування національних стандартів, технічних регламентів та процедур оцінки відповідності, а також основоположні принципи державної політики у сфері стандартизації, технічного регулювання та оцінки відповідності.

Технічний регламент - закон України або нормативно-правовий акт, прийнятий Кабінетом Міністрів України, у якому визначено характеристики продукції або пов'язані з нею процеси чи способи виробництва, а також вимоги до послуг, включаючи відповідні положення, дотримання яких є обов'язковим. Він може також містити вимоги до термінології, позначок, пакування, маркування чи етикетування, які застосовуються до певної продукції, процесу чи способу виробництва. Згідно з вказаним Законом метою розроблення і застосування технічних регламентів є захист життя та здоров'я людини, тварин, рослин, національної безпеки, охорони довкілля та природних ресурсів, запобігання недобросовісній підприємницькій практиці. Нормативно-правовий акт, що має визначені Законом ознаки технічного регламенту, вважається технічним регламентом незалежно від використання в назві такого акта слів «технічний регламент».

Технічна специфікація – документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинна задовольняти продукція, процес або послуга

Технічні умови – нормативний документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинна відповідати продукція, процес або послуга, та визначає процедури, за допомогою яких може бути встановлено, чи дотримані такі вимоги

12.2.1. Зміст технічних регламентів

Технічні регламенти, як правило, містять, не обмежуючись цим переліком:

- визначення видів продукції або пов'язаних з нею процесів чи методів виробництва, на які поширюється дія технічних регламентів, та в разі потреби визначення видів продукції або пов'язаних з нею процесів чи методів виробництва, на які не поширюється дія цих технічних регламентів;
- технічні вимоги, яким повинна відповідати продукція, що вводиться в обіг, надається на ринку або вводиться в експлуатацію. Зазначені технічні вимоги можуть бути визначені як суттєві вимоги, що визначають рівень захисту суспільних інтересів та формулюються з точки зору результатів, яких необхідно досягти;
- права та обов'язки суб'єктів господарювання, які стосуються введення продукції в обіг, надання її на ринку або введення її в експлуатацію, а в разі якщо технічними регламентами передбачене залучення до цієї діяльності інших, ніж суб'єкти господарювання, фізичних чи юридичних осіб, - також їх права та обов'язки;
- вимоги щодо надання супровідної інформації про продукцію для споживачів (користувачів), зокрема маркування, інструкцій з користування;
- спеціальні вимоги щодо здійснення державного ринкового нагляду стосовно продукції.

Технічні регламенти, якими передбачене застосування процедур оцінки відповідності, також, як правило, містять, не обмежуючись цим переліком:

- процедури оцінки відповідності, які повинні або можуть застосовуватися для оцінки відповідності продукції технічним вимогам, визначеним у технічних регламентах, а в разі якщо такі процедури затверджені іншими нормативно-правовими актами, - посилання на них;
- спеціальні вимоги до призначених органів, їх обов'язки (у разі якщо технічними регламентами передбачене застосування процедур оцінки відповідності із залученням призначених органів);
- вимоги щодо складання, зберігання та надання органам державного ринкового нагляду декларації про відповідність

та технічної документації, необхідної для оцінки відповідності продукції;

- правила та умови нанесення знака відповідності технічним регламентам.

У разі якщо технічний регламент розробляється на основі акта законодавства Європейського Союзу, зміст, форма та структура такого технічного регламенту повинні максимально повно і точно відповідати змісту, формі та структурі відповідного акта законодавства Європейського Союзу з урахуванням можливості врегулювання конкретних суспільних відносин нормами актів законодавства України.

Кабінет Міністрів України визначає правила розроблення проектів технічних регламентів, що затверджуються Кабінетом Міністрів України, на основі актів законодавства Європейського Союзу.

У разі потреби разом з технічними регламентами, крім тих, що затверджені законами, затверджуються плани заходів з їх впровадження. Плани заходів із впровадження технічних регламентів, затверджених законами, у разі потреби затверджуються Кабінетом Міністрів України.

12.2.2. Декларування про відповідність технічним регламентам

У випадках, визначених у технічних регламентах, якими передбачене застосування процедур оцінки відповідності, виробник або уповноважений представник (від імені та під відповідальність виробника) повинен скласти декларацію про відповідність.

У декларації про відповідність заявляється про те, що виконання вимог, які застосовуються до продукції та визначені у відповідних технічних регламентах, було доведено.

Декларація про відповідність складається згідно з вимогами до її змісту, примірною структурою чи формою, що встановлюються відповідними технічними регламентами.

У разі якщо на певний вид продукції поширюється дія кількох технічних регламентів, що вимагають складання декларації про відповідність, повинна бути складена єдина декларація про відповідність стосовно всіх таких технічних регламентів, якщо це передбачено відповідними технічними регламентами. В такій декларації про відповідність повинні бути зазначені відповідні технічні регламенти, включаючи відомості про їх офіційне опублікування.

Єдина декларація про відповідність може мати форму досьє, яке складається з відповідних окремих декларацій про відповідність.

У випадках та відповідно до вимог, визначених у певних технічних регламентах, продукція при наданні на ринку або введенні в експлуатацію (експлуатації) повинна супроводжуватися декларацією про відповідність, її копією чи спрощеною декларацією про відповідність.

Декларація про відповідність повинна бути складена державною мовою, а в разі якщо вона була складена іншою мовою - перекладена на державну мову.

Якщо технічним регламентом вимагається супроводження продукції при наданні на ринку або введенні в експлуатацію (експлуатації) декларацією про відповідність, її копією чи спрощеною декларацією про відповідність, така декларація повинна бути складена або перекладена згідно з вимогами закону про порядок застосування мов.

Окремими технічними регламентами можуть бути встановлені вимоги щодо додаткового застосування в декларації про відповідність або її копії інших мов.

Виробник шляхом складання декларації про відповідність бере на себе відповідальність за відповідність продукції вимогам, визначеним у відповідних технічних регламентах.

