**Лекція 3.**

**Точність результатів вимірювань. Методи оцінки точності засобів вимірювань.**

**План лекції:**

1. Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки - вибір ЗВ

2. Класифікація похибок

3. Підсумовування похибок.

4. Невизначеність вимірювання.

**1. Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки - вибір ЗВ**

Метрологічні характеристики - це характеристики засобів вимірювань, що визначають можливість практичного отримання результатів вимірювань (їх величини та похибки).

Якісною характеристикою вимірюваної величини є її розмірність (вольт, ампер, кілограм і т.д.), а кількісною її величина (міліграм, кілотонна, нано ампер) відповідно засіб вимірювання має певний пристрій і відповідні характеристики [2].

Номенклатура метрологічних характеристик включає: функцію перетворення вимірювального перетворювача, значення однозначної або багатозначної міри, ціну поділу шкали або багатозначної міри, вид вихідного коду, розрядність засобу вимірювання, характеристики похибок (систематична і випадкова частина, їх величини і розкид), характеристики чутливості, динамічні показники засобів вимірювання (імпульсні перехідні, амплітудно-фазові, амплітудно-частотні та інші) [1].

На практиці метрологічні характеристики використовуються для підбору та правильного використання відповідного засобу вимірювання. Простим прикладом може бути вольметр із розтягнутою шкалою: він дає меншу похибку у певному діапазоні вимірювань. Таким чином, розмірність, величина і характеристики зміни фізичної величини в часі, так само як і необхідна величина похибки становлять необхідні в даному випадку метрологічні характеристики.

Застосування засобу виміру з відповідними метрологічними характеристиками дозволяє мінімізувати витрати розробки чи виготовлення вимірювального комплексу. Простим прикладом може бути панель приладів автомобіля: її стрілочні прилади показують зазвичай знаходження показників автомобіля в одному з трьох діапазонів: менше норми, в нормі, і більше. В даному випадку надмірна точність засобу виміру не потрібна.

При розробці методики вимірів слід вибрати СІ, що гарантує необхідну точність вимірів. Однак, як випливає з попереднього розділу, особливість всіх перелічених груп похибок, крім першої, полягає в тому, що вони пов'язані не лише з властивостями СІ, але й з умовами вимірів. Тому в процесі розробки цієї методики слід оцінити інструментальну складову похибки вимірів у заданих умовах вимірів. У зв'язку з цим при розробці будь-якого СІ нормують і вказують в експлуатаційній документації технічні характеристики особливого виду, які називаються метрологічними характеристиками (властивості СІ, що впливають на похибку вимірювань, називаються метрологічними властивостями, а характеристики цих властивостей — метрологічними характеристиками СІ). Номенклатура метрологічних характеристик СІ та способи їхнього нормування встановлені в стандарті. Методологія нормування, встановлена цим стандартом, виходить із такого.

Нормовані метрологічні характеристики необхідні вирішення двох основних завдань:

• контролю кожного екземпляра СІ на відповідність встановленим нормам,

• визначення результатів вимірювань та апріорного оцінювання інструментальної похибки вимірювання.

При цьому слід мати на увазі, що метрологічні властивості кожного конкретного екземпляра СІ в певний момент постійні, але за сукупністю СІ даного типу вони змінюються випадковим чином. Це відбувається внаслідок розсіювання технологічних параметрів при виготовленні СІ, відмінності умов експлуатації, що призводить до випадкового характеру процесів зношування та старіння його елементів, випадкової похибки вимірювань при періодичних калібруваннях СІ та інших аналогічних причин. Тому теоретично можливі нормовані метрологічні характеристики двох видів. До характеристик першого виду, що майже виключно застосовується на практиці, відносяться межі значень метрологічних характеристик СІ даного типу, що допускаються. Їх використовують як із контролі придатності кожного екземпляра СІ, так оцінки максимально можливої інструментальної похибки виміру. До характеристик другого виду, що застосовуються вкрай рідко, належать математичне очікування та СКО значень метрологічної характеристики, обчислені за сукупністю СІ даного типу, придатні для оцінювання інструментальної похибки вимірювань методом статистичного підсумовування.

