

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ТЕРМОМЕТРІЇ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю

G6 «Інформаційно-вимірювальні технології»

Видавництво ПП «Магнолія 2006»

Львів

УДК 006.83/075.8

Рекомендовано Науково-методичною радою
Національного університету “Львівська політехніка”
(протокол № 89 від 20 червня 2025 року)

Автори: Скоропад П.І., д.т.н., професор кафедри ІВТ

Відповідальний

за випуск: Бубела Т.З., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Інституту комп’ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка».

Рецензенти: Стельмахович Б.М., к.х.н., доцент кафедри аналітичної хімії Львівського національного університету ім. Івана Франка

Кривенчук Ю.П., заступник директора з науково-педагогічної роботи Інституту комп’ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету “Львівська політехніка”, к.т.н., доцент

Кізілівський І.Г., начальник науково-дослідного відділу Державного підприємства “Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем” (ДП НДІ “Система”)

С 44 Особливості застосування сучасних методів і засобів термометрії : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю G6 «Інформаційно-вимірювальні технології» / автор: П.І. Скоропад – Львів: Видавництво “Магнолія 2006”, – 215 с.

ISBN 978-617-574-321-8

Навчальний посібник призначений для студентів спеціальності G6 “Інформаційно-вимірювальні технології”. Викладений в навчальному посібнику матеріал сприяє процесові формування та професійного становлення фахівців сучасного рівня підготовки у царині інформаційно-вимірювальних технологій, зокрема, у: отриманні здобувачами вищої освіти, що навчаються за спеціальністю G6, актуальних і поглиблених знань про сучасні методи та засоби вимірювання температури у широкому діапазоні; набутті ними практичних навичок їх застосування та дослідження; оволодінні основними прийомами розрахунку параметрів елементів та вузлів засобів термометрії.

УДК 006.83/075.8

ISBN 978-617-574-321-8

© Скоропад П.І.

© Видавництво ПП “Магнолія 2006”

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. Аналіз джерел нестабільності термометричних властивостей матеріалів чутливих елементів термоперетворювачів	8
1.1. Аналіз впливу фізичних аспектів на електроопір	8
1.1.1. Взаємозв'язок структурного стану матеріалів та їх електроопору	11
1.1.2. Вплив тиску та механічної деформації на електроопір	13
1.2. Аналіз впливу експлуатаційних чинників на термоелектрорушійну силу	17
1.2.1. Вплив механічних напружень на термоелектрорушійну силу	21
1.2.2. Вплив деформації на термоелектрорушійну силу	25
1.2.3. Вплив тиску на термоелектрорушійну силу	39
1.2.4. Термоелектрорушійна сила та термоелектрична неоднорідність	42
1.3. Вплив експлуатаційних чинників на термометричні властивості матеріалів чутливих елементів термоперетворювачів	45
1.3.1. Дія електромагнітних полів та радіаційного опромінення	46
1.3.2. Вплив фізико-хімічних процесів, що відбуваються в матеріалах	50
1.4. Перспективи застосування металевих стекол в електротермометрії	53
Розділ 2. Методичні рекомендації до лабораторного практикуму	68
2.1. Перевірка візуального оптичного пірометра	68
2.1.1. Основні теоретичні відомості	68
2.1.2. Опис експериментальної устатки та засобів вимірювань	77
2.1.3. Практичні рекомендації	81
2.2. Метрологічна перевірка термоелектричного термометра	89
2.2.1. Основні теоретичні відомості	89

2.2.2. Основні визначення та поняття термометрії	90
2.2.3. Термоелектричний термометр	90
2.2.4. Опис експериментальної устатки та засобів вимірювання і реєстрації	92
2.2.5. Практичні рекомендації	94
2.3. Вимірювання температури термоелектричними термокомплектами	99
2.3.1. Основні теоретичні відомості	99
2.3.2. Вимірювальні прилади для вимірювання термоелектрорушійної сили	102
2.3.3. Практичні рекомендації	105
2.4. Метрологічна перевірка термоперетворювачів опору	110
2.4.1. Основні теоретичні відомості	110
2.4.2. Практичні рекомендації	117
2.5. Реалізація реперних точок міжнародної температурної шкали МТШ-90	123
2.5.1. Основні теоретичні відомості	123
2.5.2. Опис експериментального обладнання	126
2.5.3. Практичні рекомендації	131
2.6. Дослідження ультразвукового імпульсного термометра	135
2.6.1. Основні теоретичні відомості	135
2.6.2. Опис експериментальної устатки	143
2.6.3. Практичні рекомендації	144
Розділ 3. Рекомендації до визначення основних параметрів досліджуваних теплових процесів	146
3.1. Основні теоретичні відомості з теорії теплообміну	146
3.1.1. Особливості вимірювання температури поверхні об'єкта	156
3.1.2. Особливості вимірювання температури поверхні масивного об'єкта	158
3.2. Загальні положення теорії подібності	164