Технічними регламентами, якими передбачене застосування процедур оцінки відповідності, можуть передбачатися інші, крім складення декларації про відповідність, випадки декларування відповідності вимогам технічних регламентів.

12.3. Національні та транснаціональні знаки відповідності

Знак відповідності або якості (в області сертифікації) — захищений законом знак, що використовується або видається відповідно до правил будь-якої системи сертифікації. Він служить для того, щоб наочно показати, що даний продукт або метод, або послуга відповідає вимогам певних нормативів. Уживання цього знака вказує на те, що забезпечується необхідна впевненість у відповідності даної послуги або продукції конкретному стандарту тієї або іншої країни. У даний момент розрізняють за своєю приналежністю національні й транснаціональні знаки відповідності. В Таблиці 12.1 наведено знаки відповідності державним стандартам деяких країн світу.

Таблиця 12.1.

						
Австралія	Австрія	Бельгія	Велика Британія	Данія	Італія	Ірландія
						
Китай	Мексика	Нідерланди	Норвегія	Польща	Словаччина	Словенія
						
Німеччина	Фінляндія	Франція	Хорватія	Швейцарія	Швеція	Японія

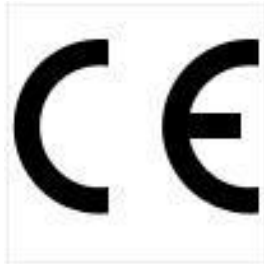
Національні знаки відповідності стандартам реєструються національними органами стандартизації й сертифікації, прийняті й регулюються законодавчими актами окремих держав. Але їх можна зустріти не тільки на товарах вітчизняного виробництва. Також вони використовуються на імпортованих товарах для того, щоб підтвердити сертифікованість і якість даного продукту. Транснаціональні (регіональні) знаки використовуються в країнах певного регіону, ґрунтуючись на взаємному визнанні результатів сертифікації.

Виготовлювачі продукції будь-якої країни можуть, подавши заявку в національний орган стандартизації й сертифікації, одержати ліцензію на застосування знака відповідності стандарту. Використання національних знаків відповідності стандартам без ліцензії не допускається.

Відповідно до вимог національних органів стандартизації й сертифікації для одержання ліцензії виготовлювач продукції повинен представити документально оформлені докази того, що він має достатні технічні засоби й можливість забезпечити контроль продукції і її стабільна якість.

В 1985 р. була прийнята Директива Ради ЄС про технічну гармонізацію, у якій розмежовується роль основних вимог і стандартів. Основні вимоги обов'язкові на відміну від вимог стандартів. Причому якщо стандарт гармонізований, то продукція, виготовлена за цим стандартом, вважається відповідною основним вимогам.

Транснаціональні знаки відповідності стандартам застосовуються в ряді країн з метою взаємного визнання результатів сертифікаційних випробувань і контролю на базі гармонізованих стандартів.



Серед транснаціональних знаків відповідності можна виділити, зокрема, **СЕ-знак** (**СЕ –mark**) – позначення відповідності стандартам якості та безпеки Європейського Союзу, які визначаються так званими Директивами Союзу окремо для кожної групи товарів і продуктів.

СЕ-знак, зокрема, повинна мати продукція, яка охоплюється Директивами ЄС, що діють на основі прийнятої в 1985 р. радою ЄС концепції з гармонізації й стандартизації. Директиви мають силу закону в державах-членах Євросоюзу. Знак ставиться виробником як декларація того, що продукт відповідає вимогам Директив і може продаватися на території Європейського Союзу. Це маркування є обов'язковим для усіх товарів, що надходять на європейський ринок та підпадають під дію Директив ЄС. Абревіатура «СЕ» відповідає французькому «Conformite Europeenne» (або англійському «European Conformity»)- в дослівному перекладі – «європейська відповідність». Вказаний знак не є підтвердженням якості, але є підтвердженням безпеки.

Обов'язковими для дотримання є, наприклад, Директиви по посудинах тиску, безпеки іграшок, будівельним матеріалам, безпеці машин, активним імплантуючим пристроям, кінцевим телекомунікаційним приладам. Якщо продукт попадає під дію декількох Директив одночасно, то повинні бути виконані всі їхні вимоги. Якщо в Директиві ЄС зазначено посилання також на європейські норми (EN), то повинно бути забезпечена повна відповідність до їхніх вимог.

Якщо відповідно до Директиви потрібна перевірка продукції або нагляд за системою якості стороннім контролером, то поруч із СЕ-знаком проставляється реєстраційний номер контролюючого органа. СЕ-знак відкриває продукції всі границі усередині ЄС, вона може пропонуватися на ринках всіх країн ЄС без додаткового контролю. Усередині цього гармонізованого в ЄС сектори є, зрозуміло, також продукція, для якої СЕ-знак або не потрібно, або не повинен наноситися, або додатково до нього повинен бути інший знак, що вказує на певні цілі застосування.

Іншим транснаціональним знаком відповідності, що користується міжнародним визнанням, є знак «CENELEC», уведений

Європейським комітетом зі стандартизації в електротехніці. Електронні системи, маркіровані цим знаком відповідності, можуть прийматися, реалізовуватися й експлуатуватися всіма країнами - членами співтовариства без додаткового контролю. Знак «CENELEC» відповідності стандартам зареєстрований у цей час як знак сертифікації більш ніж в 40 країнах миру.

Головною метою CENELEC є розробка стандартів на електротехнічну продукцію. Ці стандарти розглядаються як необхідний засіб для створення єдиного європейського ринку. Сутністю головного напрямку роботи є усунення будь-яких технічних різниць між національними стандартами країн-членів, між процедурами сертифікації відповідності виробів вимогам стандартів і недопуску тим самим виникнення технічних бар'єрів у торгівлі товарами електротехнічних галузей.



Як і у випадку з CEN, CENELEC має три форми регіональних стандартів – євронорми (EN), документи з гармонізації (HD) і попередні стандарти (ENV). В галузі інформаційних технологій та електрозв'язку CENELEC тісно співпрацює з ETSI, роля якого в ЄС значно зросла за останні роки.