Так, характеристиками систематичної складової основної похибки ∆хс є або межі її значень, що допускаються ±∆ С, або ці межі і математичне очікування тс і СКО σ с, причому другий спосіб нормування допускається використовувати, якщо можна знехтувати змінами цих характеристик при тривалій експлуатації і в різних умовах вимірів. В інших випадках нормують лише ±∆ С. Для багатьох СІ, у яких розрізняють кілька систематичних складових основної похибки, замість ±∆ С можна нормувати межі значень цих складових ±∆ Сi, що допускаються. При цьому має виконуватися умова

**2. Класифікація похибок**

Ефективність використання вимірювальної інформації залежить від точності вимірювань - властивості, що відображає близькість результатів вимірювань до дійсних значень вимірюваних величин. Точність вимірювань може бути більшою або меншою, залежно від виділених ресурсів (витрат на засоби вимірювання, проведення вимірювань, стабілізацію зовнішніх умов тощо). Очевидно, що вона має бути оптимальною: достатньою для виконання поставленого завдання, але не більше, бо подальше підвищення точності призведе до невиправданих фінансових витрат. Тому поруч із точністю нерідко використовують поняття достовірність результатів вимірів, під якою розуміють те, що результати вимірів мають точність, достатню на вирішення поставленої завдання (похибка вимірів).

Класичний підхід до оцінювання точності вимірювань, вперше застосований великим математиком Карлом Гауссом і потім розвинений багатьма поколіннями математиків та метрологів, може бути представлений у вигляді наступної послідовності тверджень.

1. Метою вимірювання є знаходження справжнього значення величини — значення, яке ідеальним чином характеризувало б у якісному та кількісному відношенні вимірювану величину. Проте справжнє значення величини знайти у принципі неможливо. Але не тому, що воно не існує — будь-яка фізична величина, притаманна конкретному об'єкту матеріального світу, має певний розмір, ставлення якого до одиниці є справжнім значенням цієї величини. Це означає лише непізнаваність істинного значення величини, що в гносеологічному сенсі є аналогом абсолютної істини. Хорошим прикладом, що підтверджує це, є фундаментальні фізичні константи (ФФК).

Вони вимірюються найбільш авторитетними науковими лабораторіями світу з найвищою точністю, а потім результати, отримані різними лабораторіями, узгоджуються між собою. При цьому узгоджені значення ФФК встановлюють з такою кількістю цифр, щоб при наступному уточненні зміна відбулася в останній цифрі. Таким чином, справжні значення ФФК невідомі, але кожне наступне уточнення наближає значення цієї константи, прийняте світовим співтовариством, до її справжнього значення.

I la практиці замість істинного значення використовують дійсне значення величини - значення величини, отримане експериментальним шляхом і настільки близьке до справжнього значення, що у поставленій вимірювальній задачі може бути використане замість нього.

2. Відхилення результату виміру X від справжнього значення Хі (дійсного значення Хд) величини називається похибкою вимірів

Внаслідок недосконалості застосовуваних методів та засобів вимірювань, нестабільності умов вимірювань та інших причин результат кожного виміру обтяжений похибкою. Але оскільки Хі і Хд невідомі, похибка ΔX також залишається невідомою. Вона є випадковою величиною і у кращому разі може бути лише оцінена за правилами математичної статистики. Це має бути зроблено обов'язково, оскільки результат виміру без зазначення оцінки його похибки немає практичної цінності.

3. Використовуючи різні процедури оцінювання, знаходять інтервальну оцінку похибки ΔX, у вигляді якої найчастіше виступають довірчі межі — ,+ похибки вимірювань при заданій ймовірності Р. Під ними розуміють верхню та нижню межі інтервалу, в якому із заданою ймовірністю Р знаходиться похибка вимірювань ΔX .

4. З попереднього факту випливає, що

істинне значення вимірюваної величини знаходиться з ймовірністю Р в інтервалі [X-; Х+]. Межі цього інтервалу називаються довірчими межами результату вимірів.

