

# ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ</b> .....	<b>3</b>
<b>ВСТУП</b> .....	<b>12</b>

## **Розділ 1 ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ**

### **ГЛАВА 1**

<b>Основні поняття та загальні положення</b> .....	<b>17</b>
1.1 Основні поняття .....	<b>17</b>
1.2 Загальні положення .....	<b>24</b>
1.3 Основні етапи розвитку світової метрології .....	<b>34</b>
1.4 Розвиток метрології в Україні .....	<b>50</b>

### **ГЛАВА 2**

#### **Вимірювання фізичних величин**

<b>і параметрів сигналів</b> .....	<b>63</b>
2.1 Основні етапи вимірювань .....	<b>63</b>
2.2 Основні методи вимірювань .....	<b>69</b>
2.3 Вимірювальні сигнали та їхні основні параметри .....	<b>83</b>
2.4 Особливості вимірювальних сигналів .....	<b>92</b>

### **ГЛАВА 3**

<b>Похибки та невизначеності вимірювань</b> .....	<b>107</b>
3.1 Основні поняття та загальні положення .....	<b>107</b>
3.2 Похибки вимірювань .....	<b>112</b>
3.3 Невизначеність вимірювань .....	<b>122</b>
3.4 Представлення результатів вимірювань .....	<b>138</b>

### **ГЛАВА 4**

<b>Засоби вимірювальної техніки</b> .....	<b>150</b>
4.1 Основні поняття та загальні положення .....	<b>150</b>
4.2 Особливості застосування .....	<b>158</b>
4.3 Нормовані метрологічні характеристики .....	<b>167</b>
4.4 Класи точності засобів вимірювальної техніки .....	<b>185</b>

## **ГЛАВА 5**

### **Еталони, стандартні зразки,**

<b>методики виконання вимірювань</b> . . . . .	<b>192</b>
5.1 Еталони та їхнє призначення . . . . .	192
5.2 Нормовані метрологічні характеристики еталонів . . . . .	201
5.3 Стандартні зразки та їхні нормовані метрологічні характеристики . . . . .	206
5.4 Методики виконання вимірювань та їхні особливості . . . . .	215

## **ГЛАВА 6**

<b>Дослідження національних еталонів</b> . . . . .	<b>225</b>
6.1 Основні етапи звірення національних еталонів . . . . .	225
6.2 Оброблення результатів звірення національних еталонів . . . . .	236
6.3 Особливості оброблення результатів звірення еталонів в рамках регіональних організацій . . . . .	243
6.4 Забезпечення взаємного визнання національних еталонів та калібрувальних і вимірювальних можливостей . . . . .	253

## **Розділ 2**

### **ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ І ОДИНИЦІ**

## **ГЛАВА 7**

<b>Основні поняття та загальні положення</b> . . . . .	<b>264</b>
7.1 Класифікації величин і одиниць . . . . .	264
7.2 Одиниці та числові значення фізичних величин . . . . .	274
7.3 Кратні та частинні одиниці SI . . . . .	277
7.4 Правила написання та застосування символів величин, назв і позначень одиниць . . . . .	280

## **ГЛАВА 8**

<b>Одиниці міжнародної системи одиниць SI та позасистемні одиниці</b> . . . . .	<b>288</b>
8.1 Основні та похідні одиниці SI . . . . .	288
8.2 Позасистемні одиниці, допущені до застосування нарівні з одиницями SI . . . . .	299

8.3	Безрозмірні величини та їхні одиниці . . . . .	302
8.4	Основи подальшого розвитку Міжнародної системи одиниць . . . . .	306

## **ГЛАВА 9**

<b>Фізичні сталі та характеристичні числа . . . . .</b>		<b>317</b>
9.1	Основні положення . . . . .	317
9.2	Коротка історична довідка . . . . .	319
9.3	Фундаментальні фізичні сталі . . . . .	323
9.4	Характеристичні числа . . . . .	339

## **ГЛАВА 10**

<b>Шкали фізичних величин . . . . .</b>		<b>344</b>
10.1	Основні положення . . . . .	344
10.2	Коротка історична довідка . . . . .	353
10.3	Визначення деяких шкал найменувань . . . . .	355
10.4	Визначення деяких шкал порядку . . . . .	356
10.5	Визначення деяких шкал інтервалів і відношень . . . . .	365

## **Розділ 3**

### **МЕТРОЛОГІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ**

## **ГЛАВА 11**

<b>Особливості національної метрологічної інфраструктури . . . . .</b>		<b>371</b>
11.1	Вплив держави на метрологічну діяльність . . . . .	371
11.2	Метрологічна система України . . . . .	375
11.3	Оцінювання відповідності засобів вимірювальної техніки . . . . .	390
11.4	Періодична повірка засобів вимірювальної техніки . . . . .	399
11.5	Особливості метрологічного нагляду . . . . .	420

