

УДК 621.317: 389.14  
ББК 30.10  
В19

Затверджено Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів технічних спеціальностей. Лист № 1/11-19296 від 08.12.2014 р.

Рецензенти:

П. Г. Столярчук, доктор технічних наук, професор  
Ю. В. Куц, доктор технічних наук, професор  
М. В. Мислович, доктор технічних наук, професор

Васілевський, О. М.

В19 Основи теорії невизначеності вимірювань : підручник / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 230 с.

ISBN 978-966-641-632-5

У підручнику викладено основні положення міжнародного підходу до оцінювання характеристик точності вимірювань. Підручник містить послідовний виклад основ теорії невизначеності вимірювань, алгоритмів оцінювання невизначеностей, оцінки кількісних результатів випробувань та форм подання невизначеностей вимірювань. Підручник відповідає вимогам державних стандартів України та навчальній програмі дисципліни «Основи теорії невизначеності вимірювань» і призначений для студентів технічних напрямів, науковців та аспірантів спеціальностей 05.01.02, 05.11.01, 05.11.08, 05.11.13, 05.13.05.

УДК 621.317: 389.14  
ББК 30.10

ISBN 978-966-641-632-5

© О. Васілевський, В. Кучерук, Є. Володарський, 2015

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ У ВИМІРЮВАННЯХ.....	8
1.1 Поняття невизначеності вимірювання.....	8
1.2 Систематизація невизначеностей вимірювання.....	10
1.3 Способи оцінювання стандартних невизначеностей.....	12
1.3.1 Оцінювання невизначеності за типом А.....	12
1.3.2 Оцінювання невизначеності за типом В.....	15
1.4 Форми подання невизначеності.....	18
1.4.1 Стандартна невизначеність.....	19
1.4.2 Комбінована невизначеність при некорельованих вхідних величинах.....	23
1.4.3 Комбінована невизначеність при корельованих вхідних величинах.....	25
1.4.4 Розширена невизначеність.....	29
1.4.5 Відносна невизначеність.....	31
1.4.6 Критерій перевірки наявності кореляції між результатами вимірювань.....	31
Контрольні запитання.....	32
2 ВИДИ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ У ВИМІРЮВАННЯХ.....	34
2.1 Класифікація видів невизначеностей.....	34
2.1.1 Інструментальні складові невизначеності.....	34
2.1.2 Методичні складові невизначеності.....	35
2.1.3 Суб'єктивні складові невизначеності.....	37
2.2 Галузь застосування суб'єктивного оцінювання.....	38
2.3 Принцип невизначеності Гейзенберга.....	39
2.4 Принцип доповнюваності і співвідношення невизначеностей.....	41
2.5 Принцип суперпозиції.....	42
2.6 Критерій несуттєвості невизначеності.....	43
Контрольні запитання.....	44
3 СПОСОБИ ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ.....	46
3.1 Обробка результатів прямих вимірювань.....	46
3.1.1 Обробка результатів прямих вимірювань з одноразовими спостереженнями.....	46
3.1.2 Обробка результатів прямих вимірювань із багаторазовими спостереженнями.....	48
3.1.3 Обробка груп прямих вимірювань з багаторазовими спостереженнями.....	50
3.2 Обробка результатів опосередкованих вимірювань.....	55
3.2.1 Оцінювання невизначеності некорельованих вхідних величин.....	56
3.2.2 Оцінювання невизначеності корельованих вхідних величин.....	58
3.3 Опрацювання результатів сумісних вимірювань.....	59