Таким чином, в результаті виміру знаходять не справжнє (або дійсне) значення вимірюваної величини, а оцінку цього значення у вигляді меж інтервалу, в якому воно знаходиться із заданою ймовірністю.

Похибки вимірів можуть бути класифіковані за різними ознаками.

1. ***За способом висловлювання їх поділяють на абсолютні та відносні похибки вимірів.***

Так, похибка X є абсолютною похибкою. Недоліком такого способу вираження цих величин є те, що їх не можна використовувати для порівняльного оцінювання точності різних вимірювальних технологій. Дійсно ΔX = 0,05 мм за Х = 100 мм відповідає досить високій точності вимірювань, а за Х=1 мм — низькою. Цього недоліку позбавлене поняття «відносна похибка», що визначається виразом

Таким чином, відносна похибка виміру - відношення абсолютної похибки виміру до справжнього значення вимірюваної величини або результату вимірів.

Для характеристики точності СІ часто застосовують поняття «наведена похибка», що визначається формулою

де Хн - значення вимірюваної величини умовно прийняте за нормуюче значення діапазону СІ. Найчастіше як Хн - приймають різницю між верхньою та нижньою межами цього діапазону.

Таким чином, наведена похибка засобу виміру - відношення абсолютної похибки засобу виміру в даній точці діапазону СІ до значення цього діапазону.

***2. За джерелом виникнення похибки вимірів ділять на інструментальні, методичні та суб'єктивні.***

Інструментальна похибка вимірювання - складова похибки вимірювання, обумовлена недосконалістю застосовуваного СІ: відмінністю реальної функції перетворення приладу від його калібрувальної залежності, непереборними шумами у вимірювальному ланцюзі, запізненням вимірювального сигналу при його проходженні в СІ, внутрішнім опором СІ і ін. (похибка вимірювань при застосуванні СІ в нормальних умовах) і додаткову (складова похибки вимірювань, що виникає внаслідок відхилення будь-якої з величин, що впливають від її номінального значення або її виходу за межі нормальної області значень). Метод їх оцінювання буде розглянуто нижче.

Методична похибка вимірів — складова похибки вимірів, обумовлена недосконалістю методу вимірів. До неї відносять похибки, зумовлені відмінністю прийнятої моделі об'єкта виміру від реального об'єкта, недосконалістю способу втілення принципу вимірів, неточністю формул, що застосовуються при знаходженні результату вимірів та іншими факторами, не пов'язаними з властивостями СІ. Прикладами методичних похибок вимірів є:

• похибки виготовлення циліндричного тіла (на відміну від ідеального кола) при вимірі його діаметра;

• недосконалість визначення діаметра круглого тіла як середнього із значень діаметра у двох його заздалегідь обраних перпендикулярних площинах;

• похибка вимірювань внаслідок шматково-лінійної апроксимації нелінійної калібрувальної залежності СІ при обчисленні результату вимірювань;

• похибка статичного непрямого методу вимірювання маси нафтопродукту в резервуарі внаслідок нерівномірності щільності нафтопродукту за висотою резервуару.

Суб'єктивна (особиста) похибка вимірювання — складова похибка вимірювання, обумовлена індивідуальними особливостями оператора, тобто похибка відліку оператором показань за шкалами СІ. Вони викликаються станом оператора, недосконалістю органів чуття, ергономічними властивостями СІ. p align="justify"> Характеристики суб'єктивної похибки вимірювань визначають з урахуванням здатності «середнього оператора» до інтерполяції в межах ціни поділу шкали вимірювального приладу. Найвідоміша і найпростіша оцінка цієї похибки — її максимальне можливе значення у вигляді половини ціни розподілу шкали.

***3. За характером прояви поділяють систематичні, випадкові та грубі похибки.***

Грубою похибкою вимірювань (промахом) називають похибку вимірювання, що істотно перевищує очікувану за цих умов похибку. Вони виникають, як правило, через помилки або неправильні дії оператора (невірний відлік, помилка в записах або обчисленнях, неправильне включення СІ та ін.). Можливою причиною промаху можуть бути збої роботи технічних засобів, а також короткочасні різкі зміни умов вимірювань. Природно, що грубі похибки мають бути виявлені та виключені з низки вимірювань.