Створення ETSI було викликано необхідністю прискорення процесу гармонізації стандартів в галузі електрозв'язку, що особливо актуально для розвитку електромереж, промисловості та новітніх технологій. Основною задачею є пошук загальних стандартів, на основі яких можна створити комплексну інфраструктуру електрозв'язку. Остання має забезпечити повну сумісність будь-якого обладнання та послуг, запропонованих споживачам. Іншим напрямом роботи ETSI є телевізійне мовлення (звук і зображення), де він співпрацює з Європейським союзом з радіомовлення.

ETSI були успішно стандартизовані система мобільного зв'язку [GSM](#) і система професійного мобільного радіозв'язку [TETRA](#). ETSI є одним із творців [3GPP](#).

ETSI був створений Європейською конференцією адміністрацій поштових служб в служб зв'язку в 1988 р. й був офіційно визнаний Європейською Комісією і секретаріатом [EFTA](#). ETSI офіційно відповідальний за стандартизацію інформаційних і телекомунікаційних технологій у межах Європи. В ETSI входять 699 членів від 55 країн з і з-за меж Європи, включаючи виробників обладнання, операторів зв'язку, адміністрації, сервісних провайдерів, дослідників і користувачів — фактично, всі ключові гравці у світі інформаційних технологій.

Продукцію, законно допущену до реалізації в якій-небудь країні-учасниці ЄС, дозволяється вільно реалізовувати також в інших країнах ЄС. Цей принцип взаємного визнання, називаний лібералізацією, затверджений в основній угоді ЄС у розділі 100b.

Там же встановлено, що в галузях, які мають відношення до життєвих інтересів - здоров'я, безпеки людей, захисту споживача й навколишнього середовища, національні закони, приписання й стандарти повинні бути наведені до єдиних загальних обов'язкових вимог. Цей процес, що називають гармонізацією, здійснюється через основні Директиви ЄС, які розробляються й затверджуються Комісією ЄС.

Зміст гармонізованих Директив ЄС кожна країна-учасниця повинна в заданий строк перевести в національні закони й норми. Області, у яких діють зазначені обов'язкові Директиви, названі законодавчо регульованими областями. У цей час робота зі створення зводу гармонізованих Директив ЄС триває, а вже діючі з них охоплюють наступні галузі й види продукції: прості посудини тиску, іграшки, будівельні матеріали, безпека машин, засобу індивідуального захисту, електромагнітні впливи, будівельні машини, рухомий склад і важільні пристрої, гідравлічні й електрогідравлічні підйомники, газове споживче встаткування, активні імплантуючі медичні пристрої, ваги, що не урівноважуються, електричні робочі засоби, телекомунікаційні сполучні деталі й деякі інші.

Поряд з обов'язковими Директивами в ЄС ведуться розробки загальноєвропейських технічних нормативів у так званих законодавчо нерегульованих областях, дотримання яких не потрібно з погляду державних законів. Однак практика підтверджує, що виконання цих норм дає виробникам товарів істотні переваги в умовах ринкової економіки. Ціль європейських норм - забезпечити оптимізацію продукції по надійності, споживчій придатності, змінності тощо. Слід також зазначити, що там, де встановлені Комісією ЄС основні вимоги безпеки й захисту споживача погоджуються з технічними нормами, Директиви ЄС указують на ці норми. І тільки через такі посилання європейські норми можуть почасти одержати статус обов'язкових у рамках обмеженої сфери дії.

В Таблиці 12.2 наведено приклади позначень, пов'язаних з діяльністю ISO.

Таблиця 12.2.



12.4. Знаки відповідності організацій та асоціацій

Окрім національних знаків та знаків певних систем сертифікації слід зазначити, що існує певна низка «поважних» знаків організацій, асоціацій, лабораторій, які формально мають національний, регіональний або галузевий характер, однак визначаються в усьому світі.



GS-mark - **GS-знак** прийнятий у Німеччині й служить свідченням, що конкретна продукція або виробництво перевірені на безпеку компетентним органом та відповідає німецьким стандартам якості. Ставиться на продукти та товари, сертифіковані авторизованими сертифікаційними організаціями.

Зустрічається, коли «GS» переводять на англійський як «German Standard», тобто «німецький стандарт». Але в дійсності ж аббревіатура позначає слова «Geprüfte Sicherheit», що переводиться як «завірена якість» або «завірена безпека». При маркуванні знаком продукції в лівому верхньому куті знака вказується назва або код авторизованої

сертифікаційної організації. Він зберігає своє значення поряд з СЕ-знаком як добровільний додатковий знак. За останні 15 років GS-знак був виданий приблизно для 100 тис. виробів 80 акредитованими німецькими органами контролю.



CSA - канадська асоціація стандартів, знак відповідності державної організації Canadian Standard Association (некомерційна організація, що встановлює стандарти в сфері бізнесу, промисловості, державній діяльності в Канаді й в усьому світі).

Включає до свого складу представників виробництва, торгівлі, споживачів, уряду та міжнародного ринку. Задачею асоціації є узгодження інтересів всіх груп учасників при одночасному підвищенні якості послуг і товарів, а також безпеки їхнього споживання та забезпечення охорони навколишнього середовища. Оцінює сотні тисяч найменувань товарів і десятки тисяч видів послуг на глобальному ринку.



Знак **FCC** - знак відповідності американської федеральної комісії з комунікацій (FCC). Вживається як з повною назвою організації так і самостійно.



UL - Underwriters Laboratories - американська незалежна некомерційна лабораторія, була заснована в 1894 році. Має величезну репутацію й сертифікує більше 17 млрд. одиниць товару в рік, від продуктів живленні до електроніки.



Знак **BSI** - зазвичай цей знак називають «kitemark» або «повітряний змій». У дійсності він є сертифікаційною маркою Британського Інституту Стандартів (BSI).



Цей інститут є одним із засновників розвитку стандартів ISO 9000 (система контролю якості), прийнятих в більшості країн всього світу.



