

О. М. Безвесільна, Г. С. Тимчик



**ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ
ТА ПРИЛАДИ.
ПЕРЕТВОРЮЮЧІ ПРИСТРОЇ
ПРИЛАДІВ**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

О.М. Безвесільна, Г.С. Тимчик

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ
ТА ПРИЛАДИ.**

ПЕРЕТВОРЮЮЧІ ПРИСТРОЇ ПРИЛАДІВ

Підручник

Затверджено Міністерством освіти і науки,
молоді та спорту України
як підручник для студентів приладобудівних
спеціальностей вищих навчальних закладів

ЖДТУ
2012

ББК 39.57-5

УДК 621.317

Б39

Гриф надано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту
України (лист від 19.09.2012 р. № С/11 – 14693)

Рецензенти:

д.ф.-м.н., академік НАН України *Старостенко В.І.* (Інститут геофізики НАНУ); д.т.н., проф. *Квасніков В.П.* (Національний авіаційний університет); д.т.н., проф. *Самойлов В.Д.* (Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. П.Е. Пухова НАНУ).

Безвесільна О.М.

Б39 Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих систем : підручник / О.М. Безвесільна, Г.С. Тимчик. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – 812 с.

ISBN 978-966-683-339-9

У підручнику викладено основні фундаментальні теоретичні положення з питань перетворюючих пристроїв приладів (ППП), а також відомості про практичне застосування PPP. Акцент зроблено на сучасні найбільш досконалі різновиди перетворювачів, які практично не описані у технічній літературі. Наведено методику та приклади розрахунків PPP, відповідні навчальні програми для цифрових ЕОМ. Досліджено можливості практичного застосування і нові напрями у галузі розробки і удосконалення перетворюючих пристроїв приладів. Призначений для студентів, аспірантів, докторантів приладобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 621.317

ББК 39.57-5

© О.М. Безвесільна, 2012

© Г.С. Тимчик, 2012

ISBN 978-966-683-339-9

ЗМІСТ

стор.

ПЕРЕДМОВА	10
РОЗДІЛ 1. ВСТУП	11
1.1. Сфера застосування PPP. Актуальність розробки та використання PPP.....	11
1.2. Фактори, що визначають особливу роль PPP як елементів засобів вимірювання.....	13
1.3. Зв'язок PPP і різних галузей науки та техніки.....	13
1.4. Найважливіші наукові результати, досягнуті в галузі PPP.....	14
1.5. Нові завдання в галузі PPP.....	15
1.6. Місце PPP (вимірювального перетворювача) у складі сучасних засобів вимірювання.....	15
1.7. Види перетворень, що виконуються в приладах.....	16
1.8. Сигнали вимірювальної інформації.....	16
1.9. Види операцій, що виконуються з сигналами вимірювальної інформації.....	17
1.10. Основні питання аналізу та синтезу приладів.....	17
1.11. Контрольні питання до розділу 1.....	18
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПРИЛАДІВ .19	
2.1. Загальні положення та визначення	19
2.2. Основні вимоги, що ставляться до PPP	21
2.3. Класифікація PPP.....	23
2.4. Загальні рівняння PPP та їх основні характеристики.....	24
2.5. Загальні положення про похибки PPP	28
2.6. Контрольні питання до розділу 2	29
РОЗДІЛ 3. ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ (ПП)	30
3.1. Область застосування ПП.....	30
3.2. Основні елементи конструкції ПП	30
3.3. Параметри, що характеризують ПП	34
3.4. Нові типи ПП.....	37
3.5. Конструкції ПП	39
3.6. Схеми ввімкнення ПП	44
3.7. Рівняння статичної характеристики ПП	46