3.4	Опрацювання результатів сукупних вимірювань	66
	Контрольні запитання	69
4	<b>ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПРИКЛАДИ ОЦІНЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ</b>	70
4.1	Практичні рекомендації щодо оцінювання компонентів невизначеності	70
4.1.1	Випадковість та повторність спостережень	70
4.1.2	Оцінювання кореляції між вхідними величинами	71
4.1.3	Оцінювання складових невизначеності типу В	73
4.1.4	Оцінювання математично детермінованих розподілів	73
4.1.5	Оцінювання невизначеності значень запозичених величин	74
4.1.6	Деякі особливості оцінювання вхідних величин	75
4.1.7	Оцінювання невизначеності стандартного зразка	78
4.2	Узагальнений алгоритм оцінювання та подання невизначеностей вимірювань	79
4.3	Порівняльний аналіз двох підходів до вираження характеристик точності вимірювань	82
4.3.1	Методика перерахунку характеристик похибок в характеристиці невизначеності вимірювань	87
4.3.2	Методика перерахунку характеристик невизначеності в характеристики похибки	90
4.4	Приклади опрацювання невизначеностей у вимірюваннях	91
4.4.1	Калібрування кінцевої міри довжини	91
4.4.2	Вимірювання активної і реактивної складових імпедансів	97
4.4.3	Калібрування термометра	101
4.4.4	Вимірювання активної складової повного опору	105
4.4.5	Вимірювання сили електричного струму	110
4.4.6	Багаторазові вимірювання частоти синусоїдального сигналу	115
4.4.7	Калібрування декількох груп спостережень еталона напруги	118
4.4.8	Опрацювання результатів вимірювань при вимірювальному контролі несинхронності обертання роторів електродвигунів	120
4.4.9	Оцінювання невизначеності вимірювального каналу активності іонів	125
4.4.10	Оцінювання невизначеності комп'ютерно-вимірювальної системи контролю якості електроенергії	129
4.4.11	Оцінювання невизначеності вимірювання моменту інерції ротора за амплітудою круглих коливань	135
4.4.12	Оцінювання невизначеності вимірювання довжини штрихової міри	140
4.4.13	Оцінювання невизначеності вимірювання зусилля	142
4.4.14	Оцінювання невизначеності опосередкованого вимірювання віброприскорення при калібруванні акселерометра	147
4.4.15	Оцінювання невизначеності вимірювання частоти обертання роторних систем	149

4.4.16	Оцінювання невизначеності сукупного вимірювання маси	155
4.5	Рекомендації щодо складання звіту про невизначеність результату	157
	Контрольні запитання	159
5	<b>НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИНАМІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ</b>	160
5.1	Динамічні характеристики засобів вимірювальної техніки	160
5.2	Форма подання динамічної невизначеності вимірювань	164
5.3	Приклад оцінювання динамічної невизначеності при вимірюванні віброприскорення	165
5.4	Приклад оцінювання динамічної невизначеності при вимірюванні динамічного моменту роторних систем	169
5.5	Невизначеність відновлення сигналів під час динамічних вимірювань	174
	Контрольні запитання	178
6	<b>ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ</b>	179
6.1	Експериментальний підхід до оцінювання невизначеності результатів випробувань	189
6.2	Приклад оцінювання невизначеності результатів випробувань при визначенні об'ємної частки бензолу	195
6.3	Застосування робастних методів для оцінювання повторюваності результатів випробувань	197
6.4	Приклад застосування робастних методів при оцінюванні повторюваності лабораторних випробувань	203
6.5	Методика використання абсолютного медіанного відхилення при оцінюванні точності результатів випробувань	206
6.6	Приклад використання абсолютного медіанного відхилення при оцінюванні відтворюваності методики лабораторних випробувань	211
	Контрольні запитання	213
	<b>БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК</b>	214
	<b>ДОДАТКИ</b>	219
	Додаток А. Значення коефіцієнта $t_p(v)$ для випадкової величини, що має розподіл Стьюдента з $v$ ступенями вільності	220
	Додаток Б. Квантиль $F$ -розподілу при $p = 0,95$	221
	Додаток В. Перетворення Лапласа деяких функцій	222
	Додаток Г. Зв'язок між динамічними характеристиками засобів вимірювальної техніки	223
	Додаток Д. Таблиця інтегралів і їх перетворень	224
	Додаток Е. Варіанти контрольних завдань	225
	<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК</b>	228