

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Машинобудівний факультет
Кафедра «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф. Семка

Федорович В.О.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

з дисципліни «Метрологічне забезпечення якості»

Харків

Зміст

1.Теоретичні основи метрології. Визначальні ознаки, елементи й етапи вимірів. Основні поняття, пов'язані з об'єктами й засобами вимірів.	4
2.Класифікація вимірів. Методи й засобу вимірів.	7
3.Метрологічні характеристики засобів вимірів.	10
4.Погрішності й класи точності засобів вимірів. Погрішності технічних вимірів.	13
5.Методики виконання вимірів. Вибір засобів вимірів.	15
6.Обробка результатів багаторазових і непрямих вимірів.	18
7.Метрологічне забезпечення. Закон « Про забезпечення єдності вимірів». Структура й функції метрологічних служб.	20
8.Самостійні роботи	
Тренувальні завдання	24
Контрольна робота	26
Рекомендована література	32

1. Теоретичні основи метрології. Визначальні ознаки, елементи й етапи процесу вимірів. Основні поняття, пов'язані з об'єктами й засобами вимірів.

Метрологія – наука про виміри, методи й засобах забезпечення їх єдності й способах досягнення необхідної точності (РМГ 29-99).

Вимір - сукупність операцій, виконуваних для визначення кількісного значення величини (ФЗ від 26.06.2008 № 102-ФЗ).

Єдність вимірів – стан вимірів, при якому їх результати виражені в допущені до застосування в Російській Федерації одиницях величин, а показники точності вимірів не виходять за встановлені межі (ФЗ від 26.06.2008 № 102-ФЗ).

У сучасній практиці прийнято розрізняти три розділи метрології: теоретична метрологія, прикладна метрологія, законодавча метрологія. З найменувань цих розділів ясно, що теоретичну основу метрології становить теоретична метрологія, що має у свою чергу складну структуру, що включає ряд взаємозалежних напрямків і областей досліджень.



До найважливіших принципів метрології слід віднести:

- принцип вимірності – не існує таких матеріальних процесів і об'єктів, які не могли б стати об'єктом вимірів;

- принцип відносності результатів вимірів – проявляється у двох аспектах: 1) необхідно враховувати вплив, що обурює, засобу вимірів на об'єкт, 2) чільна роль апіорної інформації в процесі вимірів;

- принцип єдності об'єктивного й суб'єктивного у вимірі – проявляється в структурі виміру, що включає ланки системи «об'єкт – засіб вимірів – умови – експериментатор»;

- принцип невизначеності вимірювальної інформації – історія вимірів не знає результатів, які можна було б прийняти за абсолютну істину і які не могли б надалі бути уточнені.

На базі наведених принципів сформульовано два постулати метрології:

α – дійсне значення вимірюваної величини існує.

β - дійсне значення вимірюваної величини відшукати неможливо.

У філософському аспекті виміру – один зі способів пізнання навколишнього нас миру. Процес пізнання може здійснюватися на теоретичному й експериментальному рівнях. Виміри обов'язково пов'язані з експериментом, забезпечують зв'язок теоретичного й експериментального знання, теоретичних розрахунків із практикою.

У виробничій практиці в основному присутні три види експериментів: виміру, контроль і випробування. Виміри є переважним видом експериментальних робіт. Якщо в експерименті виявляється кількісна визначеність якої-небудь властивості явища або об'єкта, має місце вимірювальний експеримент. Наприклад, якщо інформація, одержувана при контролі, має чітко виражене числове значення, слід говорити про вимірювальний контроль, що включає в себе вимір і наступний порівняння з нормою. Виміру можуть становити основний зміст і ціль експерименту, і можуть бути основою або складовою частиною інших видів експериментальних робіт.

Для відмінності вимірів від інших способів одержання інформації виділимо характерні ознаки й особливості вимірів, які дозволяють об'єднати цим терміном технічні операції різному ступеню складності – від простого прикладання лінійки до визначення швидкості руху елементарної частки або параметрів орбіти небесного тіла.

Загальні ознаки вимірів	умови, що впливають, визначення
<p>1.Єдність функціонального призначення й мети – одержання кількісної інформації (числового значення) про властивості об'єкта вимірів.</p> <p>Об'єкт вимірів - тіло (фізична система, процес, явище і т.д.), яке характеризується однією або декількома вимірюваними фізичними величинами.</p> <p>Вимірювана величина – фізична величина, що підлягає виміру.</p> <p>Вимірювальна інформація – інформація про значення вимірюваних величин.</p>	<p>1. Для виміру повинна бути виділена фізична величина (ФВ) – характерна ознака (властивість) явища, тіла або речовини, який може виділятися якісно й визначатися кількісно. 2.Установлення одиниць виміру фізичних величин для кількісної градації вимірюваної величини.</p> <p>3. Основне рівняння вимірів:</p> $Q=N[Q]$ <p>/розмір ФВ/=число*/одиниця ФВ/</p>
<p>2. Спільність способів одержання вимірювальної інформації в результаті безпосередньої взаємодії спеціального технічного засобу з об'єктом вимірів</p>	<p>Вимір – сукупність операцій по застосуванню технічного засобу, що зберігає одиницю фізичної величини співвідношення, що забезпечують знаходження, вимірюваної величини з її одиницею й одержання значення цієї величини (РМГ 29-99).</p>
<p>3. Спільність структури й основних етапів процесу вимірів</p>	<p>Основні етапи вимірів:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) постановка завдання й побудова моделі об'єкта (установлення вимірюваних величин) 2) планування вимірів, вибір методів і засобів вимірів 3) виконання експериментальних операцій одержання вимірювальної інформації 4) математична обробка даних, оцінка погрешностей вимірів.
<p>4. Єдність методології оцінки ступені досягнення мети</p>	

У переліку етапів тільки етап 3) є експериментальним, інші етапи – теоретичні, але дуже важливі для правильної організації й проведення вимірювального експерименту, що визначають якість процесу вимірів.

Зміст етапів 1) і 2), що випереджають вимірювальний експеримент, - це пошук відповідей на ряд послідовно поставлених питань.

1. Що виміряти? Відповідаючи на це питання, ми створюємо у своїй свідомості модель об'єкта, тобто спрощене й наближене відображення реального об'єкта. На основі **апріорної інформації** ми конкретизуємо об'єкт до певної фізичної величини, що підлягає виміру, обмежуємо можливий діапазон реальних значень ФВ, тобто задаємося вихідним ступенем невизначеності інформації про об'єкт. При повній відсутності апріорної інформації вимір у принципі неможливо.

2. Як виміряти? Вибирається **метод вимірів** – приймання або сукупність приймань порівняння вимірюваної величини з її одиницею, **принцип вимірів** – фізичне явище або ефект, покладене в основу вимірів, інші параметри вимірювального експерименту – число вимірів, моменти часу й просторові крапки виконання вимірів.

3. Чим виміряти? Вибирається **засіб вимірів (СИ)** – технічний засіб, призначене для вимірів, що має нормовані метрологічні характеристики, що відтворює й (або), що зберігає одиницю фізичної величини, розмір якої ухвалюють незмінним у межах установленої погрішності протягом відомого інтервалу часу.

4. Хто виміряє? Визначається **суб'єкт вимірів**, його відповідальність і кваліфікація.

5. Як обробити дані вимірів? На етапі планування вимірів закладається метод обробки отриманих даних і оцінки ступені досягнення мети вимірів.

З позицій і вистав теорії інформації ціль і сутність вимірів полягає в зменшенні невизначеності (ентропії) інформації про значення вимірюваної величини (Эпост << Эпр). Оцінити ступінь досягнення мети – значить визначити **невизначеність вимірів** – параметр, пов'язаний з результатом вимірів, що й характеризує розсіювання значень, які можна приписати вимірюваній величині. Приклад – **довірчі границі погрішності результату вимірів**.

Результат виміру – значення фізичної величини, отримане шляхом її виміру.

Погрішність результату вимірів – відхилення результату вимірів від дійсного (дійсного) значення вимірюваної величини.

У багатьох масових вимірах етапи планування й оцінки погрішностей вимірів виконуються заздалегідь і оформляються у вигляді спеціального документа. **Методика виконання вимірів (МВИ)** – установлена сукупність операцій і правил при вимірі, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірів з гарантованою точністю. Але навіть при відсутності якого-небудь регламентуючого документа ці етапи незримо присутні при будь-якому вимірі.

У вимірах слід розрізняти дві галузі процесу – галузі реальних вимірів і галузі їх модельних відбиттів. Суб'єкт вимірів поєднує ці галузі й забезпечує завершеність процесу, тобто вистава результату вимірів з оцінкою його невизначеності.

До основних понять метрології, використовуваних при вимірах і виставі результатів вимірів, ставляться також поняття «шкала» і «система одиниць».

Шкала фізичної величини – упорядкована сукупність значень фізичної величини, що служить вихідною основою для вимірів даної величини.

Типи шкал:

1. Шкала найменувань (класифікації). Застосовується для не кількісних порівнянь. Приклад – атлас квітів, зразки шорсткості.

2. Шкала рангів (порядку). Монотонно зростаюча або убутна послідовність величин, для якої не визначена одиниця вимірів, але можуть бути виділені окремі опорні значення (реперні крапки). Приклад – умовна шкала Бофорта (сила вітру – 12 балів), шкала в'язкості Энглера, шкала твердості мінералів Мооса (10 опорних значень від тальку – 1, до алмаза – 10).

Ці дві шкали – неметричні (умовні), по них можливо тільки порівняння або оцінка, вимір відповідно до визначення даного терміна неможливо через відсутність одиниць величин.

3. Шкала інтервалів (різниці). Має дві опорні крапки (основні репери), одна з яких прийнята за початок відліку, а значення $[Q] = (Q_1 - Q_0)/n$ – за одиницю вимірів (n – ціле число). Приклад – температурні шкали Цельсія, Реомюра, Фаренгейта.

4. Шкала відносин. Має природній критерій нульового стану фізичної величини й одиницю вимірів (шкала інтервалів із природнім нулем). Шкали відносин – самі зроблені й розповсюджені при вимірах шкали.

5. Абсолютна шкала – для відносних величин, одиниця вимірів безрозмірна.

Система одиниць величин – сукупність основних і похідних одиниць величин, утворена відповідно до встановлених принципів. Застосовувані в Росії одиниці величин установлені в ДЕРЖСТАНДАРТ 8.417-2002 «ГСИ. Одиниці величин».

Символи (розмірність) основних величин системи одиниць СИ:

L – довжина (м), M – маса (кг), T – час (с), I – електричний струм (А), Q – термодинамічна температура (ДО), J – сила світла (кд), N – кількість речовини (моль).

Когерентна похідна одиниця фізичної величини – похідна одиниця фізичної величини, пов'язана з іншими одиницями системи одиниць рівнянням зв'язки, у якому числовий коефіцієнт рівний 1.

Приклади когерентних похідних одиниць фізичних величин:

Тиск	$L^{-1}MT^{-2}$	Па (паскаль)
Потужність	L^2MT^{-3}	Вт (ват)
Електрична напруга	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	В (вольт)
Електрична ємність	$L^{-2}MT^{-4}I^2$	Ф (фарад)
Електричний опір	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	Ом (ом)
Індуктивність	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	Гн (генрі)

2. Класифікація вимірів. Методи й засобу вимірів.

Класифікація вимірів, що дозволяє полегшити вивчення всього їх різноманіття й упорядкувати знання, можлива на основі загальних ознак і умов виконання вимірів.