## **ГЛАВА 12**

<b>Метрологічна простежуваність і калібрування засобів вимірювальної техніки . . . . .</b>		<b>426</b>
12.1	Основні поняття та загальні положення . . . . .	426
12.2	Сертифікати калібрування засобів вимірювальної техніки . . . . .	442

12.3 Особливості калібрування мір і засобів вимірювання . . . . .	453
12.4 Особливості оцінювання невизначеності при калібруванні мір і засобів вимірювання . . . . .	465
12.5 Організаційно-технічні системи дистанційного калібрування . . . . .	476
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ . . . . .</b>	<b>485</b>

## **ДОДАТКИ**

### **Додаток 1.**

Терміни та визначення понять в галузі метрології та метрологічної діяльності . . . . .	489
---	-----

### **Додаток 2.**

Перелік національних законодавчих і нормативно-правових актів, нормативних документів . . . . .	559
---	-----

### **Додаток 3.**

Перелік міжнародних і регіональних стандартів і настанов з метрології . . . . .	567
--	-----

# ВСТУП

На сучасному етапі розвитку науки і техніки зростає роль вимірювань і метрології при проведенні наукових досліджень, випробуваннях засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) й іншої різноманітної продукції, значно підвищуються вимоги до точності та достовірності результатів вимірювань, розширюються їхні діапазони. Досягнення конкурентоспроможності продукції національних товаровиробників на світовому ринку неможливе без урахування сучасних метрологічних норм і правил, викладених у сучасних нормативно-правових актах і нормативних документах (НД).

Усунення технічних бар'єрів у торгівлі (ТВТ) базується на досягненні взаємного визнання результатів вимірювань у сучасних умовах глобалізації економіки і міжнародного розподілу праці. В умовах глобалізації економіки і торгівлі важливим є забезпечення принципу «одне вимірювання – і досягнення його всесвітнього визнання», завдяки якому можливо уникнути повторних вимірювань і випробувань, домогтися економії ресурсів, матеріалів, часу, персоналу, фінансів.

Оновлення сучасних знань в галузі метрології, перегляд та прийняття нових НД з метрології здійснюється виключно високими темпами. При цьому підвищилась роль гармонізації метрологічних інфраструктур різних країн світу і виникла необхідність приведення їх у відповідність між собою. В цих умовах величезного значення набула оптимальна гармонізація національних НД з вимогами міжнародних і регіональних документів і стандартів.

Забезпечення взаємного визнання результатів вимірювань і випробувань, проведених в різних країнах, в першу чергу залежить від гармонізації на національному рівні положень національних НД з питань метрології на основі настанов, стандартів і рекомендацій міжнародних і регіональних організацій. В той же час, основні положення окремих настанов і рекомендацій регіональних організацій, в деяких випадках, вимагають перегляду в силу суттєвих змін у визначені деяких термінів переглянутих міжнародних словників.

Бурний розвиток науки і техніки, широке застосування комп'ютерних технологій у всіх сферах діяльності людини,

активний розвиток міжнародної торгівлі поставили надзвичайно актуальну проблему гармонізації систем одиниць фізичних величин (ФВ) чи одиниць вимірювання, які використовуються у країнах світу. Міжнародна система одиниць (SI) – це не статична система, вона розвивається і має відповідати зростаючим світовим вимогам до вимірювань всіх рівнів точності й у всіх галузях науки, технології та людської діяльності. Чим точніше вимірювання, що проводяться, тим більша ретельність вимагається для реалізації одиниць вимірювань.

У 2019 р. у світовій метрології відбулась по суті революційна подія – вступили в силу зміни визначених основних одиниць SI. З цього моменту вони стали визначатися через фіксовані значення фундаментальних фізичних сталих (ФФС). Сучасний спосіб визначення одиниць SI є результатом десятиліть тривалого руху до реалізації одиниць, які концептуально відокремлюються від їхніх визначень. Наслідком цього є те, що в міру розвитку науки та технологій можуть бути впроваджені нові та найточніші реалізації одиниць без необхідності переосмислення самих одиниць. Був скасований останній артефакт, який використовувався для визначення основної одиниці SI – Міжнародний прототип кілограма.

Трансформація національного законодавства з питань метрології згідно з міжнародними документами та приведення національної метрологічної системи у відповідність до сучасних вимог глобальної метрологічної системи є важливим і нелегким завданням. Чинний Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» приведений у відповідність до вимог міжнародного документу Міжнародної організації законодавчої метрології (OIML) – OIML D1, європейської Директиви 2014/32/EU стосовно надання на ринку ЗВТ. Це було необхідно для приведення у відповідність національного законодавства з питань метрології з вимогами Світової організації торгівлі (COT) і директивами Європейського Союзу (ЄС) щодо ЗВТ.

