

З М І С Т

ВСТУП	7
1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ У ВИМІРЮВАННЯХ	10
1.1 Поняття невизначеності вимірювання	10
1.2 Систематизація невизначеностей вимірювання	14
1.3 Способи оцінювання стандартних невизначеностей	15
1.3.1 Оцінювання невизначеності за типом А.	16
1.3.2 Оцінювання невизначеності за типом В.....	19
1.4 Форми подання складових невизначеностей.....	24
1.4.1 Форма подання стандартної невизначеності.....	26
1.4.2 Форма подання комбінованої невизначеності при некорельованих вхідних величинах.....	29
1.4.3 Форма подання комбінованої невизначеності при корельованих вхідних величинах.	33
1.4.4 Форма подання розширеної невизначеності.....	36
1.4.5 Форма подання відносних невизначеностей.....	40
1.4.6 Критерій перевірки наявності кореляції між парами результатів вимірювань.	40
Контрольні запитання	41
2 ВИДИ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ У ВИМІРЮВАННЯХ	43
2.1 Класифікація видів невизначеностей	43
2.1.1 Інструментальні невизначеності	43
2.1.2 Методичні невизначеності.....	45
2.1.3 Суб'єктивні невизначеності.	47
2.2 Сфера застосування суб'єктивних вимірювань	48
2.3 Принцип невизначеності Гейзенберга	50
2.4 Принцип доповнюваності і співвідношення невизначеностей..	52
2.5 Принцип суперпозиції	54
2.6 Критерій нікчемної невизначеності	56
Контрольні запитання	57

3 СПОСОБИ ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ.....	58
3.1 Опрацювання результатів прямих вимірювань.....	58
3.1.1 Опрацювання результатів прямих вимірювань з одноразовими спостереженнями.....	59
3.1.2 Опрацювання результатів прямих вимірювань із багаторазовими спостереженнями.....	61
3.1.3 Опрацювання груп прямих вимірювань з багаторазовими спостереженнями	64
3.2 Опрацювання результатів опосередкованих вимірювань	70
3.2.1 Оцінювання некорельованих вхідних величин.....	72
3.2.2 Оцінювання корельованих вхідних величин	74
3.3 Опрацювання результатів сумісних вимірювань	76
3.4 Опрацювання результатів сукупних вимірювань	85
Контрольні запитання	88
4 ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПРИКЛАДИ ВИРАЖЕННЯ КОМПОНЕНТІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	90
4.1 Практичні рекомендації щодо вираження компонентів невизначеності.....	90
4.1.1 Випадковість та повторність спостережень.....	90
4.1.2 Кореляції	92
4.1.3 Необхідність оцінювання за типом В	95
4.1.4. Математично детерміновані розподіли	95
4.1.5 Запозичені вхідні значення.....	97
4.1.6 Вимірювані вхідні величини	98
4.1.7 Невизначеність зразка.....	102
4.2 Узагальнений алгоритм оцінювання та вираження невизначеностей вимірювань.....	103
4.3 Порівняльний аналіз двох підходів щодо вираження характеристик точності вимірювань	107
4.3.1 Методика перерахунку характеристик похибок в характеристики невизначеності вимірювань	114
4.3.2 Методика перерахунку характеристик невизначеності в характеристики похибки.....	118

4.4 Приклади опрацювання невизначеностей результатів вимірювань	119
4.4.1 Калібрування кінцевої міри довжини	119
4.4.2 Вимірювання активного і реактивного опорів.....	127
4.4.3 Калібрування термометра	133
4.4.4 Вимірювання активності.....	139
4.4.5 Вимірювання сили електричного струму	145
4.4.6 Багаторазові вимірювання частоти синусоїдального сигналу	151
4.4.7 Калібрування декількох груп спостережень еталона напруги.....	155
4.4.8 Опрацювання результатів вимірювань при вимірювальному контролі несинхронності обертання кутових швидкостей	159
4.4.9 Оцінювання невизначеності вимірювального каналу активності іонів	165
4.4.10 Оцінювання невизначеності комп'ютерно-вимірювальної системи контролю якості електроенергії.....	170
4.4.11 Оцінювання невизначеності вимірювання моменту інерції ротора за амплітудою крутильних коливань	178
4.5 Рекомендації щодо складання звіту про невизначеність.....	184
Контрольні запитання	188

5 ВИРАЖЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ

ДИНАМІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ	189
5.1 Динамічні характеристики засобів вимірювальної техніки	189
5.2 Форма представлення динамічної невизначеності вимірювання	195
5.3 Приклад оцінки динамічної невизначеності при вимірюванні віброприскорення.....	197
Контрольні запитання	207

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	208
-------------------------------------	-----

ДОДАТКИ	211
Додаток А Значення коефіцієнта $tr(v)$ для випадкової величини, що має розподіл Стюдента з v ступенями вільності ..	212
Додаток Б Квантиль F-розподілу при $p = 0,95$..	213
Додаток В Деякі перетворення Лапласа.....	214
Додаток Г Зв'язок між динамічними характеристиками засобів вимірювальної техніки ..	215
Додаток Д Таблиця інтегралів і їх перетворень.....	216
Додаток Е Варіанти контрольних завдань ..	217
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	221

Вступ

При складанні звіту про результат вимірювання фізичної величини (physical size) необхідно подати кількісне зазначення якості результату так, щоб можна було правильно оцінити його надійність (reliability). Без такого зазначення результати вимірювань не можна порівняти ні між собою, ні з довідковими величинами, поданими у специфікації чи стандарті. Тому необхідно, щоб була легкоздійсненна, зрозуміла і загальноприйнята методика опрацювання результатів вимірювань на основі теорії невизначеності у вимірюваннях.