3.8. Похибки через нелінійність статичної характеристики ПП.....	49
3.9. Методи зменшення похибок нелінійності навантажених ПП.....	50
3.10. Розрахунок лінійних ПП.....	52
3.11. Функціональні ПП.....	57
3.12. Способи корегування ПП.....	67
3.13. Контрольні питання до розділу 3.....	71
РОЗДІЛ 4. ТЕНЗОМЕТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ (ПП) 73	
4.1. Загальна характеристика ТП.....	73
4.2. Дротяні ТП.....	74
4.3. Ненаклеювані (вільні) ТП.....	77
4.4. Плівкові ТП.....	78
4.5. Напівпровідникові ТП.....	80
4.6. Основні техніко-метрологічні характеристики ТП.....	83
4.7. Розрахунок ТП.....	90
4.8. Способи ввімкнення ТП.....	93
4.9. Розміщення ТП на об'єкті.....	94
4.10. Приклад розрахунку ТП.....	95
4.11. Контрольні питання до розділу 4.....	96
РОЗДІЛ 5. ПЕРЕТВОРЮВАЧІ КОНТАКТНОГО ОПОРУ (ПКО)97	
5.1. Загальна характеристика ПКО.....	89
5.2. Приклад практичного застосування ПКО.....	101
5.3. Контрольні питання до розділу 5.....	102
РОЗДІЛ 6. ЄМНІСНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ (ЄП)103	
6.1. Загальна характеристика ЄП.....	103
6.2. Основні конструктивні різновиди ЄП.....	104
6.3. Основні схеми ввімкнення ЄП.....	107
6.4. Приклад розрахунку ЄП.....	112
6.5. Приклад практичного застосування ЄП як приладу для вимірювання прискорення.....	113
6.6. Контрольні питання до розділу 6.....	114
РОЗДІЛ 7. ІНДУКТИВНІ ТА ТРАНСФОРМАТОРНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ115	
7.1. Застосування індуктивних і трансформаторних перетворювачів.....	115
7.2. Переваги ІП і ТрП.....	115
7.3. Недоліки й проблеми в галузі ІП і ТрП.....	116

7.4. Індуктивні перетворювачі.....	117
7.5. Трансформаторні перетворювачі.....	125
7.6. Розрахунок магнітного кола.....	129
7.7. Магнітна провідність повітряних ділянок магнітного кола.....	132
7.8. Графічний метод визначення провідностей.....	133
7.9. Контрольні питання до розділу 7.....	141
РОЗДІЛ 8. П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ142	
8.1. Загальна характеристика п'єзоелектричних перетворювачів.....	142
8.2. Принцип дії п'єзоелектричних перетворювачів. Особливості роботи.....	144
8.3. Приклад практичного застосування п'єзоперетворювача.....	148
8.4. Вимоги до вимірювальної схеми п'єзоелектричного приладу.....	149
8.5. Приклади розрахунку п'єзоперетворювачів.....	152
8.6. Контрольні питання до розділу 8.....	154
РОЗДІЛ 9. МЕХАНОТРОННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ (МП) 155	
9.1. Загальна характеристика МП.....	155
9.2. Механотронний перетворювач з поздовжнім переміщенням анода відносно катода.....	156
9.3. Вимірювальні схеми МП.....	160
9.4. Приклади практичного застосування МП.....	163
9.5. Контрольні питання до розділу 9.....	164
РОЗДІЛ 10. ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН В МЕХАНІЧНІ166	
10.1. Магнітоелектричні перетворювачі (МЕ).....	166
10.2. Електромагнітні перетворювачі (ЕП).....	179
10.3. Електро- та феродинамічні перетворювачі.....	182
10.4. Індукційні перетворювачі (ІП).....	190
10.5. Контрольні питання до розділу 10.....	196
РОЗДІЛ 11. МІКРОМАШИНИ197	
11.1. Класифікація мікро машин.....	197
11.2. Загальні питання теорії та конструювання.....	198
11.3. Класифікація мікро двигунів.....	200
11.4. Основні характеристики і параметри мікродвигунів.....	201
11.5. Асинхронні мікро машини.....	203