Більш змістовно розподіл на систематичні та випадкові похибки.

***2. За джерелом виникнення похибки вимірів ділять на інструментальні, методичні та суб'єктивні.***

Інструментальна похибка вимірювання - складова похибки вимірювання, обумовлена недосконалістю застосовуваного СІ: відмінністю реальної функції перетворення приладу від його калібрувальної залежності, непереборними шумами у вимірювальному ланцюзі, запізненням вимірювального сигналу при його проходженні в СІ, внутрішнім опором СІ і ін. (похибка вимірювань при застосуванні СІ в нормальних умовах) і додаткову (складова похибки вимірювань, що виникає внаслідок відхилення будь-якої з величин, що впливають від її номінального значення або її виходу за межі нормальної області значень). Метод їх оцінювання буде розглянуто нижче.

Методична похибка вимірів — складова похибки вимірів, обумовлена недосконалістю методу вимірів. До неї відносять похибки, зумовлені відмінністю прийнятої моделі об'єкта виміру від реального об'єкта, недосконалістю способу втілення принципу вимірів, неточністю формул, що застосовуються при знаходженні результату вимірів та іншими факторами, не пов'язаними з властивостями СІ. Прикладами методичних похибок вимірів є:

• похибки виготовлення циліндричного тіла (на відміну від ідеального кола) при вимірі його діаметра;

• недосконалість визначення діаметра круглого тіла як середнього із значень діаметра у двох його заздалегідь обраних перпендикулярних площинах;

• похибка вимірювань внаслідок шматково-лінійної апроксимації нелінійної калібрувальної залежності СІ при обчисленні результату вимірювань;

• похибка статичного непрямого методу вимірювання маси нафтопродукту в резервуарі внаслідок нерівномірності щільності нафтопродукту за висотою резервуару.

Суб'єктивна (особиста) похибка вимірювання — складова похибка вимірювання, обумовлена індивідуальними особливостями оператора, тобто похибка відліку оператором показань за шкалами СІ. Вони викликаються станом оператора, недосконалістю органів чуття, ергономічними властивостями СІ. p align="justify"> Характеристики суб'єктивної похибки вимірювань визначають з урахуванням здатності «середнього оператора» до інтерполяції в межах ціни поділу шкали вимірювального приладу. Найвідоміша і найпростіша оцінка цієї похибки — її максимальне можливе значення у вигляді половини ціни розподілу шкали.

**3. За характером прояви поділяють систематичні, випадкові та грубі похибки.**

Грубою похибкою вимірювань (промахом) називають похибку вимірювання, що істотно перевищує очікувану за цих умов похибку. Вони виникають, як правило, через помилки або неправильні дії оператора (невірний відлік, помилка в записах або обчисленнях, неправильне включення СІ та ін.). Можливою причиною промаху можуть бути збої роботи технічних засобів, а також короткочасні різкі зміни умов вимірювань. Природно, що грубі похибки мають бути виявлені та виключені з низки вимірювань.

Більш змістовно розподіл на систематичні та випадкові похибки.

Систематична похибка вимірювання - складова похибки вимірювання, що залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Систематичні похибки підлягають виключенню наскільки це можливо, тим чи іншим способом. Найбільш відомий із них — запровадження поправок на відомі систематично похибки. Проте повністю виключити систематичну похибку практично неможливо, і якась її невелика частина залишається й у виправленому (запровадженням поправок) результаті вимірів. Ці залишки називаються невиключеною систематичною похибкою (НСП). НСП - похибка вимірювань, обумовлена похибками обчислення та введення поправок або систематичною похибкою, на дію якої поправка не введена.

Наприклад, з метою виключення систематичної похибки, вимірювання, обумовленої нестабільністю функції nперетворення аналітичного приладу, періодично проводять його калібрування за еталонними заходами (повірочними газовими сумішами або стандартними зразками). Однак, незважаючи на це, в момент вимірювання все одно буде деяке відхилення дійсної функції перетворення приладу від калібрувальної залежності, обумовлене похибкою калібрування та дрейфом функції перетворення приладу за час після калібрування. Похибка виміру, обумовлена цим відхиленням, є НСП.

