



**Муратов, В. Г.** Метрологія, технологічні вимірювання та прилади : навч. посіб. / Муратов Віктор Георгійович. - Вид. 2-е, допов. - Київ : Освіта України, 2016. - 364 с. : табл., рис.

Навчальний посібник присвячений питанням сучасної метрології, що нерозривно пов'язана із стандартизацією і сертифікацією управління якістю та безпечністю харчових продуктів, вимірюванням параметрів технологічних процесів харчових виробництв. Приведені традиційні та новітні методи і засоби вимірювання та контролю, підвищення їх точності.

Особлива увага приділена мікропроцесорним та іншим засобам сучасної вимірювальної техніки, що широко використовується в технологічних процесах харчових виробництв України. Розглянуті принципи розробки і модернізації інформаційно-вимірювальних систем в промисловості і представлення в них інформації користувачам різних рівнів.

Для студентів вищих навчальних закладів і спеціалістів з автоматизації технологічних процесів. Навчальний посібник може бути корисним також для студентів і спеціалістів - технологія харчових та інших виробництв.

## ВСТУП

Курс «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади (МТВП)» є одним з основних курсів підготовки фахівців для служб метрології, контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА) харчових підприємств. Даний курс входить у комплекс програм безперервної підготовки студентів і формує базу знань для освоєння дисциплін «Сучасні технології автоматизації», «Технічні засоби автоматизації», «Проектування систем автоматизації» та інші.

Особливістю матеріалу даного навчального посібника є новизна ряду розділів, пов'язана зі стрімкими змінами в області стандартизації, метрології й сертифікації, які спрямовані на гармонізацію міжнародних відносин України з розвиненими країнами Європейського й Світового співтовариства. У навчальному посібнику, крім того, розглянуті новітні досягнення в галузі мікропроцесорних та інших засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для харчових виробництв, що не були раніше описані в навчальній літературі.

У результаті вивчення курсу «МТВП» студент повинен знати:

- предмет і завдання законодавчої, фундаментальної й практичної метрології;
- цілі й завдання міжнародних, регіональних і національних організацій по

- забезпеченню єдності й вірності вимірів; склад метрологічного забезпечення й еталонної бази України;
- основні види й методи вимірювань, контролю й випробувань;
  - види похибок вимірювань і ЗВТ, причини виникнення й методи їх усунення або зниження;
  - методи повірки й калібрування, організацію нагляду за ЗВТ на підприємстві, вимоги до вимірювальної лабораторії;
  - організацію систем керування якістю, безпечністю та сертифікації продукції;
  - принципи й правила сертифікації систем якості і безпечності та атестації виробництва;
  - класифікації й порівняльні характеристики методів вимірювань основних параметрів технологічних процесів харчових виробництв і забруднювачів продуктів та навколишнього середовища;
  - класифікації, принципи дії, конструкції й характеристики ЗВТ, для вимірювання основних технологічних параметрів харчових виробництв;
  - принципи й техніку організації вимірювально-інформаційних систем різної складності в промисловості.

По закінченню курсу МТВП студент повинен вміти розробляти багаторівневі та інші інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) різних технологічних процесів і раціонально вибирати типові ЗВТ для реалізації цих систем.

Матеріали навчального посібника за курсом МТВП викладені в чотирьох частинах по кількості змістовних модулів лекційного матеріалу:

- **Модуль 1.** Метрологія, стандартизація, сертифікація.
- **Модуль 2.** Прилади ДСП. Вимірювання переміщень, зусиль, швидкості, тиску та температури.
- **Модуль 3.** Вимірювання рівня, витрат, маси і складу.
- **Модуль 4.** Вимірювання вологості, густини, в'язкості та енергоспоживання. Інформаційно - вимірювальні системи. Контроль промислових викидів і забруднення навколишнього середовища.

Навчальний посібник розрахований на студентів, що навчаються за фахом 7.092501, але може бути корисним і студентами інших спеціальностей ВНЗ всіх форм навчання.