11.6. Асинхронні тахогенератори	212
11.7. Обертові трансформатори	216
11.8. Сельсини	220
11.9. Синхронні мікромашини	229
11.10. Мікромашини постійного струму	242
11.11. Контрольні питання до розділу 11	249
РОЗДІЛ 12. ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ РЕЛЕ	251
12.1. Принцип дії, механічна і тягова характеристики нейтрального електромагніту постійного струму	251
12.2. Тягове зусилля електромагніту	253
12.3. Розрахунок електромагніту постійного струму	259
12.4. Перехідні процеси і швидкодія електромагніту постійного струму	263
12.5. Контактні перетворювачі	267
12.6. Поляризоване реле та віброперетворювачі	271
12.7. Магнітокеровані контакти	274
12.8. Електромагніти змінного струму	276
12.9. Контрольні питання до розділу 12	280
РОЗДІЛ 13. ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ	281
13.1. Загальні відомості	281
13.2. Стабільність постійних магнітів	283
13.3. Намагнічування та розмагнічування магнітів	285
13.4. Розрахунок систем методом відношень	286
13.5. Розрахунок методом послідовного підсумовування	294
13.6. Контрольні питання до розділу 13	296
РОЗДІЛ 14. ГІДРАВЛІЧНІ ТА ПНЕВМАТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ	297
14.1. Загальна характеристика	297
14.2. Принцип дії ГП	298
14.3. Вимірювальні схеми ГП	301
14.4. Вибір параметрів вимірювальних схем за даними метрологічними характеристиками	307
14.5. Особливості вибору параметрів вимірювальних схем з кількома вимірювальними соплами	313
14.6. Сильфонні диференціальні ГП та їх розрахунок	316
14.7. Розрахунок мембранних перетворювачів	320
14.8. Компенсаційні перетворювачі та їх розрахунок	325

14.9. Широкодіапазонні вимірювальні схеми з ежекторними соплами	329
14.10. Похибки, притаманні безконтактним вимірювальним пристроям	334
14.11. Динамічні характеристики	338
14.12. Контрольні питання до розділу 14	342
РОЗДІЛ 15. ЧАСТОТНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ	343
15.1. Контрольні питання до розділу 15	348
РОЗДІЛ 16. ПЕРЕТВОРЮВАЧІ АНАЛОГОВИХ ВЕЛИЧИН В ЦИФРОВІ ТА ЦИФРОВИХ В АНАЛОГОВІ	349
16.1. Загальні відомості	349
16.2. Основні характеристики аналого-цифрових перетворювачів	366
16.3. Перетворювачі часових інтервалів у код	367
16.4. Перетворювачі напруги в код	371
16.5. Перетворювачі переміщень в код	382
16.6. Перетворювачі коду в аналоговий сигнал	397
16.7. Перетворювачі аналогового відеосигналу в цифровий код	403
16.8. Контрольні питання до розділу 16	406
РОЗДІЛ 17. ОПТИКО-ЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ	408
17.1. Основні властивості оптичних випромінювань	408
17.2. Джерела оптичних випромінювань	412
17.3. Приймачі оптичних випромінювань	415
17.4. Оптрони. Конструкція. Використання. Принцип дії. Переваги та недоліки. Режим роботи оптрона	432
17.5. Вимірювальні кола оптичних перетворювачів	436
17.6. Приклади практичного застосування оптичних перетворювачів	439
17.7. Контрольні питання до розділу 17	456
РОЗДІЛ 18. ТЕПЛОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ	457
18.1. Загальні положення	457
18.2. Термоелектричні перетворювачі (термопари)	463
18.3. Терморезистори	475

18.4. Інші типи термочутливих елементів та їх застосування.....	483
18.5. Контрольні питання до розділу 18.....	491
РОЗДІЛ 19. МАГНІТОПРУЖНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ	493
19.1. Контрольні питання до розділу 19.....	502
РОЗДІЛ 20. ІНТЕРФЕЙСИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ І ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	503
20.1. Особливості побудови цифрових вимірювальних систем	503
20.2. Комутаційні пристрої	511
20.3. Нормалізація сигналів.....	516
20.4. Сучасні апаратні та програмні засоби збору і обробки сигналів	525
20.4. Контрольні питання до розділу 20.....	526
РОЗДІЛ 21. ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕТВОРЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ У ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДАХ.....	528
21.1. Прилади витрати, в основі яких покладено вимірювання часу проходження середовищем певної відстані	528
21.2. Індукційні (електромагнітні) прилади витрати	545
21.3. Прилади масової витрати	566
21.4. Прилади витрати, оснований на використанні явища ядерного магнітного резонансу (ЯМР)	591
21.5. Термічні прилади витрати	596
21.6. Прилади витрати інших типів.....	606
21.7. Контрольні питання до розділу 21	608
РОЗДІЛ 22. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИВЧЕННЮ ДИСЦИПЛІНИ	609
РОЗДІЛ 23. РОЗРАХУНКИ ПЕРЕТВОРЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПРИЛАДІВ	629
22.1. Розрахунок лінійного потенціометричного перетворювача	629
22.2. Розрахунок функціонального потенціометричного перетворювача	633
22.3. Розрахунок тензометричного перетворювача	640
22.4. Розрахунок ємнісного перетворювача	644