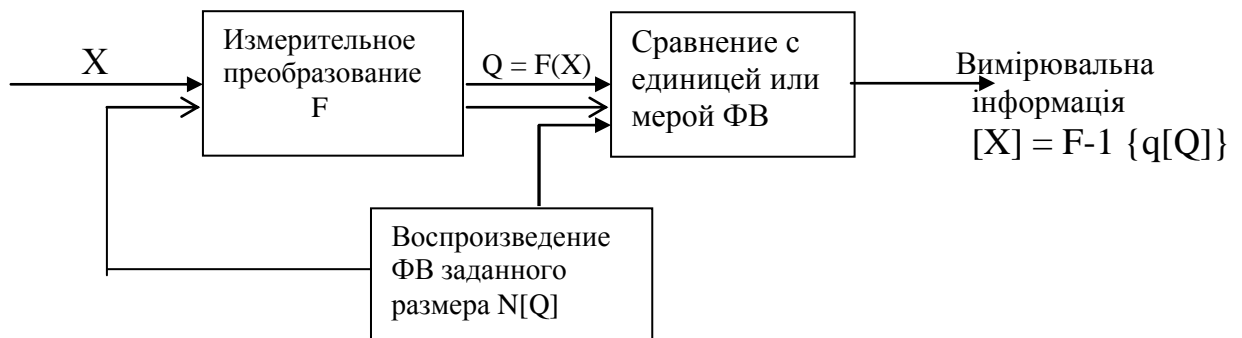
Класифікаційні ознаки	Види й методи вимірів, приклади	
<p><u>По областях і видам вимірів.</u> Область вимірів – сукупність вимірів фізичних величин, властивих якій-небудь галузі науки або техніки, що й виділяються своєї специфікою. Вид вимірів – частина області вимірів, що має свої особливості й одмінна однорідністю вимірюваних величин.</p>	<p>Приклад. Види вимірів у Державному реєстрі засобів вимірів, дозволених до застосування в РФ:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Виміру геометричних величин (у т.ч. переміщень, відстаней, толщин) 2. Виміру механічних величин (маса, сила, деформація, швидкість, прискорення й ін.) 3. Виміру параметрів потоку, витрати, рівня, обсягу речовин 4. Виміру тиску, вакуумні виміри 5. Виміру фізико-хімічного складу й властивостей речовин (щільність, вологість і ін.) 6. Теплофізичні й температурні виміри 7. Виміру часу й частоти 8. Виміру електричних і магнітних величин 9. Радіоелектронні виміри 10. Акустичні виміри 11. Оптичні й оптико-фізичні виміри 12. Виміру іонізуючих випромінювань і ядерних констант 13. Біологічні й біомедицинські виміри 	
<p><u>По способу організації процесу вимірів і обробки</u></p>	Технічні	Дослідницькі (лабораторні, у т.ч. метрологічні)

<p><u>даних</u></p> <p>Метрологічні виміри – з метою передачі розміру одиниці фізичної величини з використанням еталона</p>	<p>Масові Однократні МВИ регламентована Кваліфікація оператора низька Апріорна (у МВИ) оцінка погрішності результату вимірів</p>	<p>Одиничні Багаторазові (статистичні) Правила визначає оператор Кваліфікація оператора висока</p> <p>Індивідуальна оцінка погрішності вимірів з урахуванням умов вимірів</p>												
<p><u>По характеру взаємодії засобу вимірів з об'єктом</u></p>	<p>- контактні й дистанційні (безконтактні) - безперервні й дискретні</p>													
<p><u>За умовами вимірів</u></p>	<p>1. Виміру в нормальних умовах і в робочих умовах 2. Статичні й динамічні виміри Статичний вимір - вимір фізичної величини, прийнятої незмінної протягом часу виміру. Динамічний вимір – вимір мінливої в часі по розміру фізичної величини 3. Равноточные й неравноточные виміру</p>													
<p><u>По способу одержання результату виміру</u></p>	<p>Прямі (безпосередні) і функціональні, у т.ч. Прямий вимір – вимір, при якому значення фізичної величини одержують безпосередньо. Непрямий вимір – визначення значення фізичної величини на підставі результатів прямих вимірів інших величин, функціонально пов'язаних із шуканою. Приклад: $R = U/I$ Сукупні виміри – проведені одночасно виміри декількох однойменних величин, при яких шукані значення величин визначають розв'язком системи рівнянь, одержуваних при вимірах цих величин у різних комбінаціях. Приклад: $X + B = A$, $X - B = B$; $X = ?$ Спільні виміри – проведені одночасно виміри двох або декількох неоднорідних величин для визначення залежності між ними. Приклад: $R = f(T)$</p>													
<p><u>По методу прямих вимірів</u></p> <p>Метод вимірів – приймання або сукупність приймань порівняння вимірюваної величини з її одиницею</p>	<p>1. Метод безпосередньої оцінки – значення величини визначають по показанню засобу вимірів.</p> <p>2. Метод порівняння із заходом – вимірювану величину порівнюють із величиною, відтвореним заходом.</p> <table border="1" data-bbox="628 1346 1479 1877"> <tr> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> </tr> <tr> <td data-bbox="628 1518 1034 1653">3. Диференціальний метод – вимірюється різниця між величинами</td> <td data-bbox="1034 1518 1259 1877">4. Метод доповнення - вимірювану величину доповнюють заходом до заздалегідь заданого значення (суми)</td> <td data-bbox="1259 1518 1479 1877">5. Метод заміщення - вимірювану величину заміщають заходом</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">↓</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="628 1711 1034 1877">6. Нульовий метод – різниця між вимірюваною величиною й заходом доводять до нуля.</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Два методи вимірів не визначені в РМГ 29-99: Метод протиставлення (різновид методу порівняння із заходом) – одночасний вплив на прилад порівняння вимірюваної величини й величини, відтвореним заходом. Метод збігів (різновид диференціального), де величини вимірюють, використовуючи збігу оцінок шкал або</p>		↓	↓	↓	3. Диференціальний метод – вимірюється різниця між величинами	4. Метод доповнення - вимірювану величину доповнюють заходом до заздалегідь заданого значення (суми)	5. Метод заміщення - вимірювану величину заміщають заходом	↓			6. Нульовий метод – різниця між вимірюваною величиною й заходом доводять до нуля.		
↓	↓	↓												
3. Диференціальний метод – вимірюється різниця між величинами	4. Метод доповнення - вимірювану величину доповнюють заходом до заздалегідь заданого значення (суми)	5. Метод заміщення - вимірювану величину заміщають заходом												
↓														
6. Нульовий метод – різниця між вимірюваною величиною й заходом доводять до нуля.														

	стробоскопический эффект.
--	---------------------------

Невід'ємним і найважливішим елементом вимірів, що визначають його суть (див. визначення терміна «вимір») є **засіб вимірів** – технічний засіб, призначене для вимірів, що має нормовані метрологічні характеристики, що відтворює й (або), що зберігає одиницю фізичної величини, розмір якої ухвалюють незмінним у межах установленної погрішності протягом відомого інтервалу часу.

У засобі вимірів реалізується фізичний принцип вимірів і основний метод вимірів – порівняння із заходом. Засіб вимірів реалізує й інші операції, що становлять процес виміру.



Операції, представлені в узагальненій структурній схемі засобу вимірів, не завжди очевидні, іноді виконані задалегідь, доповнені й сполучені з іншими операціями, але завжди присутні в процесі вимірів. Зокрема, вимірювальне перетворення, що забезпечує приведення у відповідність розмірів у загальному випадку неоднорідних вимірюваної й відтвореної ФВ, може застосовуватися не тільки до вимірюваної, але й до відтвореної ФВ. Вимірювальне перетворення може містити в собі операції зміни фізичного роду преутвореної величини, масштабне або масштабно-тимчасове перетворення, модуляцію, дискретизацію або квантування й ін.

У РМГ 29-99 уведено узагальнююче поняття «засобу вимірювальної техніки», що охоплює технічні засоби, призначені для вимірів. Воно поєднує засоби вимірів, їх сукупності у вигляді вимірювальних систем, вимірювальних установок, вимірювальні обладнання й приналежності. До засобів вимірів ставляться наступні їхні різновиди.

Захід фізичної величини – засіб вимірів, призначене для відтворення й (або) зберігання фізичної величини одного або декількох заданих розмірів. Розрізняють однозначні заходи, багатозначні заходи, набори заходів і магазини заходів. **Стандартний зразок** – зберігає значення однієї або декількох ФВ, що характеризують **склад** або **властивості** речовини.

Вимірювальний прилад – засіб вимірів, призначене для одержання значень вимірюваної фізичної величини. По способу індикації значень вимірюваної величини прилади розділяють на, що показують, що й реєструють, аналогові й цифрові.

Вимірювальний перетворювач – технічний засіб з нормованими метрологічними характеристиками, що служить для перетворення вимірюваної величини в іншу величину або вимірювальний сигнал, зручний для обробки, подальших перетворень, зберігання, передачі або індикації. Окрему категорію становлять **первинні вимірювальні перетворювачі** (датчики, детектори). Проміжні – масштабуючі, АЦП, ЦАП і ін.

Засіб порівняння (компаратор) – технічний засіб або середовище, за допомогою якого здійснюється порівняння розмірів однорідних ФВ або показань засобів вимірів. Приклади: важільні ваги, температурне поле термостата.

Індикатор - технічний засіб або речовина, призначене для встановлення наявності або перевищення граничного значення ФВ (сигналізатори).

Сукупності функціонально об'єднаних засобів вимірювальної техніки утворюють **вимірювальні установки (машини), вимірювальні системи, вимірювально-обчислювальні комплекси** (у складі вимірювальної системи).

Усі засоби вимірів діляться на **робітники СИ** для вимірів, не пов'язаних з передачею розміру одиниці ФВ іншим СИ, і **еталони**.

3. Метрологічні характеристики засобів вимірів

Метрологічна характеристика (м.х.) – характеристика властивості засобу вимірів, що впливає на результат і погрішність вимірів. М.х., установлені в НД, називають нормованими м.х. (н.м.х.). Для кожного типу СИ встановлюють **комплекс н.м.х.** - раціональну сукупність м.х.

Раціональність комплексу н.м.х. визначається завданнями нормування

- 1.Можливість визначення результату й розрахункової погрішності вимірів у відомих робочих умовах вимірів.
- 2.Можливість оцінки (розрахунків) м.х. і погрішностей каналів ІС по м.х. окремих структурних елементів (окремих СИ)
- 3.Можливість порівняння СИ по точності й оптимальний вибір СИ для кожного вимірювального завдання.
- 4.Можливість контролю СИ при випуску з виробництва й ремонту на відповідність установленим вимогам.

Вимоги до нормування й склад комплексів н.м.х. установлені в ДЕРЖСТАНДАРТ 8.009-84 «ГСІ. Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірів».

Характеристики для визначення результату вимірів:

- **номінальне значення** однозначного заходу;

- **ціна розподілу шкали** аналогового приладу або багатозначного заходу. Супутні характеристики: **початкове й кінцеве значення шкали**, тобто найменше й найбільше значення вимірюваної величини, які можуть бути відлічені по шкалі й визначальні **діапазон показань СИ. Діапазон вимірів СИ** – область значень величини, у межах якої нормовані межі, що допускаються, погрішності СИ. Значення величини, що обмежують діапазон вимірів – **нижній і верхній межі вимірів**. Для многопредельних СИ ціна розподілу встановлюється для кожної межі вимірів. Для нерівномірної шкали встановлюється мінімальна ціна розподілу;

- **кодові характеристики цифрового СИ**: вид вихідного коду, число розрядів, номінальна ціна одиниці молодшого розряду;

- **функція перетворення** вимірювального перетворювача – залежність між вихідним сигналом і вимірюваною величиною, представлена формулою, таблицею або графіком. Різняться номінальна (приписана) і реальна (індивідуальна) функції перетворення. **Градуировочная характеристика** – залежність, отримана експериментально.

Супутні характеристики: **чутливість СИ** – відношення зміни вихідного сигналу СИ до зухвалої його зміни вимірюваної величини: $S = \Delta y / \Delta x$ – абсолютна, $S = (\Delta y / \Delta x) / x$ – відносна. **Поріг чутливості** – найменше значення зміни ФВ, починаючи з якого може здійснюватися її вимір. **Дозвіл СИ** (тимчасове або просторове) – найменші інтервали, які фіксуються СИ роздільно.

Характеристики погрішності СИ.

Погрішності СИ по джерелах виникнення можна представити у вигляді трьох складових: $\Delta_{\text{СИ}} = \Delta_0 * \sum \Delta(\xi_i) * \Delta t$.

Δ_0 – погрішність СИ в нормальних умовах (основна погрішність).

$\sum \Delta(\xi_i)$ – сукупність погрішностей, обумовлених чутливістю СИ до величин, що впливають, діють на СИ в робочих умовах вимірів (додаткові погрішності).

Δt – динамічна погрішність, обумовлена інерційними властивостями СИ при зростанні швидкості зміни вимірюваної величини, тобто при переході від статичних вимірів до динамічних.

До розглянутої групи н.м.х. ставляться характеристики основної погрішності СИ, яка у свою чергу описується моделлю, що включає три складові: $\Delta_0 = \Delta_{\text{С}} * \Delta^{\circ} * \Delta_{\text{вар.}}$, і нормується окремо характеристиками кожної складової: характеристиками систематичної, випадкової погрішностей і варіації.