Випадковою похибкою виміру називається складова похибки виміру, що змінюється випадковим чином (за знаком і значенням) при повторних вимірах однієї і тієї ж шпчини. Причини випадкових похибок різноманітні: шуми вимірювального приладу, варіація його показань, випадкові коливання параметрів електричної мережі та умов вимірювань, похибки заокруглення відліків та багато інших. У появі таких похибок немає будь-якої закономірності, вони виявляються при повторних вимірах однієї й тієї ж величини як розкиду результатів вимірів. Тому оцінювання випадкових похибок вимірювань можливе лише на основі математичної статистики (ця математична дисципліна народилася як наука про методи обробки рядів вимірювань, обтяжених випадковими похибками).

На відміну від систематичних, випадкові похибки не можна виключити з результатів вимірювань шляхом запровадження поправок, проте їх вплив можна суттєво зменшити проведенням багаторазових вимірів.

**3. Підсумовування похибок**

Підсумовувати похибки необхідно при:

• аналіз та синтез СІТ;

• оцінки похибок непрямих вимірів;

• оцінка похибок складних вимірювальних пристроїв, коли відомі похибки окремих його блоків;

• визначення вимог до точності ЗВТ, якщо задана припустима похибка результату вимірів.

Завдання підсумовування похибок - одне з основних завдань як при проектуванні ЗВТ, так і при постановці та проведенні вимірів.

Під час підсумовування похибок необхідно враховувати наступне:

1. вид похибки (адитивна чи мультиплікативна);

2. числові характеристики законів розподілу приватних похибок, наприклад, середньоквадратичне відхилення, які можуть бути змінені при зміні вимірюваної величини;

3. окремі приватні похибки може бути корелированы між собою, тому приватні похибки треба характеризувати числовими оцінками у вигляді среднеквадратичного значення, а й коефіцієнтів кореляції;

4. при підсумовуванні випадкових величин закон розподілу їхньої суми може різко відрізнятися від законів розподілу доданків.

Алгоритм оцінки результативної похибки

За ступенем корелюваності похибки зазвичай поділяються на два види;

сильнокорельовані (г = 0,7 - 1,0);

слабокорельовані (г = 0 – 0,7).

Для оцінки результуючої похибки необхідно:

1. розділити приватні похибки на адитивні та мультиплікативні для їх подальшого роздільного підсумовування;

2. для кожної приватної складової похибки мають бути за вихідними даними знайдені оцінки її СКО;

3. повинні бути виділені групи сильно корелюваних між собою складових похибки;

4. усередині цих груп проведено алгебраїчне підсумовування СКО.

сумарні за групами і похибки, що залишилися поза групою, можна вважати вже некорельованими і складати за правилом геометричного підсумовування

**4. Методичні похибки вимірювань**

Методичні похибки можуть виникнути через недосконалість вибраного методу вимірювань, обмеженої точності емпіричних формул, що застосовуються для опису явища, покладеного в основу вимірювання, а також обмеженої точності фізичних констант, що використовуються в рівняннях. Сюди слід віднести і похибки, зумовлені невідповідністю прийнятої моделі вимірювань реальному об'єкту внаслідок прийнятих припущень чи спрощень. У деяких випадках вплив цих припущень на похибку вимірів виявляється незначним, в інших він може виявитися суттєвим. Прикладом похибки, обумовленої спрощенням методу вимірювань, є зневага масою повітря, витісненого, згідно із законом Архімеда, гирею при зважуванні на важелях. Під час проведення робочих вимірів нею, зазвичай, нехтують. Однак при точних вимірах з нею доводиться рахуватися, і вноситься відповідне виправлення. Іншим прикладом є вимірювання обсягів тіл, форма яких приймається (у моделі вимірювань) геометрично правильною шляхом вимірювання недостатнього числа лінійних розмірів. Так, суттєву методичну похибку матиме результат вимірювання об'єму приміщення шляхом виміру однієї довжини, однієї ширини та однієї висоти. Для більш точного вимірювання об'єму слід виміряти ці параметри по кожній стіні в декількох місцях.