РОЗДІЛ 24. НАВЧАЛЬНІ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕТВОРЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПРИЛАДІВ НА ЦОМ	647
24.1. Послідовність роботи з навчальною програмою.....	647
24.2. Початкові дані для виконання контрольних робіт	650
24.3. Текст навчальної програми	652
24.4. Приклади виконання контрольних робіт	672
РОЗДІЛ 25. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ	675
<i>Лабораторна робота № 1. Дослідження характеристик потенціометричного перетворювача</i>	<i>676</i>
<i>Лабораторна робота № 2. Дослідження характеристик диференціального трансформаторного перетворювача.....</i>	<i>688</i>
<i>Лабораторна робота № 3. Дослідження характеристик механотронного перетворювача</i>	<i>699</i>
<i>Лабораторна робота № 4. П'єзоелектричні перетворювачі.....</i>	<i>710</i>
<i>Лабораторна робота № 5. Синусно-косинусний поворотний трансформатор.....</i>	<i>724</i>
<i>Лабораторна робота № 6. Дослідження характеристик лінійного поворотного трансформатора</i>	<i>734</i>
<i>Лабораторна робота № 7. Дослідження характеристик основних приладів лабораторії "Перетворюючі пристрої приладів"</i>	<i>737</i>
<i>Лабораторна робота № 8. Дослідження характеристик функціонального потенціометричного перетворювача</i>	<i>750</i>
РОЗДІЛ 26. ЗАДАЧІ З ДИСЦИПЛІНИ	755
РОЗДІЛ 27. ПЕРЕЛІК ПРОГРАМНИХ ЗАПИТАНЬ	773
РОЗДІЛ 28. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ	777
АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК ТЕРМІНІВ.....	801
ЛІТЕРАТУРА	803

ПЕРЕДМОВА

У приладобудуванні та машинобудуванні, у системах автоматичного управління (САУ) та у сучасних інформаційних комп'ютерних системах широко використовуються перетворюючі пристрої приладів (ППП), які, в залежності від галузі використання, також називають “вимірювальні перетворювачі”.

Без PPP не відбувається жоден вимірювальний або автоматизований технологічний процеси.

При підготовці спеціалістів у галузі приладобудування, машинобудування, механіки, автоматизованого управління технологічними процесами, радіотехніки питанням PPP приділяється велика увага.

В основу підручника покладено цикл лекцій з однойменних дисциплін, які викладаються для студентів денної та заочної форм навчання Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” та Житомирського державного технологічного університету.

Автор підручника висловлює щире подяку рецензентам д.ф.-м.н., академіку НАН України Старостенко В.І.; д.т.н., проф. Кваснікову В.П.; д.т.н., проф. Самойлову В.Д. за поради та зауваження, які посприяли підвищенню якості підручника.

Особливу подяку автор висловлює ректору ЖДТУ проф., д.т.н. Мельничуку П.П. за цінні поради та допомогу. Автор висловлює велику подяку своїм Вчителям – академікам НАНУ д.ф.-м.н. Старостенко В.І., д.т.н. Згуровському М.З., академіку АПНУ д.т.н., проф. Таланчуку П.М., д.т.н., проф. Самотокіну Б.Б., д.т.н., проф. Павловському М.А.