Систематична погрішність $\Delta_{\text{С}}$ – складова погрішності, прийнята за постійну або закономірно мінливу. Її джерела – у методиці передачі розміру одиниці величини («зрушення» шкали або окремих оцінок), у неідеальності функції перетворення (нелінійність), її зміні в часі. Нормованою характеристикою є **межа систематичної погрішності** (граничне значення). Для безлічі СИ даного типу систематична погрішність розглядається як випадкова величина, для якої нормуються **математичне очікування $M(\Delta_{\text{С}})$** і **середнє квадратичне відхилення $\sigma(\Delta_{\text{С}})$** .

Поряд із систематичними в СИ виникають непередбачені ні за знаком, ні по розміру погрішності, називані випадковими. Вони визначаються сукупністю причин, що важко піддаються аналізу (випадковість – непізнана закономірність). Нормована характеристика – **межа середнього квадратичного відхилення (СКО) випадкової погрішності $\sigma(\Delta^{\circ})$** . Крім того можуть бути встановлені **автокорреляційна функція** або **спектральна щільність** випадкової складової погрішності для СИ даного типу.

Варіація показань вимірювального приладу – різниця показань в одній і тій же крапці діапазону вимірів при плавному наближенні до цієї крапки з боку менших і більших значень вимірюваної величини. Причини варіації – тертя, люфти у вимірювальних механізмах, гістерезис у магнітних матеріалах. Варіація – теж випадкова величина, але нормується **межа варіації, що допускається**.

Якщо СИ не призначене для використання у вимірювальній системі й СКО випадкової складової – досить мала величина, допускається замість окремих складових нормувати **межа основної погрішності Δ_0** або інтервал, у якому вона перебуває із заданою ймовірністю $P < 1$ ($P = 0,95$ або $P = 0,9$). Крім того можуть бути встановлені **$M(\Delta_0)$, $\sigma(\Delta_0)$** для СИ даного типу.

Характеристики чутливості СИ до величин, що впливають.

величини, що впливають (ВВ) умови, що характеризують, вимір, викликають певні зміни вихідного сигналу або показань СИ. У ДЕРЖСТАНДАРТ 8.009-84 передбачено два способи нормування характеристик чутливості СИ до ВВ: **функцією**

впливу $\Psi(\xi i)$, або межею зміни, що допускається, характеристики (наприклад, погрішності) при зміні ВВ у заданому інтервалі (межа значення, що допускається, додаткової погрішності). Додаткова погрішність по характеру своєму найчастіше проявляється як систематична погрішність. Нормовані характеристики зв'язані між собою однобічною залежністю: $\Delta(\xi i)_{\max} = \Psi(\xi i) \cdot (\xi i)_{\max}$. Зворотне перетворення, тобто визначення функції впливу по межі додаткової погрішності, некоректно.

Динамічні характеристики

Розрізняють повні й приватні динамічні характеристики (ДХ). До повних ставляться функції динамічного перетворення, функції зв'язку між входом і виходом СИ в динамічному режимі вимірів:

- **передатна функція** $DO(j\omega) = B(j\omega)/X(j\omega)$ – відношення операторних зображень сигналів на виході й на вході СИ;

- **перехідна характеристика** $h(t)$ – реакція СИ на стрибок вимірюваної величини;

- **імпульсна перехідна характеристика** $g(t)$ – реакція СИ на одиничний імпульс вимірюваної величини;

- **сукупність АЧХ** $A(\omega)$ і **ФЧХ** $\varphi(\omega)$.

Приклади часток ДХ: час установаження показань (t_y), постійна часу T (по перехідній характеристиці), АЧХ $A(\omega)$, значення резонансної частоти власних коливань ω_0 , верхня межа частотного діапазону вимірів f_{\max} , і інші.

Для відомих видів сигналів вимірюваних величин (наприклад, синусоїдального) може бути нормована **динамічна погрішність**.

Характеристики зв'язку СИ з об'єктом вимірів

До числа н.м.х. віднесені:

- вхідний $Z_{вх}$ і вихідний $Z_{вих}$ імпеданси (опору);

- неінформативні параметри вхідного сигналу.

4. Погрішності й класи точності засобів вимірів. Погрішності технічних вимірів

Поряд з нормуванням повного комплексу н.м.х. за ДСТ 8.009-84 для СИ масового застосування практикується спрощене нормування м.х. у вигляді класу точності за ДСТ 8.401-80.

Клас точності – узагальнена характеристика типу засобів вимірів, що виражається межами, що допускаються основний і додаткових погрішностей, а також іншими характеристиками, що впливають на точність. Класи точності зручні для порівняльної оцінки при виборі СИ, але недостатні для достовірної оцінки погрішностей каналів вимірювальної системи, уведення виправлень у результати вимірів з метою виключення систематичних складових основний і додаткових погрішностей, розрахунків погрішностей динамічних вимірів.

Межі, що допускаються основний і додаткових погрішностей виражають у формі абсолютних, відносних або наведених погрішностей.

Абсолютна погрішність – різниця між показаннями приладу й дійсним значенням вимірюваної величини, виражена в одиницях вимірюваної величини. Межі основної погрішності, що допускається абсолютної, установають у вигляді $\Delta = \pm a$ або $\Delta = \pm(a+bx)$.

Якщо абсолютна погрішність СИ у всьому діапазоні вимірів обмежена постійною межею $\pm a$, така погрішність називається **аддитивною**. Погрішність або складова погрішності, що зростає пропорційно значенням вимірюваної величини ($\Delta = \pm bx$), називається **мультиплікативною**.

Абсолютна погрішність сама по собі не дає чіткої вистави про точність СИ, необхідно її співвіднесення з розміром вимірюваної величини. Тому частіше встановлюють межі **наведеної погрішності**, що допускається, $\gamma = (\Delta/X_N)100 = \pm p, \%$. Реально наведена погрішність характеризує погрішність тільки в одній крапці діапазону вимірів - X_N . Для інших значень вимірюваної величини це межа, що допускається (не більш). **значення, що нормує**, X_N задається за наступними правилами.

$X_N = x_k$, якщо $x_n \geq 0$, тобто нульова крапка на краю або поза діапазоном вимірів.

$X_N = \max\{|x_n|, |x_k|\}$, якщо нульова крапка усередині діапазону вимірів

$X_N = |x_k - x_n|$, для СИ з умовним нулем.

$X_N = x_{ном}$, якщо встановлене номінальне значення (для заходу).

Найбільш наочною характеристикою є межа **відносної погрішності** $\delta = (\Delta/x)100 = \pm q, \%$. При мультиплікативній смузі погрішностей $\delta = \pm q = b$. При одночасній присутності аддитивної і мультиплікативної складових межа відносної погрішності нормується двочленною формулою

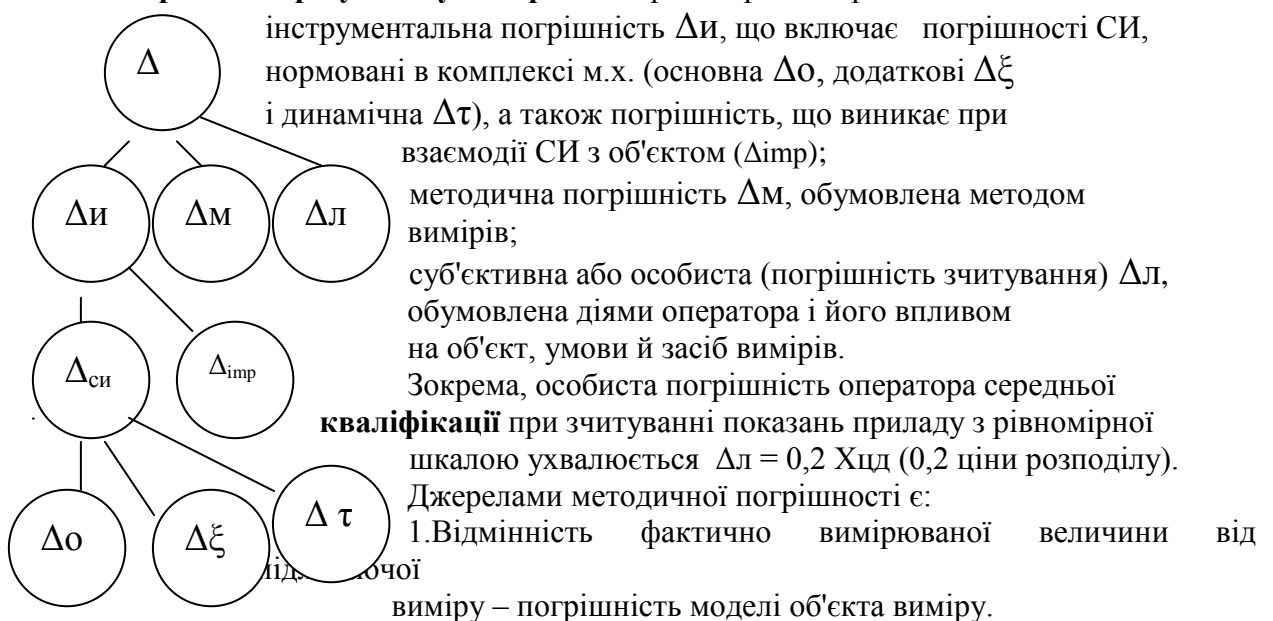
$$\Delta = 100(a + bx)/x = \gamma_n |x_k/x| + \gamma_s = \gamma_k + \gamma_n (|x_k/x| - 1) = \pm [z + d(|x_k/x| - 1)], \%$$

Фізичний зміст: z – наведена до $|x_k|$ погрішність наприкінці шкали (γ_k), d – наведена погрішність на початку шкали (γ_n). $c = b + d$; $d = a/|x_k|$.

ДЕРЖСТАНДАРТ 8.401-80 визначив і нормовані числові значення меж, що допускаються погрішностей p, q, c, d , які повинні вибиратися з ряду: $1 \cdot 10^n; 1,5 \cdot 10^n; (1,6 \cdot 10^n); 2 \cdot 10^n; 2,5 \cdot 10^n; (3 \cdot 10^n); 4 \cdot 10^n; 5 \cdot 10^n; 6 \cdot 10^n$ ($n = 1; 0; -1; -2$ і т.д.).

Приклади позначення	в документації	на СИ
$\gamma = \pm 0,5\%$	клас точності 0,5	0,5 або
$\delta = \pm 0,5\%$	клас точності 0,5	
$\delta = \pm [0,02 + 0,01(x_k/x - 1)]\%$	клас точності 0,02/0,01	0,02/0,01

Погрішність результату вимірів має три джерела й три складових:



2. Погрішність передачі розміру вимірюваної величини від об'єкта до СИ (відмінність значень вимірюваної величини на вході СИ й у крапці «відбору» на об'єкті).

3. Погрішності обробки даних (відмінність алгоритму обчислень від функції, що зв'язує результат вимірів з вимірюваною величиною).

Загальні правила й форми вистави результатів і погрішностей вимірів наведені в рекомендації МП1317-2004.

Результат вимірів представляють іменованим (неіменованим в обґрунтованих випадках) числом разом з характеристикою приписаної погрішності або статистичною оцінкою погрішності. При масових технічних вимірах указують приписану, заздалегідь розраховану погрішність, при дослідницьких – статистичну оцінку погрішності.

Результат вимірів можуть супроводжувати:

- крапкові характеристики погрішності (СКО погрішності виміру σ_{Δ} або характеристики невиключеної систематичної $\sigma[\Delta_c]$ і випадкової $\sigma[\Delta^{\circ}]$ складових погрішності), якщо результат вимірів підлягає подальшій обробці (наприклад, розрахункам результату й погрішностей непрямих або інших функціональних вимірів);

- інтервальна характеристика погрішності - границі, у межах яких погрішність вимірів перебуває із заданою ймовірністю, якщо результат вимірів є остаточним.

Характеристики погрішності вказують в одиницях вимірюваної величини (абсолютна Δ) або у відсотках від результату виміру (відносна δ).

Приклади запису результатів вимірів:

Витрата рідини $10,75 \text{ м}^3/\text{з}$; $|\Delta_n|=|\Delta_v|=0,15 \text{ м}^3/\text{з}$; $R_d=0,95$, або
 $10,75 \text{ м}^3/\text{з}$; $\Delta=\pm 0,15 \text{ м}^3/\text{з}$; $R_d=0,95$, або
 $10,75 \text{ м}^3/\text{з}$; $-0,12 \leq \Delta \leq 0,18 \text{ м}^3/\text{з}$; $R_d=0,95$.