Автор виражає вдячність доценту кафедри автоматизації технологічних процесів та робото-технічних систем Одеської національної академії харчових виробництв Ю.М. Скаковському за надані матеріали особистих розробок АСУ ТП цукрових заводів.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>Модуль 1</b>	
<b>МЕТРОЛОГІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ</b> .....	5
<b>1. Основні поняття</b> .....	5
1.1. Стандартизація, сертифікація, метрологія.....	5
1.1.1. Стандартизація.....	5
1.1.2. Сертифікація.....	6
1.1.3. Метрологія.....	7
1.2. Предмет метрології.....	9
1.3. Одиниці фізичних одиниць та їх системи.....	10
1.3.1. Історичні відомості про міри і ваги.....	10
1.3.1.1. Російські міри.....	10
1.3.1.2. Англійські міри.....	13
1.3.1.3. Метричні міри.....	14
1.4. Принципи побудови систем одиниць фізичних величин.....	16
1.5. Сучасні системи одиниць фізичних величин.....	18
1.6. Міжнародні і національні організації з метрології.....	22
1.7. Склад метрологічного забезпечення.....	26
1.8. Повірка і калібрування ЗВТ. Методи повірки (калібрування).....	28
1.9. Еталони і повірочні схеми.....	31
1.10. Вимірювання, контроль і випробування.....	37
1.10.1. Засоби вимірювальної техніки та їх елементи.....	37
1.10.2. Пізнавальні операції вимірювання, контролю і випробування.....	40
1.11. Види і методи вимірювань.....	46
<b>2. Основи теорії похибок</b> .....	49
2.1. Похибки прямих вимірювань.....	49
2.2. Ймовірнісна оцінка похибок вимірювань.....	54
2.3. Похибки опосередкованих (непрямих) вимірювань.....	59
2.4. Методи зниження похибок.....	61
2.4.1. Класифікація.....	61
2.4.2. Структурні методи зниження систематичних похибок.....	63
2.4.3. Алгоритмічні методи зниження систематичних похибок.....	66
2.4.4. Програмні методи.....	70
<b>3. Характеристики і параметри ЗВТ</b> .....	71
3.1. Статичні характеристики.....	71
3.2. Динамічні характеристики.....	76
3.3. Метрологічні характеристики похибок.....	84
3.4. Нормування характеристик похибок.....	85
3.5. Вимірювальний експеримент і методики виконання вимірювання.....	86

3.5.1. Панування вимірювального експерименту .....	86
3.5.2. Технічна й правова сутність методики виконання вимірювання.....	88
3.5.3. Типові і часткові методики виконання вимірюванні .....	89
<b>4. Організація нагляду за вимірювальною технікою на підприємстві.....</b>	<b>90</b>
4.1. Метрологічна атестація ЗВТ .....	90
4.2. Державні випробування ЗВТ .....	92
4.3. Організація й завдання метрологічної служби підприємства .....	93
4.4. Приміщення для вимірювальної лабораторії.....	97
<b>5. Системи якості та безпечності. Керування якістю і безпечністю продукції.....</b>	<b>98</b>
5.1. Характеристики й методи оцінки якості продукції.....	98
5.2. Системи якості продукції.....	100
5.3. Системи управління безпечністю харчових продуктів.....	102
5.4. Сертифікація продукції і та систем якості й безпечності.....	108
5.5. Атестація виробництва.....	112
Контрольні питання до Модуля 1 .....	113
Література до Модуля 1 .....	114

## **Модуль 2**

<b>ПРИЛАДИ ДСП. ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ, ЗУСИЛЬ. ШВИДКОСТІ, ТИСКУ Й ТЕМПЕРАТУРИ.....</b>	<b>118</b>
<b>6. Державна система промислових приладів.....</b>	<b>118</b>
<b>7. Вимірювання переміщень, зусиль і швидкості.....</b>	<b>125</b>
7.1. Релейні ПП.....	126
7.2. Резистивні ПП .....	129
7.3. Індуктивні ПП .....	130
7.4. Ємнісні ПП .....	132
7.5. Тензометричні ПП .....	134
7.6. П'єзоелектричні ПП .....	135
7.7. ПП Холу .....	137
7.8. Фотоелектричні ПП. Енкодери.....	138
7.9. Пневматичні ПП.....	142
<b>8. Вимірювання тиску .....</b>	<b>143</b>
8.1. Рідинні прилади тиску з видимим рівнем .....	144
8.2. Пружні чутливі елементи приладів тиску .....	145
8.3. Манометри, що показують і сигналізують.....	147
8.4. Безшкальні приладки тиску .....	150
8.4.1. Датчики-реле тиску.....	150
8.4.2. Манометри дифтрансформаторної системи виміру.....	150
8.4.3. Тензометричні прилади тиску .....	156