<i>3.3. Похибка вимірювання температури поверхні масивного об'єкта</i>	<i>179</i>
<i>3.4. Похибка вимірювання температури газових потоків</i>	<i>181</i>
<i>3.5. Проектування термоперетворювачів для вимірювання температури рухомих середовищ</i>	<i>189</i>
<i>3.5.1. Основні засади проектування камер гальмування</i>	<i>190</i>
<i>3.5.2. Оцінювання значення абсолютної граничної похибки вимірювання температури для термоперетворювача температури гальмування</i>	<i>191</i>
<i>3.6. Вимірювання температури стрижневим термоперетворювачем</i>	<i>196</i>
Додаток 1	211

ВСТУП

Високий технічний рівень та неупинний розвиток вимірювальної техніки є неодмінною умовою успішного поступу в усіх галузях науки та народного господарства. З розвитком та ускладненням завдань сучасних наукових досліджень і нової техніки постійно зростають вимоги до точності, стабільності, розширення діапазонів застосовуваних методів та засобів вимірювань а, зокрема, і у галузі температурних вимірювань.

Термометрія – один з напрямів температурних вимірювань, завданням якого є пошук нових та неперервне вдосконалення відомих методів і засобів вимірювання параметрів теплових процесів, забезпечення метрологічної достовірності та єдності температурних вимірювань.

Температура – важливий параметр технологічних процесів у багатьох галузях діяльності людства. Аналіз показує, що понад 40% вимірювань розмаїтих фізичних величин у різних галузях науки, техніки та життєдіяльності людини припадає саме на вимірювання температури. Незаперечним є також той факт, що якість температурного контролю визначає успіх експерименту чи оптимальність перебігу технологічного процесу у виробництві, ефективне використання природних ресурсів, належний рівень безпеки екологічного стану довкілля.

Таким чином, викладання дисциплін такого спрямування займає важливе місце у процесі формування та професійного становлення фахівців сучасного рівня підготовки у царині інформаційно-вимірювальних технологій, а *мета викладання* їх полягає, зокрема, у: отриманні здобувачами вищої освіти, що навчаються за спеціальністю G6 «Інформаційно-вимірювальні технології», актуальних і поглиблених знань про сучасні методи та засоби вимірювання температури у широкому діапазоні; набутті ними практичних навичок їх застосування та дослідження; оволодінні

основними прийомами розрахунку параметрів елементів та вузлів засобів термометрії, а також методами і способами оцінювання похибки результату вимірювання температури.

Завдання вивчення дисциплін такого спрямування полягає у тому, щоб ознайомити здобувачів вищої освіти з основними та перспективними сучасними методами вимірювання, типами первинних вимірювальних перетворювачів та вторинних засобів вимірювання температури.

В процесі вивчення студіюючі повинні:

- опанувати основні сучасні методи та засоби вимірювання температури та набути навички роботи з типовими приладами для температурних вимірювань;
- вміти грамотно спланувати вимірювальний експеримент та оцінити похибку результату вимірювання.

Навчальне видання

Скоропад Пилип Ізидорович

Особливості застосування сучасних методів і засобів термометрії

Навчальний посібник

Формат 70×100 1/16 . Папір офсетний.

Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 17,47.
Гарнітура Таймс Нью-Роман.

ПП “Магнолія 2006”
м. Львів-53, 79053, Україна, тел.+380503701957
e-mail: magnol06@ukr.net

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції:
серія ДК № 2534 від 21.06.2006 року, видане Державним комітетом інформаційної політики,
телебачення та радіомовлення України

Надруковано у друкарні видавця ФОП Марченко Т. В.