Електрична напруга $220,0 \text{ В}$; $\delta=\pm 1\%$; $R_d=0,95$, або
 $220,0 \text{ В}$; $\sigma[\Delta_c]=0,2 \text{ В}$; $\sigma[\Delta^{\circ}]=0,1 \text{ В}$.

Допускається (для дослідницьких вимірів) вистава результату вимірів довірчим інтервалом, що покривають із довірчою ймовірністю, що вказується, дійсне значення вимірюваної величини, наприклад: температура від 260 до $^{\circ}280 \text{ С}$, $R_d=0,95$. При цьому погрішності не вказуються.

Характеристики погрішності виражають числом, що містять не більш двох значущих цифр: якщо число починається із цифр 1 або 2, то в ньому залишають дві значущі цифри з округленням у більшу сторону, якщо число ≥ 3 , воно округляється до однієї значущої цифри за загальними правилами округлення. Приклад – ряд числових значень класів точності.

Результат виміру округляється до того ж десяткового знака, яким кінчається округлене значення абсолютної погрішності виміру. Округлення проводиться тільки в остаточному записі.

5. Методики виконання вимірів. Вибір засобів вимірів.

Методика виконання вимірів – сукупність операцій і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірів із установленою погрішністю (невизначеністю). Слід розрізняти МВИ як наведене вище поняття, і МВИ як окремий документ, що містить опис і всі необхідні дані для реалізації МВИ. Загальні положення й вимоги до їхньої розробки й метрологічної атестації встановлено в ДЕРЖСТАНДАРТ Р 8.563-96 «ГСИ. Методики виконання вимірів».

Документ на МВИ повинен містити розділи:

- вступну частину (призначення й область застосування МВИ);
- характеристики погрішності вимірів;
- засобу вимірів, допоміжні обладнання й ін.;

- метод вимірів;
- вимоги безпеки й охорони навколишнього середовища;
- вимоги до кваліфікації оператора;
- умови вимірів;
- підготовка до виконання вимірів;
- виконання вимірів;
- обробка результатів вимірів;
- контроль погрішності результатів вимірів;
- оформлення результатів вимірів.

Найважливішим етапом у розробці МВИ є вибір методів і засобів вимірів, який здійснюється відповідно до рекомендації МІ 1967-89. При цьому метою й основним критерієм вибору є досягнення заданої або мінімальної можливої погрішності вимірів.

Погрішність результату вимірів як при апріорній оцінці (при розробці МВИ), так і на етапі обробки результатів вимірів визначають розрахунковим об'єднанням характеристик усіх складових, утворюють результуючу погрішність. Тому важливо визначити єдині правила підсумовування складових.

При оцінці результуючої погрішності СИ або результату вимірів слід припускати наявність як систематичних, так і випадкових складових, тому

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{C\Sigma} + \Delta^{\circ}\Sigma.$$

Загальна формула для СКО суми випадкових складових

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 + 2 \sum_{i \neq j}^n \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j}$$

де ρ_{ij} – коефіцієнт кореляції між складовими випадкової погрішності. Якщо складові незалежні або кореляційний зв'язок слабкий ($|\rho_{ij}| < 0,7$), ухвалюється $\rho_{ij} = 0$ і σ_{Σ}

$= \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$. Якщо між випадковими складовими є помітна кореляція, ухвалюється $\rho_{ij} = 1$ і

використовується арифметичне підсумовування $\sigma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \sigma_i$. Коррелированными є погрішності, які викликані однією загальною причиною.

Інтервальна характеристика випадкової погрішності результату вимірів, тобто границі, у межах яких випадкова погрішність вимірів перебуває із заданою ймовірністю, визначається вираженням $\Delta^{\circ}\Sigma = tr \sigma_{\Sigma}$, де tr – коефіцієнт Стюдента, що залежить від довірчої ймовірності P_d оцінки границь значень погрішності. Значення коефіцієнта Стюдента можна прийняти 1,6 для $P_d = 0,9$ і 2,0 для $P_d = 0,95$.

Для підсумовування елементарних систематичних погрішностей використовується кілька способів. Арифметичне підсумовування граничних значень систематичних складових дає гарантовану оцінку «зверху». Така оцінка завищена й виникнення таких погрішностей на практиці мало ймовірно. Арифметичне підсумовування застосовується тільки для складових з точно відомими значеннями й знаками, які можуть бути використані у вигляді виправлень до результату вимірів і виключені з оцінки погрішності. Для невиключених систематичних складових застосовують рандомізацію, тобто їхній переклад у розряд випадкових величин з рівномірним законом розподілу.

Тоді, якщо відомі межі $\pm \Delta_{Ci}$ систематичних складових погрішності, інтервальна

характеристика погрішності $\Delta_{C\Sigma} = K \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_{Ci}^2}$. Значення K при геометричному

підсумовуванні меж невиключених систематичних складових ухвалюють $DO = 0,95$ для $P_d = 0,9$, $DO = 1,1$ для $P_d = 0,95$, $DO = 1,4$ для $P_d = 0,99$, але можна без більших втрат для точності розрахунків ухвалювати й $DO = 1$.

У випадку підсумовування невиключених систематичних і випадкових складових доцільно визначити дисперсії невиключених систематичних погрішностей і далі виконати

$$\text{геометричне підсумовування по формулі } \sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} .$$

Дисперсія випадкової величини з рівномірним законом розподілу $\sigma_i^2 = \Delta^2_{Ci}/3$, якщо задані симетричні граничні значення величини $\pm\Delta_{Ci}$, або $\sigma_i^2 = H^2_i/12$, якщо відомий розмах значень цієї величини (наприклад, H – ціна розподілу шкали приладу).

Приклад 1. Визначити погрішність вольтметра з межею вимірів 1,5 В при вимірі спадання напруги 0,8 В на ділянці ланцюга з активним опором $R = 4$ Ом при температурі від 15 до 35 °С. Для вольтметра нормовані м.х. за ДСТ 8.009-84: межа систематичної складової основної погрішності $\gamma_c = \pm 0,4\%$; СКО випадкової складової $\sigma(\Delta^\circ) = 0,2\%$; межа варіації, що допускається, $H = 0,4\%$; номінальна функція впливу температури $\Psi(t) = +0,03\%/3$; вхідний опір вольтметра 1000 Ом. Нормальне значення температури $t_{ny} = 20^\circ\text{C}$.

Інструментальна погрішність виміру, обумовлена погрішністю вольтметра, буде складатися із трьох складових: основної погрішності вольтметра, додаткової погрішності в діапазоні змін температури, погрішності узгодження опорів вольтметра й об'єкта вимірів.

Основну погрішність визначимо як суму систематичної, випадкової складових і варіації, застосувавши принцип рандомизації до складових систематичної погрішності й варіації. Тоді дисперсія основної погрішності складе значення

$$\sigma_o^2 = \gamma_c^2/3 + \sigma^2(\Delta^\circ) + H^2/12 = 0,16/3 + 0,04 + 0,16/12 \approx 0,106 (\%)^2$$

Додаткову погрішність рандомизуємо, прийнявши рівновероятний закон розподілу температури в заданому інтервалі. Тоді математичне очікування додаткової погрішності $M(\Delta t) = \Psi(t)[M(t) - t_{ny}] = 0,03[(35+15)/2 - 20] = +0,15\%$.

Дисперсія додаткової погрішності

$$D(\Delta t) = \Psi^2(t) \sigma^2(t) = 0,03^2 \cdot (35-15)^2/12 = 0,03 (\%)^2$$

Погрішність узгодження визначимо з формули, що визначає показання вольтметра $U_v = U_x r_v / (R + R_v)$: $\Delta R = U_v - U_x = -U_x R / (R + R_v)$, або віднесено до U_x : $\delta R = - (4/1004)100 = -0,4\%$. Це значення можна використовувати для розрахунків виправлення до результату вимірів або просуммувати із іншими складовими, привівши їх теж у форму відносної погрішності.

$$\begin{aligned} \delta &= \delta R + [M(\Delta t) \pm t_p \sqrt{(\sigma_o^2 + D(\Delta t))}] U_k / U_x = -0,4 + [0,15 \pm 1,6 \sqrt{(0,106 + 0,03)}] 1,5 / 0,8 = \\ &= -0,4 + [0,15 \pm 1,6 \cdot 0,369] 1,875 = -0,4 + 0,281 \pm 1,107 = -0,119 \pm 1,107 \\ &\quad -1,2\% \leq \delta \leq 1,0\%, P_d = 0,9 \end{aligned}$$

Приклад 2. Вибрати метод і засіб вимірів для виміру спадання напруги 0,8...1,2 В на ділянці ланцюга з активним опором $R = 4$ Ом при температурі від 15 до 35 °С з погрішністю δ не більш 1,5 %.

1. Вибираємо метод вимірів – прямі виміри з використанням вольтметра з межею вимірів 1,5 В. Уважаємося методичну й особисту погрішності пренебрежимо малими.

2. Орієнтовно визначаємо необхідний клас точності вольтметра $\gamma_{tr} \leq \delta X_n / X_k = 1,5 \cdot 0,8 / 1,5 = 0,8$ и вибираємо вольтметр класу точності 0,5.

Клас точності визначає основну наведену погрішність $\gamma_o = \pm 0,5\%$. Нехай для цього вольтметра додаткова температурна погрішність нормується у вигляді $\gamma_t = 0,6\gamma_o/10^\circ\text{C}$.

Граничне значення додаткова погрішність буде мати при температурі 35°C: $\gamma_t = \pm 0,6 \cdot 0,5(35-20)/10 = \pm 0,45\%$.

Погрішність узгодження при $R_v = 1000$ Ом складе $\delta R = - (4/1004)100 = -0,4\%$.

3. Оцінимо погрішність результату вимірів для $X_n = 0,8$ В (у цій крапці заданого діапазону вимірів вона буде максимальною) із $P_d = 0,9$:

$$\delta = \delta R \pm [t_p \sqrt{(\sigma_o^2 + \sigma_t^2)}] X_k / X_n = -0,4 \pm [1,6 \sqrt{(0,5^2 / 3 + 0,45^2 / 3)}] 1,5 / 0,8 = -0,4 \pm 1,164$$

У підсумку одержимо $-1,6 \leq \delta \leq 0,8$, тобто вимога $\delta \leq \pm 1,5 \%$ не виконане. Вольтметр класу точності 0,5 може бути використаний тільки при введенні виправлень $\Delta = 0,004X$ у результати вимірів. У цьому випадку $\delta = \pm 1,2\%$.

Якщо клас точності вольтметра, тобто $0,5$ нормована відносна погрішність $\delta_o = 0,5 \%$, яка має місце для будь-якого значення в заданому діапазоні вимірів, у вираженні підсумовування погрішностей виключається множник X_k / X_n . Тоді $\delta = \pm 0,62 \approx 0,6\%$

Розглянемо випадок нормування класу точності двочленним вираженням, наприклад $0,5/0,2$. У цьому випадку $\delta_o = 0,5 + 0,2[(X_k / X) - 1]$. Для $X = 0,8V$ $\delta_o = 0,5 + 0,2[(1,5/0,8) - 1] = 0,675\%$. Додаткова погрішність $\delta_t = 0,6 \cdot 0,675(35-20)/10 = \pm 0,61\%$.
Тогда после введения поправок

$$\Delta = \pm 1,6 \sqrt{(0,675^2 / 3 + 0,61^2 / 3)} = \pm 0,838 \approx 0,9\%$$

Інший спосіб підсумовування невиключених систематичних погрішностей (підсумовування меж відносних погрішностей) дає значення погрішності вимірів

$$\delta = \pm K \sqrt{(\delta_o^2 + \delta_t^2)} = \pm 0,95 \sqrt{(0,675^2 + 0,61^2)} = \pm 0,864 \approx 0,9\%$$

6. Обробка результатів багаторазових і непрямих вимірів.

Якість вимірів характеризуються рядом показників.

Збіжність результатів вимірів – близькість друг до друга результатів вимірів, виконаних повторно в тих же умовах.

Відтворюваність результатів вимірів – близькість результатів вимірів однієї й тієї ж величини, отриманих у різний час, у різних місцях, різними операторами й засобами.

Точність вимірів – близькість результату вимірів до дійсного значення вимірюваної величини.

Правильність вимірів – близькість до нуля систематичної погрішності вимірів.