Похибки методу притаманні всім тим методам вимірювань, які ґрунтуються на даних дослідах, які не мають суворого теоретичного обґрунтування. Приклад таких методів є різні методи вимірювання твердості металів. Один з них (метод Роквелла) визначає твердість по глибині занурення в випробуваний метал наконечника певної форми під дією певного імпульсу сили. В основу інших методів (Врінеля та Віккерса) покладена залежність між твердістю та розміром відбитка, залишеного наконечником у певних умовах впливу. Кожен із цих методів вимірює твердість у своїх шкалах, і переведення результату вимірювань з однієї шкали в іншу проводиться приблизно. Пояснюється це тим, що зазначені методи використовують різні явища, які, ймовірно, характеризують твердість.

Оцінки похибок формул та фізичних констант найчастіше відомі. Коли вони невідомі, похибки емпіричних формул переводять до випадкових, застосовуючи прийом рандомізації. З цією метою одну й ту саму величину вимірюють декількома методами та за отриманими експериментальними даними обчислюють її середньозважене значення.

Аналітичні виміри відрізняються від інших тим, що вони включають ряд попередніх операцій: відбір проби аналізованого об'єкта, її доставка до вимірювальної лабораторії, зберігання, підготовка проби до інструментальних операцій (очищення, висушування, переведення в інший фазовий стан і т. д.), приготування калібрувальних розчинів та інші. Ці операції при характеристиці точності методу вимірювань часто не враховують, вважаючи виміром лише його інструментальну частину. Легко довести хибність цього становища. Згадаймо, що похибка Вимірювання – це відхилення результату виміру від дійсного значення вимірюваної величини. Припустимо, що необхідно оцінити якусь величину, що відображає фізико-хімічну властивість об'єкта (наприклад, щільність продукту партії, вміст хімічного компонента у воді озера чи ґрунті населеного пункту). Справжнє значення цієї величини має характеризувати цей об'єкт, а чи не відібрану з нього пробу. Саме в цьому зацікавлений споживач вимірювальної інформації, і якщо відбулося спотворення результату виміру, то йому байдуже, на якому етапі це сталося. Отже, похибка аналітичного виміру має враховувати похибки підготовчих операцій.

Необхідність обліку цих операцій зумовлена і тим, що ризик внесення систематичних похибок у результати вимірів у цих операціях незрівнянно вищий, ніж інструментальних. Насправді систематична похибка виміру може виникати у цих операціях внаслідок впливу багатьох можливих джерел, зокрема:

• вилучена з об'єкта вимірювань проба може бути представницької (неадекватно представляти вимірювану величину),

• проба, що вимірюється, може змінитися за час, що минув після того, як був проведений пробовідбір,

• вплив неінформативних параметрів (заважають компонентів проби), I

• забруднення пробовідбірника та лабораторного посуду, що застосовується при приготуванні проби,

• неточний вимір параметрів довкілля,

• похибки вимірювань мас та обсягів,

• похибки приготування калібрувальних розчинів.

5. **Невизначеність вимірювання** (англ. measurement uncertainty) — параметр, що пов'язаний з результатом вимірювання та характеризує розсіяння значень, які обґрунтовано могли бути приписані вимірюваній величині .

Оскільки на практиці вимірюваній величині приписуються значення, отримані в результаті вимірювання (результати вимірювання), то вказаний параметр характеризує розсіяння результатів вимірювання.

Результат вимірювання величини завжди лише наближено дорівнює її значенню. Таким чином, значення величини точно невизначене. Звідси й термін — «невизначеність». Отже, говорячи про невизначеність вимірювання, ми підкреслюємо те, що результат вимірювання і значення фізичної величини — це різні речі, а також те, що нам невідомо, наскільки результат вимірювання фізичної величини близький до її значення.