Найсуттєвішими елементами трансформації є запровадження системи оцінювання відповідності (ОВ) і періодичної повірки ЗВТ. ОВ ЗВТ до вимог відповідних національних технічних регламентів (ТР), зокрема, щодо схвалення типу і первинної повірки ЗВТ, виконують спеціально призначені органи з ОВ. Закон України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності»

визначає правові, організаційні та економічні засади акредитації органів з ОБ в Україні.

Однією із сфер діяльності Національного агентства з акредитації України є акредитація калібрувальних лабораторій. Основним завданням цих лабораторій є калібрування ЗВТ для акредитованих випробувальних лабораторій. У зв'язку з цим значно підвищується значення калібрування ЗВТ і взаємного визнання його результатів в акредитованих лабораторіях інших країн.

Вимоги СОР, зокрема Угоди ТВТ, зумовлюють актуалізацію існуючих навчально-тематичних планів і програм з урахуванням вимог міжнародних настанов і стандартів. Розроблення нових навчально-тематичних планів і програм має проводитись з урахуванням специфіки і особливостей діяльності в рамках СОР. Необхідним є вивчення передового досвіду перехідного періоду найбільш розвинутих країн.

Підручники і навчальні посібники за цих умов нерідко швидко застарівають, особливо в яких відображаються основні положення НД з метрології. Для успішного засвоєння оновлених положень метрології, значення якої як науки про вимірювання все більше зростає, потрібні спеціальні підручники та навчальні посібники, що відображають сучасний стан розвитку метрології та метрологічної діяльності як на міжнародному, так і національному рівнях.

Наявна в національних вищих навчальних закладах навчально-методична література з питань метрології та метрологічної діяльності у більшості випадків безнадійно застаріла і вимагає кардинального оновлення. Істотного оновлення вимагають також і навчальні програми, тематичні плани, навчально-методичні комплекси, в яких наразі часто принципово невірно відображені питання теорії і практики метрології, починаючи з сучасних термінів і їхніх визначень.

Необхідність написання підручника «Основи метрології та метрологічна діяльність» викликана нагальною потребою часу. Підручник містить питання теорії й практики проведення метрологічних робіт на різних їхніх рівнях і складається із трьох розділів, до яких входять дванадцять глав, і трьох додатків. Під час його складання використані положення сучасних національних законодавчих, нормативно-правових актів і НД з питань метрології та метрологічної діяльності, викладено базовий

навчальний матеріал з використанням міжнародних і регіональних документів, настанов, стандартів і рекомендацій. Базовий учбовий матеріал викладений з урахуванням вказаних стандартів і запропонований в зручній для читача формі: від базових аспектів до практичного застосування.

У першому розділі підручника викладені основи метрології, зокрема її основні поняття та загальні положення. Розглянуто основні етапи розвитку світової метрології та метрології в Україні. Велика частина цього розділу присвячена основним етапам і методам вимірювань ФВ, особливостям вимірювальних сигналів та їхнім основним характеристикам. Велика частина розділу відведена похибкам і невизначеностям вимірювань, представленню результатів вимірювань, ЗВТ і особливостям їхнього застосування, нормованим метрологічним характеристикам (МХ) і класам точності ЗВТ. Розглянуті особливості еталонів, стандартних зразків (СЗ) та їхнім нормованим МХ, методик виконання вимірювань (МВВ). Окреме місце відведене дослідженню національних еталонів, основним етапам їхнього звірення та оброблення їх результатів з метою забезпечення взаємного визнання національних еталонів та калібрувальних і вимірювальних можливостей (СМС) національних метрологічних інститутів (НМІ).

Другий розділ підручника присвячений фізичним величинам і одиницям. В ньому наведена класифікація величин і одиниць, загальні положення щодо одиниць та числових значень ФВ, кратні та частинні одиниці SI, основні та похідні одиниці SI та поза-системні одиниці, допущені до застосування в Україні нарівні з одиницями SI. Також наведені правила написання та друку символів величин, назв і позначень одиниць і особливості безрозмірних величин та їхніх одиниць. Представлені основи подальшого розвитку SI, сучасні фізичні сталі (ФС) та характеристичні числа. Окремо викладені основи побудови шкал ФВ, зокрема визначення деяких шкал найменувань, порядку, інтервалів і відношень.

Третій розділ підручника розкриває всі складові сучасної метрологічної діяльності на національному рівні. В ньому розглянуті особливості національної метрологічної інфраструктури і вплив держави на метрологічну діяльність, структуру і завдання метрологічної системи України, основні положення щодо ОВ ЗВТ, їх періодичної перевірки і особливостей метрологічного нагляду, тобто все те що відноситься до законодавчої частини метрології.