Логотип німецької сертифікаційної організації **TÜV**. Зустрічається в різних комбінаціях і з різним текстовим супроводом на цілій низці сертифікаційних марок цієї організації.



Знак **TÜV Rheinland** - німецької сертифікаційної організації TÜV Rheinland. Організація має право видавати сертифікати по багатьом групам продукції і в різних країнах, знак може зустрічатися в різних комбінаціях и з різним написанням.

Знак **Woolmark** – знак високої якості продукції, виготовленої з бавовни, встановлений Міжнародним Секретаріатом з вовни (IWC) - організації, що працює в області наукових досліджень, контролю якості, поліпшення експлуатаційних характеристик й естетичного оформлення виробів з натуральної вовни.



Маркування «натуральна вовна» дозволено використовувати тільки за умови одержання вовни з живої тварини й змісту в ній не більше 7% інших волокон. Тільки така вовна маркується всесвітньо відомим знаком міжнародного секретаріату вовни, що гарантує якість.



Знак сертифікації **Energy Star** - американської асоціації з охорони зовнішнього середовища. Наявність цього знака на продукції вказує на мінімальну кількість енергії при її виготовленні та відповідно на мінімальне забруднення довкілля.



Логотип і реєстраційний знак **Water Quality Association** – некомерційної міжнародної торгівельної асоціації, яка представляє системи для очищення води для побутових, комерційних і промислових потреб.

Асоціація здійснює тісний діалог з іншими організаціями, які представляють різні аспекти водної промисловості для узгодження інтересів споживачів, урядових організацій і промислових виробників.



Знак **American Water Works Association** -

Міжнародна незалежна організація, що займається науково-просвітницькою діяльністю та захистом інтересів споживачів чистої питної води. Ця асоціація організує тематичні конференції і семінари, спонсує наукові дослідження в галузі технологій водоочищення та надає юридичну допомогу споживачам при знаходженні порушень санітарних норм.



Знак **The International Association of Plumbing and Mechanical Officials (IAPMO)** – організації, що працює при уряді США, розроблений нею та знак відповідності стандарту **Uniform Plumbing Code (UPC)**.

Асоціація курирує питання санітарно-технічної безпеки всіх елементів водопостачання на етапах їхнього виробництва, монтажу та експлуатації.

У сфері управління якістю продукції діють міжнародні стандарти ISO 9000, але слід відзначити й інші напрями розвитку стандартизації у цієї сфері – концепцію **TQM** (Total Quality Management) і **QS 9000** (Quality system 9000). Обидві ці концепції не суперечать зазначеним міжнародним стандартам і можуть розглядатися як подальший розвиток і деталізація системного управління якістю.

TQM – стратегія глобальним управлінням якістю, розроблена американським спеціалістом в галузі статистики dr. W. Edwards Deming. Застосування саме цієї стратегії дозволило Японії реструктуризувати та підняти економіку після Другої Світової війни.



Стратегія містить в собі 14 пунктів, використання яких організує зворотній зв'язок в циклі створення і споживання будь-якого продукту, що приводить до автоматичного запуску безперервного удосконалення якості.

Система TQM спрямована на досягнення повної відповідності підходів до забезпечення якості функціональних служб і підрозділів компанії, а також її субпостачальників. Головний економічний ефект від впровадження TQM – значне зниження витрат, пов'язаних з дефектами готових виробів (рівень дефектності в них виражається кількістю дефектів на мільйон виробів). Основні принципи TQM – мінімізація виробничих витрат, постачання продукції точно і вчасно (just in time) і постійне поліпшення якості (quality improvement).

Стандарт QS 9000 має галузевий характер, тому що був розроблений і прийнятий трьома гігантами машинобудування – Chrysler, Ford, General Motors, до яких пізніше долучилося ще п'ять фірм-виробників вантажівок. Стандарт QS 9000 базується на ISO 9000,

але містить розроблені вказаними компаніями вимоги, котрі носять як загальногалузовий характер, так і більш конкретизований для кожної фірми.



Знак **ENEC** розшифровується як «European Norms Electrical Certification» або «Сертифікат відповідності європейським стандартам електротехнічного обладнання». Знак складається з логотипа й номера-коду організації, що сертифікує.

Цим знаком безпосередньо маркіруються такі вироби як:

- вимикачі;
- освітлювальне обладнання;
- трансформатори;
- електротехнічне обладнання;
- електронне обладнання та інше.

12.5. Екологічні знаки

В теперішній економічній ситуації одним з найважливіших аспектів конкурентоспроможності продукції на внутрішньому та світовому ринках є відповідність екологічним вимогам. Подібна ситуація склалась через те, що всі країни зацікавлені в здоров'ї своїх громадян, а також стані навколишнього середовища. Не є таємницею той факт, що одним з крупних джерел забруднення є різноманітна продукція на окремих етапах свого життєвого циклу. Тому в ряді країн активно впроваджуються різні законодавчі та природоохоронні акти, які перешкоджають появі на внутрішньому ринку продукції, яка потенційно забруднює життєве середовище. Слід відзначити, що подібна продукція не обов'язково є неякісною, вона просто може завдати шкоди екології.

В широкому розумінні екологічне маркування можна класифікувати, по-перше, як сертифікацію, яка проводиться самим постачальниками для підвищення позитивних соціальних або екологічних аспектів своєї продукції. По-друге, як сертифікацію незалежними організаціями або державними організаціями, які не мають фінансової зацікавленості по відношенню даної продукції. Ці організації проводять оцінювання продукції і послуг відповідно з прийнятими державою критеріями.

Екологічні знаки покликані повідомляти споживача, що даний товар не наносить серйозного впливу на навколишнє середовище й може бути використаний з харчовими продуктами. Споживачі,

зазвичай, нездатні самостійно оцінити товар з позиції екологічних вимог (на відміну від якості виготовлення), тому в цьому випадку вони користуються інформацією, яка відображається на різному екологічному маркуванні. Система заходів з охорони навколишнього середовища, що визнається значною частиною промислово розвинутих країн світу, передбачає серед інших своїх елементів використання екологічних заяв в рекламних матеріалах, засобах масової інформації, а також безпосередньо на продукції або її упаковці, в супроводжуючій документації, що й складає поняття екологічне маркування.