Поняття невизначеності як кількісної характеристики є порівняно новим у вимірюваннях, хоча похибка та аналіз похибки давно використовуються в метрології. На сьогоднішній день загальновизнано, що, коли вже оцінені всі відомі й допустимі компоненти похибки і внесені відповідні поправки, все ще залишається невизначеність відносно істинності встановленого результату, тобто сумніви у тому, наскільки добре результат вимірювання відображає значення вимірюваної величини (measuring size).

Так само як практично універсальне використання Міжнародної системи одиниць (SI) внесло узгодженість у всі наукові і технологічні вимірювання, так і всесвітня узгодженість в оцінюванні та вираженні невизначеності вимірювання повинна забезпечити належне розуміння і правильне використання широкого спектра результатів вимірювань в науці, техніці, торгівлі, промисловості. В еру світового ринку визначальним є те, щоб метод оцінювання і вираження невизначеності був однаковим у цілому світі, в результаті чого вимірювання, проведені в різних країнах, можна було легко порівняти.

Ідеальний метод оцінювання і визначення невизначеності результату вимірювання повинен бути універсальним: придатним

для всіх видів вимірювань і для всіх типів вхідних даних, що використовуються у вимірюваннях.

Величина, яка безпосередньо використовується для вираження невизначеності, повинна бути внутрішньо узгоджена: безпосередньо виведена з компонентів, які її утворюють, а також не повинна залежати від групування цих компонентів і від їх розкладу на субкомпоненти; повинна бути можливість прямого використання невизначеності одного результату як компонента оцінювання невизначеності іншого, в якому використовується перший результат.

Далі, у багатьох галузях промисловості і торгівлі, а також у сферах здоров'я і безпеки часто необхідно подавати результат вимірювання з інтервалом, у якому, можливо, знаходиться більша частина розподілу значень, які обґрунтовано можуть характеризувати кількісно вимірювану величину. Таким чином, ідеальний метод оцінювання і визначення невизначеності повинен забезпечувати такий інтервал, зокрема, інтервал з ймовірністю охоплення або рівнем довіри, які реально відповідають йому.

Цей навчальний посібник базується на методах, наведених у Рекомендації ІNC I (1980) «Вираження експериментальних невизначеностей» робочої групи з встановлення невизначеностей, яку скликало Міжнародне бюро мір і вагів (МБМВ) у відповідь на запит Міжнародного комітету мір і вагів (МКМВ).

Невизначеність результату вимірювання у загальному випадку складається з кількох компонентів, які можна згрупувати у дві категорії, залежно від способу оцінювання їх числового значення: тип А – компоненти, оцінені статистичними методами; тип В – компоненти, оцінені іншими способами.

Між поділом на тип А та тип В і поділом на «випадкові» і «систематичні» невизначеності, які раніше використовувалися, не завжди існує проста відповідність. Вираз «систематична невизначеність» (systematic uncertainty) може бути незрозумілим, його потрібно уникати.

Кожний детальний звіт про невизначеності повинен містити повний перелік компонентів і для кожного з них – метод, який використовувався при одержанні його числового значення.

Компоненти типу А характеризуються оціненими дисперсіями S_i^2 (або оціненими «стандартними відхиленнями» S_i) і числом степенів вільності. У випадку необхідності слід зазначати коваріації.

Компоненти типу В повинні характеризуватися величинами U_j^2 , які можна розглядати як наближення до відповідних дисперсій, існування яких допускається. Величини U_j^2 можна розглядати як дисперсії, а U_j – як стандартні відхилення. При необхідності, коваріації повинні розглядатися аналогічно.

Комбінована невизначеність повинна характеризуватися числовим значенням, одержаним при застосуванні звичайного методу для складання дисперсій. Комбінована невизначеність і її компоненти повинні виражатися у формі «стандартних відхилень».

Якщо в окремих випадках для одержання загальної невизначеності комбіновану невизначеність необхідно множити на коефіцієнт, то коефіцієнт множення повинен бути завжди зазначений.

З огляду на те, що Рекомендації ІNC I на сьогоднішній день є фактично стандартом вираження якості вимірювань у міжнародній практиці, необхідно впровадження їх положень в державні нормативні документи, а також вивчення їх у програмах вузів при підготовці бакалаврів та магістрів з метрології.