Розділ 1. ВСТУП

1.1. Сфера застосування PPP. Актуальність розробки та використання PPP

Один із напрямків науково-технічного прогресу – вдосконалення існуючих і створення нових засобів вимірювань, зокрема PPP, які призначені для перетворення фізичних величин у зручні для вимірювань, або подальших перетворень, вихідні сигнали і які все ширше застосовуються як у вимірювальній техніці, так і в автоматизованих системах керування технологічними процесами.

На теперішній час велика увага приділяється подальшому розвитку інформаційно-вимірювальної техніки (і зокрема PPP), призначеної для автоматизованих систем керування. Тому актуальним є розширення виробництва приладів і PPP для наукових досліджень, контролю за станом навколишнього середовища, а також - сучасних медичних приладів і апаратури. Тисячі фізичних величин (у тому числі лінійні і кутові розміри, параметри технологічних процесів) доводиться вимірювати за різноманітних, іноді несприятливих умов, що неможливо без досконалих PPP.

Подальший розвиток космічних досліджень, проникнення вимірювань в області надвисоких і наднизьких температур і тисків, частот і енергій, вивчення таємниць живого організму, боротьба з хворобами, охорона навколишнього середовища та праці людини, коли умови вимірювань стають все складнішими, дають поштовх до створення принципово нових засобів вимірювань і, насамперед, PPP.

Мета даного підручника – викласти принцип дії, основи теорії та розрахунку основних типів перетворюючих пристроїв приладів.

Завдання підручника:

- навести основні відомості, необхідні для теоретичного вивчення пристроїв, які виконують функціональне перетворення за контрольованим або керованим фізичним параметром у процесі передачі інформації по вимірювальному колу різноманітних видів вимірювання (тиску, витрат, швидкості і т. ін.);
- подати основні положення для набуття вмінь та навичок щодо розрахунку та проектування типових перетворюючих пристроїв приладів;

- лінійний, 52
- функціональний, 57
- дротяні, 39
- рідинний, 38
- плівковий, 39
- профільний, 58
- кільцевий,
 - обмежено-круговий, 40
 - необмежено-круговий, 40
- багатообертовий, 40
- прямолінійний, 40

Потужність розсіювання, 37

Похибка

- абсолютна, 28
- динамічна, 28
- інструментальна, 28
- відносна, 49

Реле, 273

Температурне напруження, 32

Тензоефект, 73

Тензоперетворювач, 73

- дротяний, 74
- наклеюваний, 74

- ненаклеюваний, 77
- вільний, 77
- фольгові, 78
- плівковий, 79
- напівпровідниковий, 80

Теплове випромінювання, 469

Теплопровідність, 467

Тепловий потік, 468

Теплообмін, 467

Терморезистор, 485

Термоелектрони, 479

Термометр опору, 486

Термістор, 488

Термопари, 473

Чутливий елемент, 20

Фериди, 280

Фотодіод, 400, 439

Фотоелементи, 429

- генераторні, 435
- іонні, 429

Фотопотенціометр, 38

Фоторезистори, 432

Циліндричне сопло, 305

ЛІТЕРАТУРА

1. Агейкин Д.И., Костина Е.И., Кузнецова Н.И. Датчики контроля и регулирования. – М.: Машиностроение, 1965. – 928 с.
2. Асс Б.А., Жукова Н.М., Антипов Е.Ф. Детали и узлы авиационных приборов и их расчет. – М.: Машиностроение, 1966. – 415 с.
3. Бабаева Н.Ф. и др. Расчет и проектирование элементов гироскопических устройств. – Л.: Машиностроение, 1967. – 477 с.
4. Базжин Ю.М., Цивин А.А., Моторыгина Т.А. Мостовые монолитные полупроводниковые тензорезисторные структуры. Приборы и методы измерения механических величин. – М.: ЦНИИТЭИ приборостроения. Серия ТС. Вып. 1, 1974. – 35 с.
5. Бахмутский В.Ф., Гореликов Н.И., Кузин Ю.Н. Оптоэлектроника в измерительной технике. – М.: Машиностроение, 1979. – 280 с.
6. Белевцев А.Т. Потенциометры. – М.: Машиностроение, 1969. – 328 с.
7. Берг А., Дин П. Светодиоды. – М.: Мир, 1973. – 108 с.
8. Берлин Г.С. Электронные приборы с механически управляемыми электродами. – М.: Энергия, 1971. – 160 с.
9. Берлин Г.С., Коклюшев Б.П. Высокочувствительные механотронные акселерометры //Измерит, техника. – 1973. – № 5. – С. 39 – 42.
10. Берлин Г.С., Розентул С.А. Механотронные преобразователи и их применение. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
11. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1966. – 992 с.