Екологічне маркування – це комплекс відомостей екологічного характеру про продукцію, процесі або послугі у вигляді тексту, окремих графічних, кольорових символів (умовних позначень) та їхніх комбінацій, які наносять залежно від конкретних умов безпосередньо на виріб, упаковку, табличку, етикетку та супроводжувальну документацію. У світовій практиці екологічне маркування виступає як інструмент екологічної політики, орієнтований на розвиток ринку і спрямованого на заохочення розробки товарів з покращеними екологічними параметрами. Виробники використовують різні терміни для позначення того, що їхня продукція екологічно найпривабливіша: зелений, екологічно відповідальний, екологічно чистий тощо.

Метою введення екологічного маркування є: складання точних і придатних до перевірки екологічних заяв, які не вводять в оману; збільшення можливостей ринку стимулювати покращення екологічності виробництва, процесів і продукції; запобігання і зменшення до мінімуму невинуватених заяв; зменшення плутанини на ринку; забезпечення споживачів необхідною інформацією; зниження шкідливих впливів на довкілля, що пов'язано з виробництвом.

Кожний продукт впливає на навколишнє середовище, тому можна казати тільки про відносну перевагу одного продукту над іншим, оцінюючи його на різних стадіях життєвого циклу:

- під час транспортування сировини для виготовлення продукту та під час його транспортування до споживача (вихлопні гази);
- в процесі виробництва (викиди в атмосферу, скидання у водоймища, відходи);
- під час вживання та використання продукції (викиди під час використання лаків, фарб, споживання електроенергії), утилізації продукції і відходів.

Екологічне маркування знаком «екологічно чистий» здійснюється за розробленими та ідентифікованими екологічними критеріями для груп однорідної продукції акредитованими органами з екологічної сертифікації. Схеми екологічного маркування виключають товари, до складу яких входять речовини, котрі класифікуються як «небезпечні».

Світом мають ходження величезна кількість знаків, причому, кожного дня їхня кількість лише зростає, тому необхідна систематизація, коли екомаркування можна поділити на певні груп. До першої з них відносять інформацію про екологічність (нешкідливість для навколишнього середовища) предметів (товару, процесу або виробничої системи) в цілому або їхніх окремих властивостей. Наведемо приклади знаків, які набули найбільшу відомість і авторитет.



Глобальна мережа екологічного маркування - Global Ecolabelling Network (**GEN**) – неприбуткова асоціація незалежних організацій з впровадження еколо-

гічного маркування, до її складу входять 25 еко-організації всього світу. Вона займається маркуванням переважно нехарчової продукції, на відміну від Міжнародної федерації органічного землеробства (International Federation of Organic Agricultural Movements, IFOAM). Нижче наведені деякі еко-знаки країн.

				
Австралія	Нова Зеландія	Китай	Республіка Корея	Японія
				
Канада	Бразилія	Чехія	Ізраїль	Гонконг

Деякі види еко-маркування не поширюються на харчові продукти, напої, лікарські препарати і не повинні наноситися на

речовини і матеріали, визнані небезпечними відповідно до законодавства ЄС, а також на виробі, в процесі виробництва яких міг здійснюватись шкідливий вплив на людей та навколишнє середовище.



Знак «**Зелена печатка (Green Seal)**» - екологічний знак незалежної американської некомерційної організації. «**Квітка ЄС**» «Еколейбл» («The Euro Flower Label-EU ecolabel») екологічне маркування країн-членів ЄС, діє з 1992 р.



На сьогодні в ЄС спостерігається позитивна динаміка застосування екомаркування, кількість підприємств, що отримали ліцензію на використання знаку екомаркування ЄС зросло з 6 у 1996 р. до 1152 в 2012 р. Водночас в країнах ЄС діють національні системи екомаркування. Екологічні знаки України - «**Зелений журавель**» - національний знак «**Екологічно чисто й безпечно**», «**Екологічно та безпечно**», «**Екологічна продукція**». Зображення зеленого журавлика та напис «Екологічно чисто та безпечно», окрім належних якісних характеристик маркованої продукції, свідчить про відповідність до критеріїв екологічності протягом всього життєвого циклу продукції: від заготівлі сировини до утилізації, а також дійсно гарантує споживачеві екологічну якість. «**Листок життя**» - знак російської програми екомаркування. Розроблено й впроваджений НП «Санкт-петербурзький екологічний союз».





На підставі рішення Координаційної Ради органу з екологічного маркування, ухваленого 7 квітня 2011 року з 01.07.2011 р. змінюється формулювання надпису навколо логотипу знаку екологічного маркування. В оновленій версії обрис знаку «Екологічно чисто та безпечно» замінений на «Екологічний сертифікат», що чітко вказує на те, що цей знак є знаком відповідності встановленим екологічним стандартам.

Під знаком розташовується код екологічного стандарту на відповідність якому пройшла сертифікацію маркована ним продукція. Також, товаровиробникам рекомендовано розташовувати під кодом екологічного стандарту посилання на сайт програми екологічного маркування в Україні.

Право маркуватися знаком екологічного маркування отримає виключно продукція, яка пройшла екологічну сертифікацію і відповідає вимогам міжнародних екологічних стандартів які є значно вимогливіші ніж законодавчо встановлені норми.

Знак екологічного маркування свідчить про гарантовану найвищу якість та безпечність маркованої продукції відносно її впливів на стан довкілля та здоров'я людини.

Екологічна сертифікація проводиться органом з екологічного маркування Всеукраїнської громадської організації «Жива планета» - єдиним в Україні органом з оцінки відповідності продуктів, виробів, товарів та послуг, визнаний світовою спільнотою, який має багаторічний досвід у сфері екологічної сертифікації, компетентність якого підтверджена Національним агентством з акредитації України та Системою міжнародної сертифікації.