Фактично в основу концепції «невизначеності вимірювання» неявно покладений постулат, що результат вимірювання — випадкова величина, адже розсіюватися, тобто набувати різних значень, можуть лише випадкові величини. Це підтверджується всією практикою вимірювань, яка свідчить, що вимірюючи одну і ту ж величину, можна отримати різні значення. З урахуванням зазначеного цілком логічним є аналіз результатів вимірювання в рамках теорії ймовірностей з використанням параметрів, що характеризують розсіяння, прийнятих в цій математичній теорії. Однак в концепції «невизначеності вимірювання» ці параметри отримали інші назви. Такими параметрами можуть бути стандартна невизначеність (сумарна стандартна невизначеність) або розширена невизначеність.

Аналогічно похибкам, невизначеності вимірів можуть бути класифіковані за різними ознаками.

За способом висловлювання їх поділяють на абсолютні та відносні.

Абсолютна невизначеність виміру-невизначеність виміру, виражена в одиницях вимірюваної величини.

Відносна невизначеність результату вимірів-відношення абсолютної невизначеності до результату вимірів.

1. За джерелом виникнення невизначеності вимірювань, подібно до похибок, можна розділяти на інструментальні, методичні та суб'єктивні.

2. За характером прояву похибки поділяють на систематичні, випадкові та грубі. У «Посібнику з виразу невизначеності виміру» відсутня класифікація невизначеностей за цією ознакою. На самому початку цього документа зазначено, що перед статистичною обробкою рядів вимірювань усі відомі систематичні похибки мають бути з них виключені. Тому розподіл невизначеностей на систематичні та випадкові не вводилося. Замість нього наведено поділ невизначеностей за способом оцінювання на два типи:

• невизначеність, що оцінюється за типом А (невизначеність типу А) - невизначеність, яку оцінюють статистичними методами,

• невизначеність, що оцінюється за типом Б (невизначеність типу Б) - невизначеність, яку оцінюють не статистичними методами.

Відповідно пропонується і два методи оцінювання:

1. оцінювання на кшталт А — отримання статистичних оцінок з урахуванням результатів низки вимірів,

2. оцінювання на кшталт Б — отримання оцінок з урахуванням апріорної нестатистичної інформації.

На погляд, здається, що це нововведення полягає лише у заміні існуючих термінів відомих понять іншими. Справді, статистичними методами можна оцінити лише випадкову похибку, і тому невизначеність типу А це те, що раніше називалося випадковою похибкою. Аналогічно, НВП можна оцінити тільки на основі апріорної інформації, і тому між невизначеністю на кшталт Б і НВП також є взаємно однозначна відповідність.

Проте, запровадження цих понять цілком розумним. Справа в тому, що при вимірах за складними методиками, що включає велику кількість операцій, що послідовно виконуються, необхідно оцінювати і враховувати велику кількість джерел невизначеності кінцевого результату. При цьому їх розподіл на НВП та випадкові може виявитися хибно орієнтуючим. Наведемо два приклади.

Приклад 1. Істотну частину невизначеності аналітичного виміру може становити невизначеність визначення калібрувальної залежності приладу, що є НСП у момент проведення вимірів. Отже, її слід оцінювати з урахуванням апріорної інформації нестатистичними методами. Однак у багатьох аналітичних вимірах основним джерелом цієї невизначеності є випадкова похибка зважування при приготуванні калібрувальної суміші. Для підвищення точності вимірів можна застосувати багаторазове зважування цього стандартного зразка та знайти оцінку похибки цього зважування статистичними методами. Цей приклад показує, що в деяких вимірювальних технологіях з метою підвищення точності результату вимірювання ряд систематичних складових невизначеності вимірювань може бути оцінений статистичними методами, тобто невизначеності типу А.

Приклад 2. З низки причин, наприклад, з метою економії виробничих витрат, методика виміру передбачає проведення трохи більше трьох одноразових вимірів однієї величини. У цьому випадку результат вимірювань може визначатися як середнє арифметичне, мода або медіана отриманих значень, але статистичні методи оцінювання невизначеності при такому обсязі вибірки дадуть дуже грубу оцінку. Більш розумним є апріорний розрахунок невизначеності вимірювання за нормованими показниками точності СІ, тобто її оцінка за типом Б. Отже, у цьому прикладі, на відміну від попереднього, невизначеність результату вимірювань, значна частина якої обумовлена впливом факторів випадкового характеру, є невизначеністю типу Б.