12. Виноградов Ю.Д., Машистов В.М., Розентул С.А. Электронные измерительные системы для контроля малых перемещений. – М.: Машиностроение, 1976. – 142 с.

13. Высоцкий А.В., Горенштейн Б.Я., Розентул С.А. Комплекс электронных средств для измерения линейных размеров в машиностроении // Измерит, техника. – 1976. – № 11. – С. 16 – 18.

14. Волков Н.И., Миловзоров В.П. Электромашинные устройства автоматики. – М.: Высшая школа, 1978. – 328 с.

15. Волосов С.С., Педь Е.С. Приборы для автоматического контроля в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1975. – 335 с.

16. Гаврилов А.Н., ред. Приборостроение и средства автоматики. Справочник. Т. 2, кн. 1. – М.: Машиностроение, 1964. – 569 с.

17. Гаврилов А.Н., ред. Приборостроение и средства автоматики. Справочник. Т. 2, кн. 2. – М.: Машиностроение, 1964. – 369 с.

18. Гальперин М.С. Самолет АН-24. Техническое описание. Книга VI. – М.: Машиностроение, 1970. – 200 с.

19. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.

20. Гитис Э.И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 195 с.

21. Гончарский С.А. Механически управляемые электронные лампы. – М.: Госэнергоиздат, 1957. – 142 с.

22. Горенштейн И.А., Шульман И.А., Сафарян А.С. Инерциальная навигация. – М.: Сов. радио, 1962. – 248 с.

23. Денисов А.А., Нагорный В.С. Пневматические и гидравлические устройства автоматики. – М.: Высш. шк., 1978. – 214 с.

24. Джагунов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезоэлектрические элементы в приборостроении и автоматике. – Л.: Машиностроение, 1986. – 256 с.

25. Дорофеев А.Л. и др. Индукционная толщинометрия. – М.: Энергия, 1978. – 189 с.

26. Елисеев В.А., Шинянский А.В. Справочник по автоматизированному электроприводу. – М.: Энергоиздат, 1983. – 616 с.

27. Зарипов М.Ф. Датчики малых угловых скоростей. – Уфа: Изд-во Уфим. авиац. института. – 1975. – 68 с.

28. Зарипов М.Ф., Петрова И.Ю. Проблемы развития информационной вычислительной техники. – Уфа, 1979. – 52 с. (Препринт. Башк. филиал АН СССР).

29. Заседателев С.М., Беликов Л.В. и др. О проектировании датчиков давления с интегральными тензопреобразователями // Приборы и системы управления. – 1971. – №11. – С. 45 – 48.

30. Захарин М.И., Безвесильная Е.Н. Преобразующие устройства приборов. Учеб. пособие. – К.: КПИ, 1980. – 20 с.

31. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1978. – 735 с.

32. Изиятов В.А., Корицкий А.В., Мордвинов В.А. Электрические микромашины переменного тока интегрального управления. – М.: Энергия, 1976. – 107 с.

33. Елисеев В.А., Шинянский А.В., ред. Справочник по автоматизированному электроприводу. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

34. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 600 с.