Вірогідність вимірів – близькість до нуля випадкової або віднесеної до випадкової невиключеної систематичної погрішності. Вірогідність вимірів характеризується довірчою ймовірністю того, що дійсне значення лежить у зазначених довірчих границях:

$$P_d = P\{(x - t\sigma) \leq X \leq (x + t\sigma)\}.$$

Можливість підвищення вірогідності результатів вимірів забезпечується при проведенні багаторазових вимірів. Результат багаторазових вимірів визначається як параметр положення центру розподілу отриманих даних ($X_{ц}$). Перевага й основна зміст багаторазових вимірів полягає в тому, що координата центру розподілу сукупності результатів вимірів того самого значення фізичної величини має меншу смугу невизначеності, чому кожний окремо взятий результат однократного виміру. Існують співвідношення: $D(X_{ц}) = D(x_i)/n$ і $\sigma(X_{ц}) = \sigma(x_i)/\sqrt{n}$, де n – число вимірів.

Послідовність обробки результатів багаторазових вимірів наступна:

- виправлення результатів спостережень, якщо це можливо (внесення виправлень);

- обчислення оцінки параметра положення центру вибірки $X_{ц}$ (середнє арифметичне, медіана або інша оцінка);
- обчислення вибіркового СКО оцінки параметра положення центру по формулі

$$\sigma(X_{ц}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_{ц})^2}{n(n-1)}}$$

- визначення границь довірчого інтервалу для випадкової погрішності $\Delta_{сл} = \pm t_{рп} \sigma(X_{ц})$.

Слід пам'ятати, що при багаторазових вимірах зменшуються тільки випадкові погрішності, а систематичні залишаються без зміни й повинні підсумуватися з випадковими. Наступні етапи обробки даних:

- порівняння $\Delta_{сл}$ із невиключеними систематичними складовими погрішності вимірів і виявлення значимих складових;
- підсумовування невиключених систематичних погрішностей

$$\Delta_{С\Sigma} = \text{ДО} \sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_{Cj}^2}$$

- визначення сумарної погрішності $\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta_{С\Sigma}^2 + \Delta_{сл}^2)}$.

Результат вимірів записується у вигляді $X_{ц} \pm \Delta_{\Sigma}$, Рд.

Приклад. При багаторазовому вимірі струму отримані значення в мА: 98, 100, 97, 101, 99, 102, 103. Визначити довірчі границі для дійсного значення вимірюваної величини з імовірністю $P = 0,95$ ($t_{р} = 2,45$).

Параметр положення центру вибірки $X_{ц}$ (середнє арифметичне) $X_{ц} = 100$ мА.

СКО оцінки параметра положення центру

$$\sigma(X_{ц}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_{ц})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(2^2 + 0^2 + 3^2 + 1^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2)}{7(7-1)}} = \sqrt{\frac{28}{42}} = 0,816$$

Границі довірчого інтервалу для випадкової погрішності

$$\Delta_{сл} = \pm t_{р} \sigma(X_{ц}) = \pm(2,45 \cdot 0,816) \approx \pm 2 \text{ мА.}$$

Результат вимірів: 100 ± 2 мА, $P = 0,95$.

Результат непрямого виміру визначається розрахунками по відомій функції $Z = f(x_1, x_2, \dots)$ і обмірюваним значенням аргументів x_i . Тому що кожне значення x_i обмірюване з погрішністю, завдання розрахунків погрішності результату вимірів зводиться також до підсумовування погрішностей виміру аргументів. Відмінність непрямих вимірів полягає в тому, що залежно від виду функції внесок окремих аргументів у результат і його погрішність може бути різним. Тому при розрахунках погрішності результату непрямих вимірів вводяться коефіцієнти впливу аргументів на результат вимірів частки, що представляють собою, похідні функції по відповідних до аргументів:

$$\Delta(Z) = \sum_{i=1}^n (\partial f / \partial x_i) \Delta(x_i). \text{ Для дисперсій: } \sigma^2(Z) = \sum_{i=1}^n (\partial f / \partial x_i)^2 \sigma^2(x_i).$$

Метод часток похідних правомірний для підсумовування абсолютних погрішностей лінійних функцій, у які аргументи входять у першому ступені й коефіцієнти впливу $\partial f / \partial x_i$ не залежать від аргументів. Для нелінійних функцій проводиться спочатку логарифмування (або інша операція лінеаризації функції, у загальному випадку – розкладання в ряд Тейлора), потім диференціювання.

Нехай $Z = \prod (x_1^a, x_2^n, \dots)$.

Логарифмування: $\ln Z = a \ln x_1 + n \ln x_2, \dots$

Диференціювання: $dZ/Z = a(dx_1/x_1) + n(dx_2/x_2) + \dots$, після чого, перейшовши до малих збільшень (погрішностям), одержимо формулу розрахунків відносних погрішностей: $\delta(Z) = a \delta(x_1) + n \delta(x_2) + \dots$

$$\text{Для дисперсій: } \sigma^2(\delta_Z) = \sum_{i=1}^n b_i^2 \sigma^2(\delta_{x_i}).$$

Отже, розрахунки погрішності непрямого виміру проводиться у два етапи: 1) висновок формули для розрахунків абсолютної погрішності (диференціювання) або відносної погрішності (логарифмування + диференціювання) залежно від виду функції зв'язки вимірюваних величин; 2) розрахунки погрішності відповідно до отриманої формули за правилами підсумовування складових. При цьому, якщо складові погрішності розглядаються як випадкові величини, знаки, отримані при диференціюванні, не враховуються.

Приклад. Оцінити значення й погрішність виміру потужності, що поглинається на опорі $R = 100$ Ом при напрузі $U = 10$ В. СКО відносних погрішностей вимірів напруги й опору становлять: $\sigma(\delta U) = 0,5\%$, $\sigma(\delta R) = 1\%$.

потужність, що поглинається, $W = U^2 / R = 1$ Вт.

Для оцінки погрішності виміру проведемо лінеаризацію функції:

$$\ln w = 2 \ln u - \ln r.$$

Тоді відносна погрішність виміру потужності $\delta W = 2\delta U + \delta R$, а дисперсія відносної погрішності: $\sigma^2(\delta W) = 4 \sigma^2(\delta U) + \sigma^2(\delta R)$

$$\text{СКО відносної погрішності } \sigma(\delta W) = \sqrt{(4 \cdot 0,5^2 + 1^2)} \approx 1,414\%$$

Прийнявши довірчу ймовірність $P=0,9$ ($tp=1,6$), запишемо результат вимірів:

$$W = 1 \text{ Вт}; \delta = \pm 2,3\%, P = 0,9.$$

7. Метрологічне забезпечення. Закон « Про забезпечення єдності вимірів».

Структура й функції метрологічних служб.

Забезпечення єдності вимірів - діяльність метрологічних служб, спрямована на досягнення й підтримка єдності вимірів відповідно до законодавчих актів, правил і нормами, установленими національними стандартами й іншими нормативними документами по забезпеченню єдності вимірів.

Зміст метрологічної діяльності більш повно розкриває поняття **метрологічне забезпечення** – установлення й застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм для досягнення єдності й необхідної точності вимірів.

Метрологічне забезпечення	
Наукова основа	Теоретична й прикладна метрологія
Організаційна основа	Державна метрологічна служба, метрологічні служби федеральних органів виконавчої влади і юридичних осіб
Нормативно-правова основа	Закон « Про забезпечення єдності вимірів», Постанови Уряду, нормативні документи ГСИ (Державної системи забезпечення єдності вимірів)
Технічна основа	Державні еталони, системи передачі розмірів одиниць величин (перевірочні схеми), парк робочих засобів вимірів

Державне регулювання метрологічної діяльності здійснюється на основі закону « Про забезпечення єдності вимірів», уперше прийнятого в 1993 і в новій редакції – в 2008 році (Федеральний Закон від 26.06.2008 № 102-ФЗ). У законі визначені форми державного регулювання, вимоги, порядок і правила практично із усіх питань метрологічної діяльності й основам метрологічного забезпечення.

У главі 1 « Загальні положення» установлені мети прийняття й сфера дії, дані визначення основних понять метрології, застосовуваних у тексті закону.

Цілями Федерального Закону є:

- 1) установлення правових основ забезпечення єдності вимірів;
- 2) захист прав і законних інтересів громадян, суспільства й держави від негативних наслідків недостовірних результатів вимірів;
- 3) забезпечення потреби громадян, суспільства й держави в одержанні об'єктивних, достовірних і порівнянних результатів вимірів, використовуваних з метою захисту життя й здоров'я громадян, охорони навколишнього середовища, тварину й рослинного миру, забезпечення оборони й безпеки держави, у тому числі економічної безпеки;
- 4) сприяння розвитку економіки й науково-технічному прогресу.

Державне регулювання забезпечення єдності вимірів поширюється на виміри, виконувані при здійсненні діяльності:

- в області охорони здоров'я, ветеринарії, охорони навколишнього середовища;
- по забезпеченню безпечних умов і охорони праці, виробничого контролю над дотриманням вимог промислової безпеки до експлуатації небезпечного виробничого об'єкта;
- в області оборони й безпеки держави, забезпечення безпеки при надзвичайних ситуаціях;
- торгівлі й товарообмінних операцій, розфасовки товарів;
- державних облікових, банківських, податкових і митних операцій, послуг поштового зв'язку й електрозв'язку;
- в області геодезії, картографії й гідрометеорології;
- оцінки відповідності продукції й інших об'єктів обов'язковим вимогам, заходів державного контролю (нагляду);
- вимірів, проведених з доручення суду, органів прокуратури, державних органів виконавчої влади;
- проведенні офіційних спортивних змагань.

Розділ 2 має заголовок «Вимоги до вимірів, одиниць величин, еталонам одиниць величин, стандартним зразкам, засобам вимірів».

Виміру, що ставляться до сфери державного регулювання, **повинні здійснюватися по атестованих методиках вимірів, із застосуванням засобів вимірів затвердженого типу, що пройшли перевірку. Результати вимірів повинні бути виражені в одиницях величин, допущених до застосування в Російській Федерації.**

Закон допускає до застосування одиниці величин Міжнародної системи одиниць, прийняті Генеральною конференцією по заходах і вагам і рекомендовані МОЗМ. Урядом РФ можуть бути допущені до застосування позасистемні одиниці.

Для передачі розмірів одиниць усім засобам вимірів на території РФ використовуються **державні первинні еталони одиниць величин** (національні еталони), що відтворюють одиницю з найвищою точністю. Еталонну базу країни становлять державні первинні й **вторинні** еталони, що одержують розмір одиниці безпосередньо від первинних. Державні первинні еталони є винятковою федеральною власністю й не підлягають приватизації. Передача розміру одиниці величини робочим засобам вимірів здійснюється від **робочих** еталонів, що прослідковуються до державних первинних еталонів відповідно до **перевірочної схеми**, що встановлює супідрядність засобів вимірів, що брав участь у передачі розміру одиниці, методи й погрішності передачі розмірів. Поряд з державними перевірочними схемами можуть розроблятися й застосовуватися локальні перевірочні схеми (у регіоні, галузі, або на окремому підприємстві). Еталон, що володіє найвищими метрологічними властивостями в перевірочній схемі називають **вихідним еталон**. Державні первинні еталони застосовуються в якості вихідних на території Російської Федерації.

Розділ 3 «Державне регулювання в області забезпечення єдності вимірів» устанавлює наступні форми державного регулювання:

- твердження типу засобів вимірів або стандартних зразків,
- перевірка засобів вимірів,
- метрологічна експертиза,
- державний метрологічний нагляд,
- атестація методик (методів) вимірів,
- акредитація юридичних осіб і індивідуальних підприємців на виконання робіт і (або) надання послуг в області забезпечення єдності вимірів.

Засобу вимірів (СИ), застосовувані в сферах державного регулювання, повинні пройти випробування з наступним твердженням типу СИ (ПР50.2.009-94). **Твердження типу СИ – документально оформлений розв'язок про визнання відповідності типу СИ метрологічним і технічним вимогам (характеристикам) на підставі результатів випробувань із метою твердження типу.** При твердженні типу СИ встановлюються показники точності, межповерочний інтервал і затверджується методика перевірки даного типу СИ. Випробування проводять організації, акредитовані в якості державних центрів випробувань - ГЦІ СИ. За результатами випробувань оформляється свідчення про твердження типу СИ, відомості про затверджені типи СИ вносяться у Федеральний інформаційний фонд по забезпеченню єдності вимірів. На СИ наноситься знак твердження типу.