<b>9. Вимірювання температури</b> .....	158
9.1. Вимірювальні прилади і ПП температури .....	159
9.1.1. Скляні рідинні термометри.....	159
9.1.2. Біметалічні термометри.....	160
9.1.3. Дилатометричні термометри .....	161
9.1.4. Манометричні термометри .....	162
9.1.5. Термоелектричні термометри.....	163
9.1.6. Термометри опору .....	165
9.1.7. Термометри з уніфікованим вихідним сигналом .....	167
9.1.8. Фотоелектричні пірометри .....	169
<b>10. Вторинні прилади і системи вимірювання температури</b> .....	172
10.1. Пірометричні мілівольтметри .....	172
10.2. Логометри.....	174
10.3. Автоматичні компенсаційні потенціометри .....	176
10.4. Автоматичні компенсаційні мости .....	179
10.5. Автоматичні прилади, що реєструють, РП-160 і Диск-250.....	180
10.6. Нормуючі перетворювачі.....	184
10.7. Цифрові вимірювачі температури .....	188
10.8. Мікропроцесорні реєстратори-логери .....	193
Контрольні питання до Модуля 2 .....	197
Література до Модуля 2 .....	198
<b>Модуль 3</b>	
<b>ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ, ВИТРАТИ, МАСИ І СКЛАДУ</b> .....	199
<b>11. Вимірювання рівня</b> .....	199
11.1. Г ідростатичстичні ЗВТ рівня рідини.....	199
11.2. Механічні ЗВТ рівня сипких матеріалів.....	202
11.3. Ротаційні сигналізатори рівня.....	205
11.4. Вігові ЗВТ рівня рідких і сипких матеріалів .....	205
11.5. Кондуктометричні ЗВТ рівня рідини .....	205
11.6. Ємністі ЗВТ рівня рідких і сипких матеріалів.....	207
11.7. Вібраційні ЗВТ рівня рідких і сипких матеріалів.....	208
11.8. Акустичні й ультразвукові ЗВТ рівня .....	209
<b>12. Вимірювання витрат і кількості рідини та газу</b> .....	211
12.1. Витратоміри змінного перепаду тиску.....	212
12.2. Витратоміри постійного перепаду тиску .....	215
12.3. Тахометричні витратоміри.....	217
12.4. Індукційні витратоміри .....	220
12.5. Ультразвукові витратоміри.....	222
12.6. Вихрові витратоміри .....	225

12.7. Масові коріюлисові витратоміри .....	227
<b>13. Вимірювання маси і дозування .....</b>	<b>230</b>
13.1. Важільні ваги.....	231
13.2. Циферблатні ваги.....	233
13.3. Пружинні ваги.....	234
13.4. Автоматичні дозатори .....	234
13.5. Масові витратоміри двофазних потоків .....	240
<b>14. Вимірювання складу рідин.....</b>	<b>243</b>
14.1. Кондуктометричні аналізатори складу рідини .....	244
14.2. Потенціометричні аналізатори складу рідини .....	250
14.3. Оптичні аналізатори складу рідини .....	254
<b>15. Вимірювання складу газів.....</b>	<b>260</b>
15.1. Газоаналізатори хімічні й теплові.....	261
15.2. Газоаналізатори магнітні і оптичні .....	263
15.3. Газоаналізатори хроматографічні .....	267
Контрольні питання до Модуля 3 .....	268
Література до Модуля 3 .....	269
<b>Модуль 4</b>	
<b>ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ, ГУСТИНИ, В'ЯЗКОСТІ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ. КОНТРОЛЬ ПРОМИСЛОВИХ ВІКИДІВ І ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....</b>	
<b>16. Вимірювання вологості газів .....</b>	<b>272</b>
16.1. Психометричний метод .....	273
16.2. Метод «точки роси».....	275
16.3. Сорбційні методи .....	276
<b>17. Вимірювання вологості твердих і сипких матеріалів.....</b>	<b>282</b>
17.1. Лабораторні методи визначення вологості матеріалів .....	283
17.2. Кондуктометричні й діелькометричні вологоміри.....	284
17.3. НВЧ-вологоміри.....	285
17.4. Інфрачервоні вологоміри .....	287
<b>18. Вимірювання густини й в'язкості рідин.....</b>	<b>291</b>
18.1. Густиноміри.....	291
18.2. Віскозиметри .....	295
<b>19. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ .....</b>	<b>299</b>
19.1. Призначення, архітектура, функції .....	299
19.2. Контроль споживання теплової енергії. Тепломіри .....	300
19.3. Контроль споживання електричної енергії. Електролічильники .....	302
19.4. Контроль техніко-економічних показників .....	306

19.5. Мікропроцесорні контролери у ІВС .....	308
<b>20. Розробка інформаційно-вимірювальних систем промислових об'єктів.....</b>	<b>319</b>
20.1. Принципи побудови ІВС .....	319
20.2. Представлення інформації у ІВС .....	321
20.2.1. Інформація про об'єкт контролю за місцем .....	321
20.2.2. Інформація про ТП на щиті (пульті) КВПіА .....	321
20.2.3. Інформація про ТП на АРМі оператора-технолога.....	324
20.3. Позначення ЗВТ в схемах автоматизації.....	332
20.4. Прилад розробки ІВС й вибору ЗВТ для її реалізації .....	334
<b>21. Контроль промислових викидів і забруднення навколишнього середовища.....</b>	<b>346</b>
21.1. Забруднювачі навколишнього середовища.....	346
21.2. Методи вимірювання концентрацій забруднювачів .....	348
Контрольні питання до Модуля 4 .....	348
Література до Модуля 4 .....	350
<b>ДОДАТОК А.</b>	
Перекладні множники одиниць вимірювання.....	353