35. Курочкин А.П. Состояние и перспектива развития средств измерений линейных и угловых размеров в отрасли // Измерит. техника. – 1976. – № 2. – С. 19 – 21.
36. Майоров С.В. Фотоэлектронные и термоэлектронные приборы и их применение. – М.: Машиностроение, 1973. – 160 с.
37. Малов В.В. Пьезоэлектрические датчики / Измерение, контроль, автоматизация. – 1975. – № 1 (3). – С. 14 – 27.
38. Мартюшов К.И., Тихонов А.И., Зайцев Ю.В. Прецизионные проволочные резисторы. – М.: Энергия, 1979. – 192 с.
39. Метрология. Термины и определения. ГОСТ 16263-70. – М.: 1970. – 16 с.
40. Миллман Я. Импульсные и цифровые устройства. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 255 с.
41. Минаев И.Г., Трофимов А.И. Устройство для измерения механических давлений. А. с. № 315936. Кл. G01P1. – Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1971, № 29.
42. Мироненко А.В. Фотоэлектрические измерительные системы. – М.: Энергия, 1967. – 160 с.
43. Новицкий П.В., ред. Электрические измерения неэлектрических величин. – Л.: Энергия, 1975. – 575 с.
44. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника, физические основы, приборы и устройства. – М.: Машиностроение, 1978. – 48 с.
45. Осадчий Е.П. Проектирование датчиков для измерения механических величин. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с.
46. Островский Л.А. Основы общей теории электроизмерительных устройств. – Л.: Энергия, 1971. – 544 с.

47. Павлов А.В., Черников А.И. Приемники излучения автоматических оптико-электронных приборов. – М.: Энергия, 1972. – 240 с.
48. Пельпор Д.М., ред. Гироскопические системы. Часть 3. – М.: Высш. шк., 1972. – 470 с.
49. Пиотровский Л.М. Электрические машины. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 504 с.
50. Подлесный Н.И., Рубанов В.Г. Элементы систем автоматического управления и контроля. – К.: Выща шк., 1982. – 477 с.
51. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи. – К.: Выща шк., 1981. – 296 с.
52. Полищук Е.С., Саламаха В.А. и др. О повышении точности и стабильности платиновых термометров сопротивления. В кн. Новые исследования в термометрии. – Львов: Вищ. шк., 1974, – С. 41 – 45.
53. Преображенский А.А., Шамрай Б.В. Электромагнитные устройства информационно-измерительной техники. – М.: Высш. школа, 1982. – 264 с.
54. Пульер Д.С., ред. Гироскопические системы приборов. – М.: Высш. шк., 1972. – 471 с.
55. Преснухин Л.Н., ред. Фотоэлектрические преобразователи информации. – М.: Машиностроение, 1974. – 376 с.
56. Раковский М.Е., ред. Приборостроение и средства автоматики: Справочник. Том 4. – М.: Машиностроение, 1965. – 694 с.
57. Ренский А.Б., Баранов Д.С., Макаров Р.А. Тензометрирование строительных конструкций и материалов. – М.: Стройиздат, 1977. – 239 с.
58. Свечников С.В. Элементы оптоэлектроники. – М.: Сов. радио, 1971. – 272 с.

59. Срибнер Л.А. Точность индуктивных преобразователей перемещений. – М.: Машиностроение, 1975. – 104 с.

60. Ступель Ф.А. Индуктивные и индукционные преобразователи механических величин. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1968. – 102 с.

61. Таланчук П.М. Машинный синтез систем коррекции измерительных преобразователей. – К.: Выпца шк., 1985. – 68 с.

62. Техническая кибернетика. Кн. 3. Исполнительные устройства и сервомеханизмы. – М.: Машиностроение, 1976. – 736 с.

63. Тищенко О.Ф., Киселев Л.Т., Коваленко А.Н. и др. Элементы приборных устройств. Т.1. – М.: Высш. шк., 1982. – 304 с.

64. Тищенко О.Ф., Киселев Л.Т., Коваленко А.Н. и др. Элементы приборных устройств. Т. 2. – М.: Высш. шк., 1982. – 263 с.

65. Трофимов А.И. Пьезоэлектрические преобразователи статических нагрузок. – М.: Машиностроение, 1979. – 94 с.

66. Трофимов А.И., Минаев И.Г. Повышение стабильности пьезоэлектрических устройств для измерения статических давлений и усилий // Изв. вузов. Приборостроение. – 1972. – № 11. – С. 17 – 19.

67. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин, – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.

68. Федотов А.В. Расчет и проектирование индуктивных измерительных устройств. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.