До введення в експлуатацію або після ремонту кожний екземпляр СИ затвердженого типу, застосовуваних у сфері державного регулювання, зазнає **первинній перевірці**, а в період експлуатації – **періодичній перевірці** (ПР 50.2.006-94). **Перевірка – сукупність операцій, виконуваних з метою підтвердження відповідності СИ метрологічним вимогам.** Перевірку здійснюють акредитовані у встановленому порядку юридичні особи або індивідуальні підприємці. Конкретна фізичну особу, що здійснює перевірку, повинне бути атестованим у якості **поверителя**. Результати перевірки оформляються протоколом і свідченням про перевірку, а також спеціальним знаком про перевірку, наносимим поверителем на СИ або на свідчення про перевірку. Юридичні особи або індивідуальні підприємці, що застосовують СИ в сфері державного регулювання в області забезпечення єдності вимірів (власники СИ), зобов'язані вчасно представляти ці СИ на перевірку.

Обов'язковій **метрологічній експертизі** підлягають вимоги до вимірів, засобів вимірів або стандартним зразкам, що втримуються в проектах нормативних правових актів Російської Федерації, стандарти, продукція, проектна, конструкторська, технологічна документація й інші об'єкти в порядку й випадках, передбачених законодавством Російської Федерації. В інших випадках метрологічна експертиза може проводитися в добровільному порядку.

Державний метрологічний нагляд здійснюється в сфері державного регулювання в області забезпечення єдності вимірів за:

- 1) дотриманням обов'язкових вимог до вимірів, одиниць величин, а також до еталонів одиниць величин, засобам вимірів і стандартним зразкам при їхньому випуску з виробництва, ввозі на територію Російської Федерації, продажу й застосуванні;
- 2) наявністю й дотриманням атестованих методик вимірів;
- 3) за кількістю фасованих товарів в упакуваннях (відхиленнями від заявленого значення).

У цій главі встановлені права й обов'язки посадових осіб при здійсненні державного метрологічного нагляду, а також обов'язок юридичних осіб або індивідуальних підприємців, що здійснюють випуск із виробництва, ввіз і продаж еталонів, засобів вимірів і стандартних зразків, повідомляти про свою діяльність органі державного метрологічного нагляду в тримісячний строк.

У главі 4 «Калібрування засобів вимірів» визначений порядок дій із СИ, не призначеними до застосування в сфері державного регулювання. **Калібрування засобів вимірів - сукупність операцій, виконуваних з метою визначення дійсних значень метрологічних характеристик засобів вимірів.** Калібрування засобів вимірів виконується з використанням еталонів, що прослідковуються до державних первинних еталонів одиниць величин, а при їхній відсутності – до національних еталонів іноземних держав. Результати калібрування, виконаної акредитованою юридичною особою або індивідуальним підприємцем можуть бути використані при перевірці засобу вимірів.

Розділ 5 «Акредитація в області забезпечення єдності вимірів» визначає роботи й послуги, для виконання яких потрібне офіційне визнання компетентності (акредитація). Це – 1) атестація методик вимірів; 2) випробування з метою твердження типу; 3) перевірка; 4) обов'язкова метрологічна експертиза. Принципи акредитації в області забезпечення єдності вимірів повністю збігаються із принципами акредитації, установленими у Федеральному законі «Про технічне регулювання».

У главі 6 «Федеральний інформаційний фонд по забезпеченню єдності вимірів» визначений його зміст, порядок створення й ведення, надання відомостей зацікавленим особам. Найважливіші інформаційні бази даних фонду:

- єдиний перелік вимірів, що ставляться до сфери державного регулювання;
- відомості про державні еталони одиниць величин;
- відомості про затверджені типи СИ й стандартних зразків;
- відомості про атестовані методики вимірів;
- відомості про результати перевірки СИ.

Глава 7 «Організаційні основи забезпечення єдності вимірів» установлює склад і завдання організацій і служб, що здійснюють діяльність по забезпеченню єдності вимірів. До них ставляться:

1. Федеральні органи виконавчої влади, що здійснюють функції:

- по виробленню державної політики й нормативно-правовому регулюванню в області забезпечення єдності вимірів (Міністерство промисловості й енергетики),
- по наданню державних послуг і керуванню державним майном в області забезпечення єдності вимірів (Федеральне агентство по технічному регулюванню й метрології – Ростехрегулирование),
- державного метрологічного нагляду (у цей час – Ростехрегулирование).

2. Державні наукові метрологічні інститути (ГНМИ), підвідомчі Ростехрегулированию, основними завданнями яких є:

- проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень, експериментальних розробок, розробка проектів нормативних документів, обов'язкова метрологічна експертиза, інша науково-технічна діяльність і міжнародне співробітництво в області метрології й забезпечення єдності вимірів;
- створення, удосконалювання, зміст, звірення й застосування державних первинних еталонів одиниць величин.

Найбільш відомі ГНМИ - це Всеросійський НДІ метрологічної служби (ВНИИМС, м. Москва), Всеросійський НДІ метрології (ВНИИМ ім. Д.І. Менделєєва, м. Санкт-Петербург), Уральський НДІ метрології (УНИИМ, м. Єкатеринбург), Сибірський НДІ метрології (СНИИМ, м. Новосибірськ), Всеросійський НДІ фізико-технічних і радіовимірювань (ВНИИФТРИ, сел. Менделєєво Московської області), Всеросійський НДІ оптико-фізичних вимірів (ВНИИОФИ, г. Москва), Всеросійський НДІ расходомерии (ВНИИР, м. Казань) і ін.

3. Державні регіональні центри метрології (у складі ЦСМ – територіальних центрів стандартизації й метрології) – вирішують основні завдання:

- перевірка засобів вимірів відповідно до області акредитації;
- удосконалювання, зміст, і застосування державних еталонів одиниць величин, що перебувають у веденні регіонального центру.

4. Державна служба часу, частоти й визначення параметрів обертання Землі, Державна служба стандартних зразків складу й властивостей речовин і матеріалів, Державна служба стандартних довідкових даних про фізичні константи й властивостях речовин і матеріалів здійснюють діяльність із метою забезпечення єдності вимірів у закріплені за ними областях.

5. Метрологічні служби федеральних органів виконавчої влади організують діяльність по забезпеченню єдності вимірів у межах своєї компетенції в областях діяльності, що ставляться до сфери державного регулювання.

6. Метрологічні служби юридичних осіб і індивідуальні підприємці, акредитовані у встановленому порядку в області забезпечення єдності вимірів.

У новій редакції закону « Про забезпечення єдності вимірів» вимоги по обов'язковості створення метрологічної служби в складі юридичних осіб і її функції не встановлені.

Метрологічні служби юридичних осіб створюються для виконання робіт із забезпечення єдності вимірів на підприємстві (в організації). Типові завдання метрологічної служби юридичної особи:

- калібрування СИ (при наявності відповідних робочих еталонів);
- планування, організація й перевірка своєчасності робіт з перевірки й калібруванню СИ, розробці й атестації методик вимірів (МВИ);
- внутрішній нагляд за станом і застосуванням СИ, МВИ, робочих еталонів, дотриманням метрологічних правил і норм із видачею обов'язкових до виконання приписань по усуненню виявлених порушень;
- керування парком СИ;
- організація й проведення метрологічної експертизи стандартів, конструкторської, технологічної документації й ін.

Новою редакцією закону для метрологічної служби в складі юридичної особи відкрита можливість здійснення діяльності по забезпеченню єдності вимірів в інтересах не тільки своєї, але й інших організацій у випадку відповідної акредитації.

8. Самостійні роботи

Тренувальні завдання

1. Назвіть основні принципи метрології й поясните їхню суть.
2. Сформулюйте основні постулати метрології.
3. Приведіть визначення поняття «вимір».
4. Назвіть загальні ознаки вимірів, властиві вимірам будь-якому ступеня складності, що й відрізняють їх від інших способів одержання інформації.
5. Дайте визначення фізичної величини.
6. Приведіть і поясните вираження, називане основним рівнянням вимірів.
7. Приведіть послідовність основних етапів вимірів. У якому документі можуть бути представлені результати виконання «теоретичних» етапів для технічних вимірів?
8. Дайте визначення поняттям невизначеності й погрішності результату вимірів. Приведіть приклад характеристики невизначеності результату вимірів.
9. Перелічіть відомі вам шкали фізичних величин. Які шкали називають «неметричними» і чому?
10. Назвіть когерентні похідні одиниці системи СИ, що мають спеціальні назви.
11. Перелічіть ознаки, по яких можуть бути класифіковані виміри. Приведіть приклади різновидів вимірів по цих ознаках.
12. Дайте визначення прямих, непрямих, сукупних і спільних вимірів.
13. Дайте визначення терміна «метод вимірів». Які методи вимірів вам відомі?

14. Дайте визначення терміна «принцип вимірів».
15. Дайте визначення терміна «засіб вимірів».
16. Назвіть види засобів вимірів. До яких видів засобів вимірів ставляться гиря, лінійка, секундомір, термометр медичний, магазин опорів?
17. Що таке «датчик»? До якого виду засобів вимірів він ставиться?
18. Для яких вимірів призначені робочі засоби вимірів і еталони?
19. Сформулюйте визначення понять «метрологічна характеристика», «комплекс нормованих метрологічних характеристик засобів вимірів».
20. Перелічіть, у яких цілях установлюються комплекси нормованих метрологічних характеристик засобів вимірів.
21. Назвіть, які групи метрологічних характеристик включаються в комплекси нормованих метрологічних характеристик засобів вимірів відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 8.009-84.
22. Укажіть, для яких видів засобів вимірів установлюються перераховані характеристики для визначення результату вимірів: а) номінальне значення заходу, б) номінальна ціна одиниці молодшого розряду, в) ціна розподілу шкали, г) функція перетворення.
23. Назвіть нормовані відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 8.009-84 характеристики основної погрішності засобів вимірів. Що таке варіація показань засобу вимірів?
24. Укажіть два способи нормування характеристик чутливості засобу вимірів до величин, що впливають. Як взаємозалежні характеристики, нормовані цими способами?
25. Перелічіть повні динамічні характеристики, нормовані відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 8.009-84.
26. Дайте визначення поняттю «клас точності».
27. Дайте визначення абсолютної, наведеної й відносної погрішностей і продемонструйте, як вони взаємозалежні один з одним.
28. Зобразіть можливі границі зміни погрішності в діапазоні вимірів при аддитивному і мультиплікативному характері погрішності засобу вимірів.
29. Приведіть двочленну формулу для оцінки межі відносної погрішності засобу вимірів при одночасній присутності аддитивної і мультиплікативної погрішності.
30. Назвіть три джерела й складових погрішності результату вимірів. Що включає поняття «інструментальна погрішність»?
31. Дайте визначення поняттю «єдність вимірів».
32. Приведіть приклади крапкових і інтервальних характеристик погрішності результату вимірів.
33. Перелічіть й охарактеризуйте показники якості вимірів.
34. Поясніть, що таке методика виконання вимірів і які розділи повинен містити документ на МВИ відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ Р 8.563-96.
35. Приведіть формули для розрахунків середнього квадратического відхилення суми випадкових складових погрішності й інтервальної характеристики випадкової погрішності результату вимірів.
36. Приведіть формулу розрахунків інтервальної характеристики погрішності при підсумовуванні меж невиключених систематичних складових.
37. Напишіть формулу для розрахунків середнього квадратического відхилення погрішності результату багаторазових вимірів.
38. Приведіть формулу й приклад розрахунків погрішності результату непрямих вимірів у випадку лінійної функціональної залежності шуканої фізичної величини від вимірюваних величин.
39. Поясніть, у чому полягає метод лінеаризації функції при обробці результатів непрямих вимірів.

40. Дайте визначення поняттям «забезпечення єдності вимірів» і «метрологічне забезпечення». Що становить наукову, організаційну, нормативно-правову й технічну основи метрологічного забезпечення?
41. Поясніть, для чого призначені первинний еталон, вторинний еталон, робочий еталон, вихідний еталон. У чому відмінність державної й локальної перевірок схем?
42. Назвіть організації (установи), що входять у структуру організацій і служб, що здійснюють діяльність по забезпеченню єдності вимірів і їх основні завдання.
43. Укажіть, які види діяльності ставляться до форм державного регулювання в області забезпечення єдності вимірів.
44. Поясніть, які засоби вимірів повинні знати перевірки, хто проводить і як оформляються результати перевірки засобів вимірів. Що загального й у чому відмінність перевірки й калібрування засобів вимірів?
45. Назвіть основні функції метрологічної служби юридичної особи?

Контрольна робота

Завдання 1. Оцінка інтервалу, у якому перебуває основна погрішність засобу вимірів із заданою ймовірністю (підсумовування складових погрішностей).