Знак **«Північний (Білий) лебідь»** - найбільш успішної програми екомаркування, що діє в країнах Скандинавії (Данія, Ісландія, Фінляндія, Норвегія, Швеція). сьогодні цим знаком відзначені більше 1000 видів товарів не тільки шведського виробництва, а й інших країн.



З 1999 р. це маркування дає гарантію, що товар або послуга задовольняє надзвичайно високим екологічним стандартам, які враховують життєвий цикл, негативні впливи, якість, дотримання екологічних нормативів.

Екологічні критерії регулярно переглядаються, для того щоб гарантувати, що маркований товар або послуга задовольняє

промисловим стандартам. Використання цих знаків дозволено виробникам, продукція яких відповідає критеріям, що встановлюються координаційною радою з використання знака.



Bra Miljöval

Шведське товариство охорони природи - The Swedish Society For Nature Conservation (**SSNC**) та **TCO** - знак міжнародної програми маркування електротехнічного устаткування.



TCO – група стандартів добровільної сертифікації на ергономічність і безпеку електронного обладнання, які розроблені комітетом TCO Development (Швеція) - Шведською Конфедерацією Професійних Працівників, Шведським Товариством Охорони Природи та Шведським Державним Департаментом Електроенергії. Даний стандарт охоплює широкий діапазон питань: навколишнє середовище, ергономіка, зручність використання, випромінювання електромагнітних полів, споживання електроенергії, електрична та пожежна безпека.



Через те, що електротехнічне обладнання робить істотний внесок у кількість викинутих парникових газів в атмосферу планети, порівнюваний по кількості з викидом всією авіацією миру, таким знаком маркують більш енергоефективну техніку, що використовується в офісах і будинках.



Знак «**Блакитний ангел**». Одна з найстарших програм екологічного маркування, що переступила 30 літній рубіж. Цей знак з'явився в 1977 році, а вже в 1978 році його нанесли на продукцію. «Блакитний ангел» - знак державного маркування Німеччини.

Офіційна назва системи «Екологічна марка», але через схожість її знаку на блакитного ангела сама система також отримала неофіційну, але загальноприйнятну назву. За системами екологічного маркування працюють десятки країн світу. Величезна кількість товарів підлягає екомаркуванню, але у країнах ЄС останнє не розповсюджується на харчові продукти, напої та лікарняні засоби.



«**KRAV**» - шведський знак екологічної відповідності харчових продуктів. Він означає, що товари вирощено без застосування пестицидів і хімічних добрив. Іноді його можна зустріти на продуктах, зроблених не у Швеції (кава, чай, фрукти). Видається (Kontrollföreningen för Ekologisk Odling) - шведським товариством контролю сільгосппродукції.

Приклади знаків, що використовуються в існуючих системах сертифікації та інших системах схвалення (рекомендацій) за екологічними вимогами, що зустрічаються на території Росії:



Екологічний знак обов'язкової сертифікації за екологічними вимогами (ліворуч) і знак відповідності Системи МЕФ (праворуч).



Приклади інших екологічних знаків наведені нижче.



Серед них знаки на аерозольних засобах, які відображають відсутність речовин, котрі приводять до руйнування озонового шару навколо Землі, знаки на продуктах споживання про можливість утилізації тощо.

Знаки, що не мають регіональної або національної приналежності, а вказують на можливість вторинної переробки (іноді в рамках спеціальних програм) і складають другу групу еко-знаків.



Знак **«Der Grüne Punkt»** - «Зелена крапка» має німецьке походження. Стрілочки, що уходять одна в іншу, інформують наводять на думку про те, що продукт створений з переробленого матеріалу або підлягає вторинній переробці. Але, це не так. У Німеччині існує програма з переробки відходів і їхньої утилізації **«Eco Emballage»** -

«Екологічне Упакування», і ті компанії, які фінансують цю програму – ставлять на свою продукцію цей знак. Її використання регламентується так званою **«Дуальною системою»**, впровадженій більш ніж у 10 країнах ЄС. Але, що нам хочуть сказати виробники вітчизняних товарів нанесенням цього знака на свою продукцію – залишається загадкою. Знак можна зустріти в чорно-білому, зелено-білому й зеленому варіантах.

За необхідності для ідентифікації матеріалу та полегшення сортування на упаковку наносять цифрові або літерні позначення, розташовані у центрі знаку або нижче, які дозволяють встановити тип матеріалу. Пластмаси позначаються числами 1-19, папір і картон 20-39, метали 40-49, деревина 50-59, текстиль 60-69, скло 70-79. В свою чергу, для пластмас розроблено знак **«Пластик, що переробляється»**, яким маркують вироби із:

1) PETE - поліетилентерфталат (ПЕТ/ ПЕТФ); 2) HDPE - поліетилен високої густини / поліетилен високого тиску (російською ПВД);



3) PVC - полівінілхлорид (ПВХ);

4) LDPE - поліетилен низької густини/поліетил ен

низького тиску (російською ПНД); 5) PP - поліпропілен (ПП); 6) PS - полістирол (ПС); 7) Other - інші види пластику.

Інформація щодо підтримки і пропаганди природоохоронних дій, до яких відносяться заклики берегти природу, допомагати природоохоронним організаціям відображається в наступних знаках.

«Reused-paper»



перероблений папір, проводиться маркування контейнерів, призначених для збору папіру для подальшої переробки. **«Recycled»** - знак вторинної переробки у вигляді замкнених у трикутник



стрілок, які символізують замкнений цикл (виробництво-споживання-утилізація). Спочатку цей знак був покликаний указувати на вторинність переробки товару. Також рекомендується давати споживачеві відомості про те, на скільки відсотків товар складається з переробленого матеріалу. На практиці контролем використання цього знака ніхто не займається, тому його може використовувати хто завгодно.

До третьої групи екологічних марок можна віднести соціальну рекламу, що закликає викидати сміття тільки в зазначені для цього місця, зберігати флору та фауну.