Інша частина цього розділу присвячена прикладній метрології, основою якої є метрологічна простежуваність і калібрування ЗВТ. Викладені загальні поняття щодо сертифікатів калібрування ЗВТ, особливості калібрування мір і засобів вимірювання (ЗВ) і оцінювання невизначеності при калібруванні мір і ЗВ, а також розглянуті сучасні організаційно-технічні системи дистанційного калібрування.

У додатках до підручника містяться: терміни та визначення понять в галузі метрології та метрологічної діяльності, переліки національних законодавчих та нормативно-правових актів, НД з метрології та метрологічної діяльності, міжнародних і регіональних стандартів і настанов з метрології.

Підручник може бути використаний в учбовому процесі на старших курсах різних спеціальностей вищих учбових закладів, а також на курсах підвищення кваліфікації фахівців у галузі метрології та метрологічної діяльності. Крім того, він може бути корисним для всіх, хто бажає підвищити свій професійний рівень у сфері теоретичної та практичної метрології.

Автори виражають щире вдячність рецензентам за корисні пропозиції та зауваження, які поліпшили структуру підручника і якість представлення учбового матеріалу.

# Розділ I

## ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ

### ГЛАВА I

#### Основні поняття та загальні положення

##### 1.1 Основні поняття

*Метрологією* (від грецьких *метрон* – міра і *логос* – учення) називають науку про вимірювання, яка відрізняється від інших природничих наук тим, що її фундаментальні положення приймаються за угодами, а не диктуються об'єктивними закономірностями. Найбільш розповсюджене визначення метрології – це наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення заданої (потрібної) точності вимірювань. Вона включає як теоретичні, так і практичні аспекти вимірювання в усіх галузях науки і техніки.

*Вимірювання* – відображення ФВ їхніми значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів. Вимірювання є одним із шляхів пізнання природи людиною, об'єднання теорії з практичною діяльністю людини. Це основа наукових знань, призначених для врахування матеріальних ресурсів, забезпечення потрібної якості продукції, взаємозамінності деталей і вузлів, удосконалення технології, автоматизації виробництва, стандартизації, охорони здоров'я і забезпечення безпеки праці та багатьох інших галузей людської діяльності.

*Об'єктом вимірювання* є матеріальні об'єкти, одна чи декілька властивостей яких підлягають вимірюванню. *Вимірювана величина* – це ФВ, що підлягає вимірюванню, а *вимірювальна інформація* – інформація про вимірювання величини та залежності між ними у вигляді сукупності їхніх значень чи їхніх функціоналів.

Основними предметами вимірювання є фізичні об'єкти та процеси, які характеризуються категоріями якості та кількості. *Фізична величина* – це властивість, загальна у якісному

відношенні для багатьох об'єктів чи процесів, але індивідуальна у кількісному відношенні для кожного об'єкта або процесу. З іншого боку ФВ – властивість явища чи тіла, яке може бути розрізнене якісно і визначено кількісно. Формалізованим відображенням якісних відмінностей вимірюваних величин є їх *розмірність*, а кількісною характеристикою – їх *розмір*.

Існують *системи ФВ*, тобто сукупності взаємопов'язаних ФВ, в яких декілька величин приймають за незалежні, а інші визначають як залежні від них. ФВ, що входить у систему величин і прийнята за незалежну від інших величин цієї системи, є *основною ФВ*, а ФВ, що входить у систему величин та визначається через основні величини цієї системи, є *похідною ФВ*. *Розмірністю ФВ* є вираз, що відображає її зв'язок з основними величинами системи величин: *основної ФВ* – умовний символ ФВ в системі величин; *похідної ФВ* – добуток розмірностей основних величин, піднесених до відповідних ступенів.

Приклад: розмірність швидкості  $V$  в системі величин  $L$  (довжина),  $M$  (маса),  $T$  (час) –  $\dim V = L \cdot T^{-1}$ .

*Одиницею ФВ* є величина певного розміру, прийнята за угодою для кількісного відображення однорідних з нею величин: *основна одиниця системи одиниць* (сукупності одиниць певної системи величин) – основної величини; *похідна* – похідної ФВ в певній системі величин. *Позасистемна одиниця ФВ* – одиниця величини, що не належить до цієї системи одиниць.

Приклад:

1) *електронвольт (eV)* – позасистемна одиниця енергії щодо Міжнародної системи одиниць – SI;

2) *доба, година, хвилина* – позасистемні одиниці часу, щодо системи SI.

На практиці широко застосовуються кратні та частинні одиниці ФВ:

– *кратна одиниця ФВ* – одиниця величини, яка в ціле число разів більша за одиницю, від якої вона утворюється;

– *частинна одиниця* – одиниця величини, яка в ціле число разів менша за одиницю, від якої вона утворюється.

Відтворенням одиниці ФВ є формування фіксованої за розміром ФВ відповідно до визначення її одиниці.

Найбільш розповсюдженим визначенням *вимірювання ФВ* є таке – це сукупність операцій з використання ЗВТ, які