Для вимірювального приладу нормовані характеристики основної погрішності за ДСТ 8.009-84: межа значень, що допускаються, систематичної складової погрішності γ_c , межа середнього квадратического відхилення випадкової складової погрішності σ , межа варіації, що допускається H . Визначите границі інтервалу значень основної погрішності вимірювального приладу, у якому вона перебуває з довірчою ймовірністю P .

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\pm\gamma_c, \%$	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15	0,15
$\sigma, \%$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$H, \%$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
P	0,9	0,95	0,98	0,9	0,95	0,98	0,9	0,95	0,98	0,9	0,95	0,98	0,9	0,95	0,98

Варіант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\pm\gamma_c, \%$	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$\sigma, \%$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$H, \%$	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
P	0,9	0,95	0,98	0,9	0,95	0,98	0,9	0,95	0,98	0,9	0,95	0,98	0,9	0,95	0,98

Примітка. Для визначення довірчих границь погрішності використовуйте значення коефіцієнта t , що залежить від довірчої ймовірності P : 1,6 при $P = 0,9$; 2,0 при $P = 0,95$; 2,3 при $P = 0,98$.

Завдання 2. Визначення функції перетворення й погрішностей вимірювального перетворювача по градуировочной характеристикі.

Побудуйте графік і визначте коефіцієнти функції перетворення вимірювального перетворювача виду $U = Sx + b$ за даними, отриманим при його градуировке. Побудуйте графіки залежності абсолютної й відносної погрішності від вхідної величини x .

Варіанти 1 – 10

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U	3	4	8	9	10	12	16	18	19	20	24

Варіанти 11 – 20

x	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U	10	13	14	17	19	21	23	25	28	31

Варіанти 21 – 30

x	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
U	3,0	2,5	2,0	-0,2	-2,2	-3,1	-4,0	-4,5	-5,6	-7,5	-8,0

Примітка. Для визначення коефіцієнтів функції перетворення можна скористатися методом найменших квадратів:

$$S = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i U_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n U_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \quad b = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n U_i - S \sum_{i=1}^n x_i \right)$$

Завдання 3. Визначення характеристик додаткової погрішності засобу вимірів по нормованій функції впливу

Для датчика сили, використовуюваного в діапазоні температур від T_{\min} до T_{\max} нормована функція впливу $\Psi(t) = S \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$. Нормальне значення температури $+20^{\circ}\text{C}$. Визначити граничне значення γ_{\max} , математичне очікування $M(\gamma t)$ і середнє квадратичне відхилення $\sigma(\gamma t)$ додаткової погрішності в заданому інтервалі температури.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{\min}, ^{\circ}\text{C}$	-50	0	+5	-40	-75	-50	0	+5	-40	-75
$T_{\max}, ^{\circ}\text{C}$	+50	+100	+65	+80	+125	+50	+100	+65	+80	+125
$S, \text{\%/}^{\circ}\text{C}$	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015

Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$T_{\min}, ^{\circ}\text{C}$	-50	0	+5	-40	-75	-50	0	+5	-40	-75
$T_{\max}, ^{\circ}\text{C}$	+50	+100	+65	+80	+125	+50	+100	+65	+80	+125
$S, \text{\%/}^{\circ}\text{C}$	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$T_{\min}, ^{\circ}\text{C}$	-50	0	+5	-40	-75	-50	0	+5	-40	-75
$T_{\max}, ^{\circ}\text{C}$	+50	+100	+65	+80	+125	+50	+100	+65	+80	+125
$S, \text{\%/}^{\circ}\text{C}$	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005

Завдання 4. Вибір вольтметра для виміру з найбільшою точністю.

Виберіть із трьох наявних вольтметр для виміру напруги в інтервалі від U_{\min} до U_{\max} з найменшою відносною погрішністю.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

№1	Клас точності	0,5														
	Межа вимірів, В	20														
№2	Клас точності	1,0														
	Межа вимірів, В	10														
№3	Клас точності	0,5/0,2														
	Межа вимірів, В	15														
U _{min} , В		2	3	4	5	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7
U _{max} , В		6	7	8	9	9	8	7	6	5	4	5	6	7	8	9

Варіант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
№1	Клас точності 0,5														
	Межа вимірів 300 В														
№2	Клас точності 1,0														
	Межа вимірів 200 В														
№3	Клас точності 0,5/0,2														
	Межа вимірів 250 В														
U _{min} , В	120	130	140	150	160	150	140	130	120	120	130	140	150	160	170
U _{max} , В	160	170	180	190	190	180	170	160	150	140	150	160	170	180	190

Завдання 5. Оцінка погрішності засобу вимірів у робочих умовах

У паспорті електронного мілівольтметра зазначені наступні нормовані метрологічні характеристики й робочі умови його застосування:

- верхня межа вимірів 300 мВ;
 - основна наведена погрішність приладу – $\gamma, \%$;
 - додаткова погрішність, викликана відхиленням величини, що впливає, від її нормального значення, не перевищує:
 - 0,6 основної погрішності на кожні 10°C зміни температури;
 - 0,6 основної погрішності на кожні 10% зміни напруги харчування;
 - 1,0 основної погрішності на 1% зміни частоти живлячого напруги;
 - робочі умови експлуатації мілівольтметра:
 - температура навколишнього середовища від 10 до 35°C;
 - напруга харчування $220^{+10\%}_{-15\%}$ В;
 - частота живлячого напруги 50 ± 1 Гц;
 - нормальні умови характеризуються значеннями величин, що впливають: температури - 20 С, напруги харчування – 220 В, частоти живлячого напруги 50 Гц.
- Визначити граничну відносну погрішність мілівольтметра в робочих умовах при вимірі напруги U мВ.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\gamma, \%$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
U, мВ	120	150	160	180	200	210	220	230	240	250
Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\gamma, \%$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
U, мВ	120	150	160	180	200	210	220	230	240	250

Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\gamma, \%$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

U, мВ	120	150	160	180	200	210	220	230	240	250
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Завдання 6. Оцінка погрішності результату багаторазових вимірів

Варіанти 1 – 10.

При багаторазовому вимірі струму отримані значення в мА: 98, 100, 97, 101, 99, 102, 103.

Визначити довірчі границі для дійсного значення вимірюваної величини з імовірністю Р.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Р	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

Варіанти 11 - 20

При багаторазовому вимірі отримані відхилення від настроєного розміру ΔD у мкм: 0, +1, +2, +3, +1, -1. Визначити довірчі границі для дійсного значення вимірюваної величини з імовірністю Р.

Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Р	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

Варіанти 21 - 30

При багаторазовому вимірі вологості повітря отримані значення 65, 64, 66, 65, 63, 64, 66, 67%. Визначити довірчі границі для дійсного значення вимірюваної величини з імовірністю Р.

Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Р	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

Примітки. 1. Результат багаторазових вимірів представити у вигляді

$$X - t_{pn}\sigma(X) \leq X \leq X + t_{pn}\sigma(X), P=0,xx.$$

2. Значення розподілу Стьюдента виберіть із таблиці

Довірча імовірність Р	Число вимірів n		
	6	7	8
0,9	2,02	1,94	1,90
0,91	2,10	2,02	1,98
0,92	2,20	2,11	2,07
0,93	2,31	2,21	2,16
0,94	2,43	2,32	2,26
0,95	2,57	2,45	2,37
0,96	2,76	2,62	2,53
0,97	3,02	2,85	2,74
0,98	3,37	3,14	3,00
0,99	4,06	3,71	3,50

Завдання 7. Оцінка погрішності результату непрямих вимірів

При непрямому вимірі потужності в активному навантаженні $P = U^2 / R$ отримані значення опору $R \pm 1$ Ом, напруги $U \pm 3$ В. Визначите граничні значення абсолютної й відносної погрішності результату вимірів потужності. Завдання розв'яжете двома способами:

а) додаванням (з урахуванням коефіцієнтів впливу) відносних погрішностей прямих вимірів опору й напруги, після чого розраховується межа абсолютної погрішності результату вимірів;

б) розрахунками граничних значень потужності по рівнянню непрямих вимірів: $P_{\max} = U^2_{\max}/R_{\min}$, $P_{\min} = U^2_{\min}/R_{\max}$, і межі абсолютної погрішності результату виміру $\Delta P = \pm(P_{\max} - P_{\min})/2$, після чого визначається відносна погрішність.

Зрівняєте отримані двома способами результати.

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R, Ом	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
U, В	120	150	160	180	200	210	220	230	240	250

Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R, Ом	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
U, В	120	150	160	180	200	210	220	230	240	250

Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R, Ом	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
U, В	120	150	160	180	200	210	220	230	240	250

Приклад виконання контрольної роботи

Завдання 1. Для вимірювального приладу нормовані характеристики основної погрішності за ДСТ 8.009-84: межа значень, що допускаються, систематичної складової погрішності $\gamma_c = \pm 1\%$, межа середнього квадратического відхилення випадкової складової погрішності $\sigma = 0,5\%$, межа варіації, що допускається, $H = 1\%$. Визначите границі інтервалу значень основної погрішності вимірювального приладу, у якому вона перебуває з довірчою ймовірністю $P = 0,95$.

Для визначення довірчих границь основної погрішності застосуємо метод рандомизації у відношенні систематичної складової погрішності й варіації, прийнявши їх випадковими величинами з рівномірним законом розподілу. Тоді

$$\gamma_0 = \pm t \sqrt{\frac{\gamma_c^2}{3} + \sigma^2 + \frac{H^2}{12}} = \pm 2 \sqrt{\frac{1^2}{3} + 0,5^2 + \frac{1^2}{12}} = \pm 1,6\%$$

Завдання 2. Побудуйте графік і визначте коефіцієнти функції перетворення вимірювального перетворювача виду $U = Sx + b$ за даними, отриманим при його градуировке. Побудуйте графіки залежності абсолютної й відносної погрішності від вхідної величини x .

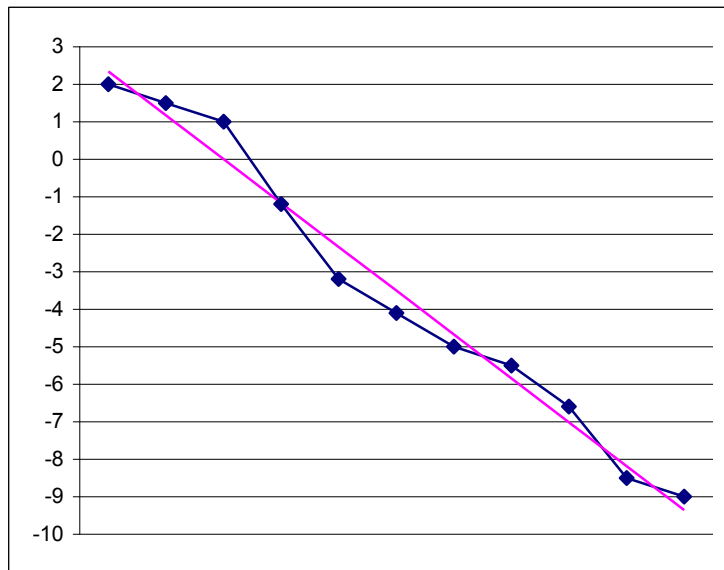
x	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
U	2,0	1,5	1,0	-1,2	-3,2	-4,1	-5,0	-5,5	-6,6	-8,5	-9,0

Коефіцієнти S і b визначаємо методом найменших квадратів. Для розрахунків коефіцієнтів функції перетворення вимірювального перетворювача становимо таблицю