Цей знак закликає не забруднювати навколишнє середовище, а викидати упакування в урну. під ним іноді можуть зустрічатися напису типу: «Спасибі» або «Тримай свою країну в чистоті».



Спеціальний знак позначає речовини, що є небезпечними для морської фауни та флори під час перевезення водними шляхами.



Знак **«Dangerous For The Environment»** (небезпечно для навколишнього середовища). Він ставиться на упаковках речовин, які представляють високий рівень небезпеки саме для навколишнього середовища, тому на упаковках побутових товарів практично не ставиться.

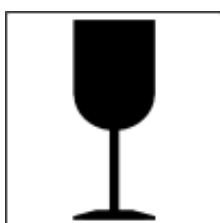
Знаки четвертої групи попереджають про небезпеку тих або інших предметів.



Цей знак позначає виріб, виготовлений з нетоксичного матеріалу і може торкатися харчових продуктів. Застосовується на пластиковому (одноразовому) посуді, кухонній техніці, іноді на упаковці харчових продуктів.

12.6. Маніпуляційні знаки

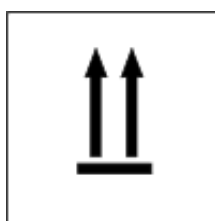
Далі показана низка знаків, які несуть певний сенс при позначенні. Їх відносять до маніпуляційних знаків, які вказують на способи поводження з вантажом. Це стосується вантажних робіт, безпосереднього транспортування і зберігання, при цьому на тару наноситься спеціальне маркування, що вказує на специфічні властивості товару і способи поводження з ним. Зображення, найменування, призначення, розміри, правила поводження маніпуляційних знаків на тарі регламентується нормативними документами. Загальні правила маркування вантажів приведені в ГОСТ 14192-96 «Маркировка грузов». Маркування небезпечних вантажів (знаки безпеки) має відповідати ГОСТ 19433-88.



Крихке



Зберігати від
вологи



Верх



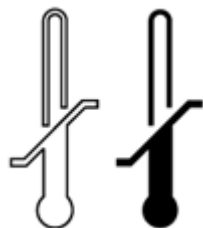
Зберігати від
випроміню-
вання



Тропічна
упаковка



Зберігати від
нагріву



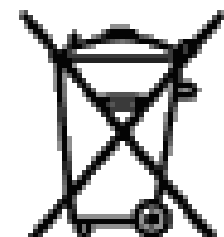
Обмеження
температури
(поруч
вказується
значення)



Вогнебез-
печно



Кислота



Не викидати
(здавати в
спеціальний
пункт на
утилізацію)

В промислово розвинутих країнах випущені спеціальні керівництва щодо застосування екологічних заяв в маркетингу, де докладно з прикладами надані вказівки про те, що допускається та

що не припустимо в практиці екомаркування. Цей досвід варто враховувати в країнах, де відсутні спеціальні системні вимоги до екомаркування в цілому.

Деякі ведучі виробники споживчих товарів виступають проти процедур отримання права на екомаркування в формі знаків відповідності (схвалення), мотивуючи це перешкодами при оновленні продукції і мають тенденцію до переходу від добровільних форм до добровільно-примусових, наводячи приклад Скандинавських країн, де стурбованість населення проблемами охорони довкілля практично унеможлиблює спроби продати товар без екологічного знаку. Останній факт частково пояснює переважну більшість екологічних знаків, розглянутих вище, саме скандинавського регіону.

Застосування екологічного маркування дозволяє підвищити конкурентоспроможність вітчизняних товарів на міжнародному та внутрішньому ринках. В той же час однією з основних і найбільш дискусійних проблем є проблема їхньої актуальності, достовірності, ефективності застосування, а також коректного визначення критеріїв оцінки екологічності товарів. Над вирішенням цих проблем мають продовжувати активно працювати всі сторони процесу товарообігу, тобто законодавці, виробники та споживачі.






Окремою групою існують різні знаки, що характеризують зміст деяких компонентів в продовольчих товарах, до яких відносяться індекси Європейської комісії з харчових добавок (Е). Конкретні найменування кодуються тризначним номером. Безпека харчових добавок систематично розглядається Об'єднаним комітетом експертів FAO/WHO (FAO – спеціалізована установа ООН з питань продовольства та сільського господарства, WHO – всесвітня організація з охорони здоров'я). Можливий рівень харчових добавок встановлює та вносить до своїх переліків комісія «Кодекс аліментаріус». В рамках ЄС діє аналогічна комісія.

Знаки безпеки праці поділяються на різні групи, кожна з яких налічує десятки різних знаків, які виконані в певному стилі та сигнальній кольоровій гамі. Ці знаки попереджують людей про можливу небезпеку та наказують виконання певних дій у разі виникнення небезпечної ситуації. Як приклади нижче наведено деякі з вказаних знаків: заборонні, попереджувальні, евакуаційні, пожежної безпеки, наказувальні, деякі допоміжні. Існують також комбіновані знаки, що містять одночасно основний знак і допоміжний з надписом, який пояснює. Більш докладно про це йдеться в стандартах, довідниках, спеціалізованій літературі.






Заборонні, які призначені для заборони певних дій у визначених місцях або приміщеннях (заборона користуватись відкритим вогнем, курити, входити чи проходити, гасити водою тощо).

				
Не захащувати	Заборонено відкрите полум'я	Заборонено курити	Заборонено гасити водою	Знак заборони з пояснюючим написом






Попереджувальні, які призначені для попередження працівників про можливу небезпеку (електричний струм, легкозаймисту чи отруйну речовину, лазерне випромінювання тощо).

				
Пожежонебез печно. Окисники	Пожежонебез печно. Легкозаймисті матеріали	Обережно! Електрична напруга	Радіоактивні речовини	Біологічна небезпека

Евакуаційні знаки з визначенням шляхів евакуації.