69. Фельдбаум А.А. Вычислительные устройства в автоматических системах. – М.: Физматгиз, 1959. – 170 с.

70. Харкевич А.А. Теория преобразователей. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1948. – 188 с.

71. Харкевич А.А. Избранные труды. – М.: Наука, 1973. – 400 с.

72. Хомерики О.К. Гальваномангнитные элементы и устройства автоматики и вычислительной техники. – М.: Энергия, 1975. – 176 с.

73. Хрущев В.И. Электрические машины. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 368 с.

74. Четвертков Н.И., Коросько Н.М. Потенциометры. – М.: Сов. радио, 1978. – 64 с.

75. Чумаков Н.М., ред. Расчет исполнительных корректирующих преобразовательных элементов автоматических систем. – К.: Техника, 1971. – 352 с.

76. Чумаков Н.М., ред. Расчет измерительных и усилительных элементов автоматических систем. – К.: Техника, 1977. – 356 с.

77. Beckers I.H. Elektrisches Messen mechanischer Broben // "VDI – Z" 118. – n17, 18. – 1976. – P. 863 – 872.

78. Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.

79. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 295 с.

80. Горелик С.Л., Кац Б.М., Киврин В.И. Телевизионные измерительные системы. – М.: Связь, 1980. – 168 с.

81. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.

82. Ерганжиев Н.А. Цветное телевидение в измерительной технике. – М.: Связь, 1980. – 104 с.

83. Пресс Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.

84. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 792 с.

85. Цифровое кодирование телевизионных изображений / И.И. Цуккерман, Б.М. Кац, Д.С. Лебедев и др.; Под ред. И.И. Цуккермана. – М.: Радио и связь, 1981. – 240 с.

86. Чернега В.С. Сжатие информации в компьютерных сетях: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.К. Маригодова. – Севастополь: СевГТУ, 1997. – 214 с.

87. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.

88. Бриндли К. Измерительные преобразователи: Справочное пособие: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.

89. Городов А.Н. Измерение температур газовых потоков. – М. – Л.: Машгиз, 1962. – 136 с.

90. Леневерг Ф. Измерение температур в технике. – М.: Металлургия, 1980. – 253 с.

91. Майоров С.В. Фотоэлектронные термоэлектронные приборы и их применение. – М.: Машиностроение, 1973. – 160 с.

92. Михеев М.А., Михеева И.М. Краткий курс теплопередачи. – М.–Л., Госэнергоиздат, 1960. – 87 с.

93. Удалов Н.П. Полупроводниковые датчики. – М.–Л.: Энергия, 1965. – 239 с.

94. Чистяков С.Ф., Радун Д.В. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Высшая школа, 1972. – 392 с.

95. Безвесільна О.М. Вимірювання прискорень: Підручник. – К.: Либідь, 2001. – 350 с.

96. Безвесільна О.М. Вимірювання гравітаційних прискорень: Підручник. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 264 с.

97. Безвесільна О.М., Подчашинський Ю.О. Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих систем: Підручник. – Житомир: ЖДТУ, 2006. – 560 с.

98. Безвесільна О.М. Елементи і пристрої автоматики та систем управління. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих систем: Підручник. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – 704 с.

99. Безвесільна О.М., Подчашинський Ю.О. Інформаційно-комп'ютерні системи та технології. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин.: Підручник. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – 320 с.

100. Безвесільна О.М., Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри.: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – 604 с.

Навчальне видання

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна
ТИМЧИК Григорій Семенович

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА
ПРИЛАДИ.
ПЕРЕТВОРЮЮЧІ ПРИСТРОЇ ПРИЛАДІВ**

Підручник

Редактор
Комп'ютерний набір та верстка
Макетування

*Л.В. Гончарук
Ю.В. Киричук
В.В. Кондратенко*

Підписано до друку 21.09.12. Формат 60х84 $\frac{1}{16}$. Папір офс.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 47,20
Наклад 300 пр. Зам. № 17.

Видавець і виготовлювач
Житомирський державний технологічний університет
вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, 10005

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єкта видавничої справи
Серія ЖТ № 08 від 26.03.2004