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ
x_i	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	5,5
U_i	2,0	1,5	1,0	-1,2	-3,2	-4,1	-5,0	-5,5	-6,6	-8,5	-9,0	-38,6
x_i^2	0	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25	0,36	0,49	0,64	0,81	1,0	3,85
$x_i U_i$	0	0,15	0,2	-0,36	-1,28	-2,05	-3	-3,85	-5,28	-7,65	-9	-32,12

$$S = \frac{11 \cdot (-32,12) - 5,5 \cdot (-38,6)}{11 \cdot 3,85 - 5,5^2} = -11,696$$

$$b = \frac{1}{11}(-38,6 + 11,696 \cdot 5,5) = 2,34$$



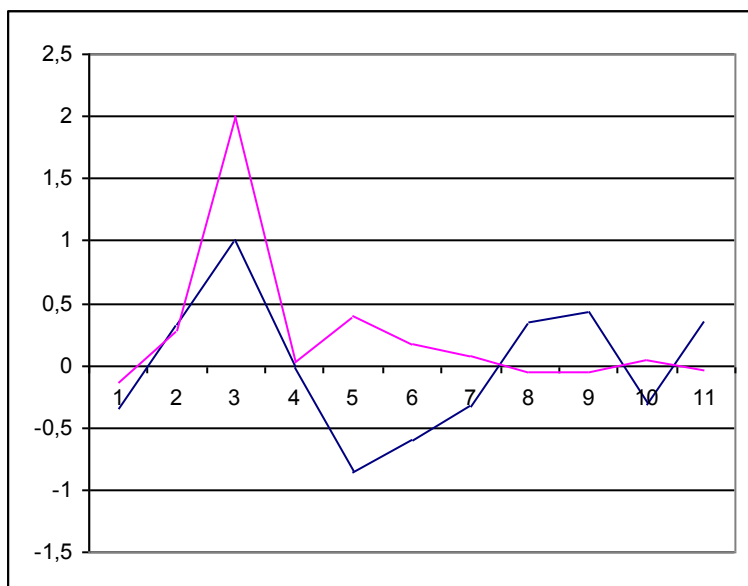
Погрішність вимірювального перетворювача (по виходу) визначаємо, як відхилення значень вихідного сигналу в кожній крапці діапазону вимірів від значень, розрахованих по функції перетворення:

$$\Delta_i = U_i - (S x_i + b); \quad \delta_i = \frac{\Delta_i}{S x_i + b}.$$

Для розрахунків значень погрішностей становимо таблицю

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_i	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$Sx_i + b$	2,34	1,17	0,0008	-1,17	-2,34	-3,508	-4,677	-5,847	-7,017	-8,186	-9,356
U_i	2,0	1,5	1,0	-1,2	-3,2	-4,1	-5,0	-5,5	-6,6	-8,5	-9,0
Δ_i	-0,34	0,33	1	-0,03	-0,86	-0,6	-0,32	0,35	0,42	-0,31	0,36
δ_i	-0,14	0,28	1250	0,026	0,4	0,17	0,07	-0,06	-0,06	0,04	-0,04

Залежність абсолютної й відносної погрішності від вхідної величини x представимо графічно (відносна погрішність у крапці 3 показана умовно).



Завдання 3. Для датчика сили, використовуваного в діапазоні температур від T_{\min} до T_{\max} нормована функція впливу $\Psi(t) = 0,05 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$. Нормальне значення температури $+20^{\circ}\text{C}$. Визначити граничне значення γ_{\max} , математичне очікування $M(\gamma t)$ і середнє квадратичне відхилення $\sigma(\gamma t)$ додаткової погрішності в заданому інтервалі температури: $T_{\min} = -60^{\circ}\text{C}$, $T_{\max} = +150^{\circ}\text{C}$.

Граничне значення додаткової погрішності в діапазоні температур визначаємо по формулі

$$\gamma_{\max} = \Psi(t) (T_{\max} - T_{\text{ну}}) = 0,05(150-20) = 6,5\%$$

Математичне очікування додаткової погрішності в діапазоні температур визначаємо по тій же формулі, замінивши T_{\max} значенням математичного очікування температури $M(t) = (T_{\max} + T_{\min})/2 = (150 - 60)/2 = 45^{\circ}\text{C}$.

$$M(\gamma t) = \Psi(t) (M(t) - T_{\text{ну}}) = 0,05(45 - 20) = 1,25\%$$

Середнє квадратичне відхилення $\sigma(\gamma t)$ додаткової погрішності в заданому інтервалі температури визначаємо по формулі

$$\sigma(\gamma_t) = \sqrt{\Psi^2(t)D(t)}, \text{ де } D(t) - \text{дисперсія значень температури в заданому інтервалі.}$$

Прийнявши температуру в заданому інтервалі випадковою величиною з рівномірним законом розподілу, визначаємо

$$D(t) = (T_{\max} - T_{\min})^2/12 = (150 + 60)^2/12 = 3675 (^{\circ}\text{C})^2.$$

Провівши обчислення, одержимо

$$\sigma(\gamma_t) = \sqrt{0,05^2 \cdot 3675} \approx 3\%$$

Завдання 4. Виберіть із трьох наявних вольтметр для виміру напруги в інтервалі від $U_{\min} = 24 \text{ В}$ до $U_{\max} = 28 \text{ В}$ з найменшою відносною погрішністю.

Вольтметр №1	Клас точності 0,5
	Межа вимірів 60 В
Вольтметр №2	Клас точності 1,0
	Межа вимірів 30 В
Вольтметр №3	Клас точності 0,5/0,2
	Межа вимірів 50 В

Для вольтметрів №1 і №2, клас точності яких нормований у вигляді наведених погрешностей, межі абсолютної погрешності, що допускається, будуть постійні у всьому діапазоні вимірів: $\Delta \frac{\gamma X_k}{100} =$. Тоді відносну погрешність виміру напруги можна визначити

$$\text{по формулі } \delta = \frac{\Delta}{U} 100 = \gamma \frac{X_k}{U}.$$

Для вольтметра №3 відносну погрешність виміру напруги визначимо по формулі $\delta = 0,5 + 0,2 \left(\frac{X_k}{U} - 1 \right)$. Зробивши обчислення, одержимо:

	U = 24 В	U = 28 В
Вольтметр №1	$\delta = 0,5 \frac{60}{24} = 1,25\%$	$\delta = 0,5 \frac{60}{28} \approx 1,1\%$
Вольтметр №2	$\delta = 1,0 \frac{30}{24} = 1,25\%$	$\delta = 1,0 \frac{30}{28} \approx 1,1\%$
Вольтметр №3	$\delta = 0,5 + 0,2 \left(\frac{50}{24} - 1 \right) \approx 0,7\%$	$\delta = 0,5 + 0,2 \left(\frac{50}{28} - 1 \right) \approx 0,7\%$

Найменшою відносною погрешністю при вимірі напруги в інтервалі від $U_{\min} = 24$ В до $U_{\max} = 28$ В має вольтметр №3.

Завдання 5. У паспорті електронного мілівольтметра зазначені наступні нормовані метрологічні характеристики й робочі умови його застосування:

- верхня межа вимірів 300 мВ;
- основна наведена погрешність приладу – $\gamma = 0,2\%$;
- додаткова погрешність, викликана відхиленням величини, що впливає, від її нормального значення, не перевищує:

- 0,6 основної погрешності на кожні 10°C зміни температури;
- 0,6 основної погрешності на кожні 10% зміни напруги харчування;
- 1,0 основної погрешності на 1% зміни частоти живлячого напруги;

- робочі умови експлуатації мілівольтметра:

- температура навколишнього середовища від 10 до 35°C;
- напруга харчування $220_{-15\%}^{+10\%}$ В;
- частота живлячого напруги 50 ± 1 Гц;

- нормальні умови характеризуються значеннями величин, що впливають: температури - 20 С, напруги харчування – 220 В, частоти живлячого напруги 50 Гц.

Визначити граничну відносну погрешність мілівольтметра в робочих умовах при вимірі напруги 100 мВ.

Граничну відносну погрешність мілівольтметра в робочих умовах при вимірі напруги 100 мВ визначимо як суму граничних значень основний і додаткових відносних погрешностей по формулі

$$\delta = \sqrt{(\delta_{\text{осн}}^2 + \delta_t^2 + \delta_U^2 + \delta_f^2)}$$

Розрахуємо значення складових погрешностей.

$$\delta_{\text{осн}} = \gamma \frac{X_k}{U_x} = 0,2 \frac{300}{100} = 0,6\% ; \quad \delta_t = 0,6 \delta_{\text{осн}} \frac{t_{\max} - t_{\text{нр}}}{10} = 0,6 \cdot 0,6 \frac{35 - 20}{10} = 0,54\% ;$$

$$\delta_U = 0,6 \delta_{\text{осн}} \frac{|\Delta U|_{\max}}{10} = 0,6 \cdot 0,6 \frac{15}{10} = 0,54\% ; \quad \delta_f = 1,0 \delta_{\text{осн}} \frac{|\Delta f|}{0,01 f} = 1,0 \cdot 0,6 \frac{1}{0,01 \cdot 50} = 1,2\%$$

Підставляючи розрахункові значення, одержимо

$$\delta = \sqrt{(0,6)^2 + (0,54)^2 + (0,54)^2 + (1,2)^2} \approx 1,5\%$$

Завдання 6. При багаторазовому вимірі струму отримані значення в мА: 10,09; 10,12; 10,15; 10,11; 10,13; 10,08; 10,16. Визначити довірчі границі для дійсного значення вимірюваної величини з імовірністю $P = 0,95$ ($t = 2,45$).

За результат вимірів ухвалюємо середнє з отриманих значень струму: $I = 10,12$ мА. Середнє квадратическое відхилення результату вимірів (середнього) знаходимо по формулі

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - I)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(-0,03)^2 + 0^2 + 0,03^2 + (-0,01)^2 + 0,01^2 + (-0,04)^2 + 0,04^2}{7(7-1)}} = 0,0111 \text{ мА.}$$

Довірчі границі погрішності результату вимірів

$$\Delta = \pm t\sigma = \pm 2,45 \cdot 0,0111 \approx \pm 0,03 \text{ мА}$$

Довірчі границі для дійсного значення вимірюваної величини представимо у вигляді:
 $10,09 \leq I \leq 10,15$; $P = 0,95$.

Завдання 7. При непрямому вимірі потужності в активному навантаженні $P = U^2/R$ отримані значення опору $R = 200 \pm 1 \Omega$, напруги $U = 100 \pm 3 \text{ В}$. Визначити граничні значення абсолютної й відносної погрішності результату вимірів потужності.

$$\text{Результат вимірів визначаємо по вихідній залежності } P = \frac{U^2}{R} = \frac{100^2}{200} = 50 \text{ Вт}$$

Для оцінки погрішності виміру проведемо лінеаризацію функції:

$$\ln p = 2 \ln u - \ln r.$$

Тоді відносна погрішність виміру потужності $\delta_p = 2 \delta_u + \delta_r$

$$\text{Обчислюємо відносну погрішність } \delta_p = \pm \left(2 \frac{3}{100} + \frac{1}{200} \right) 100 = \pm 6,5\%$$

$$\text{Абсолютна погрішність результату вимірів } \Delta_p = \pm \frac{\delta_p P}{100} = \pm \frac{6,5 \cdot 50}{100} \approx \pm 3,25 \text{ Вт.}$$

Застосуємо інший спосіб визначення погрішності результату вимірів.

$$\text{Абсолютна погрішність результату вимірів } \Delta_p = \pm \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2},$$

$$\text{де } P_{\max} = \frac{(U + \Delta_U)^2}{R - \Delta_R} = \frac{(100 + 3)^2}{200 - 1} = 53,31 \text{ Вт}, \quad P_{\min} = \frac{(U - \Delta_U)^2}{R + \Delta_R} = \frac{(100 - 3)^2}{200 + 1} = 46,81 \text{ Вт}.$$

$$\Delta_p = \pm \frac{53,31 - 46,81}{2} = \pm 3,25 \text{ Вт. Відносна погрішність } \delta_p = \pm \frac{3,25}{50} \cdot 100 = \pm 6,5\%$$

Отримані двома способами оцінки погрішності ідентичні.

Рекомендована література

1. Федеральний Закон від 26.06.2008 № 102-ФЗ «Про забезпечення єдності вимірів»
2. ДЕРЖСТАНДАРТ 8.009-84 ГСИ. Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірів
3. ДЕРЖСТАНДАРТ 8.401-80 ГСИ. Класи точності засобів вимірів. Загальні вимоги
4. ДЕРЖСТАНДАРТ 8.417-2002 ГСИ. Одиниці величин
5. ДЕРЖСТАНДАРТ 8.563-96 ГСИ. Методики виконання вимірів
6. РМГ 29-99 ГСИ. Метрологія. Основні терміни й визначення
7. МІ 1317-2004 ГСИ. Результати й характеристики погрешностей вимірів. Форми вистави. Способи використання при випробуваннях зразків продукції й контролі їх параметрів
8. Сергєєв А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрологія, стандартизація, сертифікація. Навчальний посібник.- М.: Логос, 2003
9. Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.І. Метрологія, стандартизація й сертифікація: Підручник для вузів.- М.: Вища школа, 2006
10. Рыжаков В.В. Метрологія, стандартизація, сертифікація. Навчальний посібник.- Пенза: Изд-У ПТИ, 2002
11. Рыжаков В.В., Ларкин С.Е. Метрологія, стандартизація, сертифікація. Посібник з виконання лабораторних робіт «Дослідження метрологічних характеристик вимірювальних ланцюгів за допомогою Electronics Workbench».- Пенза: Изд-У ПГТА, 2008