				
Евакуаційний вихід	Зсунути, щоб відкрити	Штовхнути, щоб відчинити	Потягнути, щоб відчинити	Розбити, щоб отримати доступ

Знаки для пожежної безпеки, які вказують на обладнання для пожежогасіння, засоби оповіщення про пожежу і засоби ручного керування - вказівні, які призначені для інформування про місце знаходження відповідних об'єктів та засобів (пункту медичної допомоги, пожежної охорони, вогнегасника, пожежного крану, пункту сповіщення про пожежу тощо), напрями виходу.

				
Вогнегасник	Пожежний кран-комплект	Пожежна драбина	Телефон, що використовують у разі НС	Звуковий сповіщувач

Знаки, що наказують на виконання певних дій або дотримання правил роботи.

				
Працювати в Захисних рукавичках	Вимкнути штепсельну вилку	Працювати в захисному одязі	Працювати в захисному взутті	Прохід тут

Окремі групи складають вказівні знаки, знаки медичного та санітарного призначення, таблички з електробезпеки, допоміжні таблички безпеки, знаки для будівельних майданчиків.

Основною задачею вказаних знаків є привернути увагу людей до небезпечної або потенційно небезпечної ситуації. В першу чергу, це необхідно на промислових об'єктах і громадських місцях. Знаки повинні розміщуватися на території організації, в приміщеннях, будівлях і спорудах, на будівельних майданчиках; безпосередньо на робочих місцях і ділянках виробництва; на обладнанні, машинах, механізмах, салонах транспортних засобів; на шляхах евакуації, на вхідних воротах і дверях приміщень. Знаки мають знаходитися в полі зору людей, бути гарно помітними, в той же час, не відволікати увагу та не створювати незручностей під час виконання людьми своїх професійних обов'язків.

Виконання вимог охорони праці на промислових і транспортних виробництвах неможливо без розміщення знаків пожежної і промислової безпеки, інформаційних плакатів, евакуаційних і попереджувальних знаків.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Визначення поняття «метрологія»?
2. Назвіть основні напрямки метрології.
3. Які закони регулюють питання метрології в Україні?
4. Основні визначення згідно Закону України «Про метрологію»?
5. Яка процедура внесення засобу вимірювальної техніки до Державного реєстру затверджених типів засобів вимірювальної техніки?
6. Структура та керівництво метрологічної служби ДСНС України.
7. Назвіть основні завдання метрологічної служби ДСНС України.
8. Назвіть основні функції метрологічної служби ДСНС України.
9. Дайте визначення фізичної величини.
10. Як класифікуються фізичні величини?
11. Чим відрізняються дійсні та істинні значення?
12. Які існують системи фізичних величин?
13. В чому достоїнства та переваги Міжнародної системи одиниць?
14. Дайте визначення основних, похідних, несистемних фізичних величин.
15. Які існують і на яких принципах будуються шкали вимірювань?
16. Що таке вимірювання фізичної величини?
17. Які основні етапи вимірювання?
18. Наведіть класифікацію вимірювань.
19. Які існують умови вимірювання?
20. Що таке засіб вимірювання, які функції він реалізує?
21. Яким чином класифікуються засоби вимірювання?
22. Сутність метрологічного забезпечення безпеки праці.
23. Структура та основні елементи метрологічного забезпечення безпеки праці.
24. Назвіть мету та основні напрями удосконалення метрологічного забезпечення безпеки праці.
25. Які основні вимоги висуваються до засобів контролю параметрів небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища?
26. Дайте визначення елементів шкали засобу вимірювання.
27. Які існують метрологічні характеристики засобу вимірювання?
28. Що таке клас точності?
29. Які існують похибки вимірювання, їхня класифікація?
30. Як оцінюються похибки при одноразових і багаторазових вимірюваннях?
31. Як оцінюються похибки при непрямих вимірюваннях?

32. Як виключаються надмірні похибки при вимірювання?
33. Назвіть основні методи та засоби контролю параметрів фізичних небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.
34. Назвіть основні методи та засоби контролю параметрів хімічних небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.
35. Назвіть основні методи та засоби контролю параметрів біологічних та психофізіологічних небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.
36. В чому полягає важливість нормального розподілу при статистичній обробці результатів вимірювання?
37. Назвіть правила округлення результатів вимірювання.
38. За якими типами розраховують стандартну невизначеність?
39. В чому полягає відмінності понять похибка та невизначеність вимірювання?
40. Сутність методу порівняльної оцінювання за шкалою Т.Сааті.
41. Назвіть принцип побудови матриць попарних порівнянь показників метрологічної діяльності.
42. Назвіть критерії за якими можливо оцінювати ефективність метрологічної діяльності підрозділів ДСНС України.
43. В чому полягає різниця між методом та методикою контролю показників якості навколишнього середовища?
44. Назвіть основні методи визначення показників якості навколишнього середовища.
45. Дайте характеристику сучасній організаційній структурі співробітництва у галузі моніторингу навколишнього середовища.
46. Що таке глобальна навігаційна система?
47. З яких основних сегментів складається глобальна навігаційна система?
48. Які фізичні принципи лежать в основі функціонування глобальної навігаційної системи?
49. Які фактори впливають на точність глобальної навігаційної системи?
50. Що таке стандарт?
51. Як організована стандартизація в Україні?
52. На що спрямована державна система стандартизації?
53. Назвіть основні принципи стандартизації.
54. Назвіть методи стандартизації.
55. Які існують нормативні документи із стандартизації?

56. Що таке сертифікація?
57. На досягнення яких цілей спрямована сертифікація?
58. Що становить систему сертифікації?
59. Що таке національний знак відповідності?
60. Що таке знак відповідності організацій та асоціацій?
61. Що таке екологічні знаки, екологічне маркування?
62. На які групи поділяються екологічні марки?
63. Що таке маніпуляційні знаки? Наведіть їхню класифікацію.
64. Поняття про оцінку відповідності. Місце сертифікації у оцінці відповідності
65. Поняття про технічне регулювання. Види документів, що використовуються при цьому
66. Мета прийняття та зміст технічних регламентів.
67. Декларування про відповідність. Зміст та вимоги до декларації про відповідність.