Разом з тим, традиційний поділ похибок на систематичні, НВП та випадкові також не втрачає свого значення, оскільки він точніше відображає інші ознаки: характер прояву в результаті виміру та причинний зв'язок з ефектами, що є джерелами похибок.

Таким чином, класифікації невизначеностей та похибок вимірювань не є альтернативними та взаємно доповнюють один одного.

***За методами розрахунку невизначеності поділяють на дві групи:***

— невизначеності типу А — невизначеності результату вимірювання, оцінені шляхом статистичного аналізу результатів повторних спостережень;

— невизначеності типу В — оцінені нестатистичними методами.

Слід зазначити, що тип А та В не є замінниками слів "випадкова" чи "систематична". В одному випадку невизначеність, обумовлена випадковими ефектами, може бути оцінена за типом А, в іншому — за типом В. Те ж саме можна сказати і про невизначеності, обумовлені впливом систематичних чинників. Таким чином, не можна безпосередньо зіставити невизначеності типу А чи В з випадковими або систематичними похибками. Причина в тому, що носять чи ні похибки, пов'язані з компонентами невизначеності, систематичний або випадковий характер, однозначно не визначається, а залежить від конкретного випадку. Так похибка, що обумовлена випадковими ефектами, стає систематичною, якщо результат вимірювання входить як вхідна величина в подальше вимірювання.

Приклад. Концентрація радіоактивного ізотопу в стандартному зразку визначалась шляхом вимірювання активності. Для простоти припустимо, що під час цього вимірювання були винятково випадкові відхилення. Якщо невідома концентрація в зразку визначається в подальших вимірюваннях шляхом порівняння з цим стандартним зразком, його похибка впливає на всі ці результати вимірювання однаковим чином, тобто буде проявлятись як систематичний ефект.

Розширена невизначеність (англ. expanded uncertainty) — величина, що визначає інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого ймовірно знаходиться більша частина розподілу значень, які обґрунтовано можуть бути приписані вимірюваній величині.

**Терміни — аналоги концепції невизначеності та класичної теорії точності**

Класична теорія Концепція невизначеності

Похибка результату виміру Невизначеність результату виміру

Випадкова похибка Невизначеність, що оцінюється за тилом А

НВП Невизначеність, що оцінюється за типом Б

СКО (стандартне відхилення) похибки результату виміру Стандартна невизначеність результату виміру

Довірчі межі результату виміру Розширена невизначеність результату виміру

Довірча ймовірність Можливість охоплення (покриття)

Квантиль (коефіцієнт) розподілу похибки Коефіцієнт охоплення (покриття)

1. Стандартна невизначеність - невизначеність, виражена у вигляді стандартного відхилення.

2. Розширена невизначеність - величина, що задає інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого, як очікується, знаходиться більша частина розподілу значень, які з достатньою основою можуть бути приписані величині, що вимірюється.

1. Кожному значенню розширеної невизначеності зіставляється значення її ймовірності охоплення Р.

2. Аналогом розширеної невизначеності є довірчі межі похибки вимірів.

 3. Імовірність охоплення - ймовірність, якою, на думку експериментатора, відповідає розширена невизначеність результату вимірювань.

Примітки.

1. Аналогом цього терміна є довірча ймовірність, що відповідає довірчим межам похибки.

2. Імовірність охоплення вибирається з урахуванням інформації про вид закону розподілу невизначеності.

4. Коефіцієнт охоплення - коефіцієнт, що залежить від виду розподілу невизначеності результату вимірювань і ймовірності охоплення і чисельно рівний відношенню розширеної невизначеності, що відповідає заданій ймовірності охоплення, до стандартної невизначеності.

5. Число ступенів свободи-параметр статистичного розподілу, рівний числу незалежних зв'язків оцінюваної статистичної вибірки.