

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»**  
**Факультет інформаційних технологій**  
**Кафедра Біомедичної інженерії**

Методичні вказівки  
з самостійного вивчення курсу

**СЕНСОРИ ДЛЯ БІОМЕДИЦИНИ**

для студентів спеціальності 163 «Біомедицинська інженерія»  
денної та заочної форм навчання

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



*Розроблено в рамках проекту «Erasmus+ (CBHE) BioArt: «Інноваційна мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр»*

*Developed in the frame of project «Erasmus + (CBHE) BioArt: Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc / MSc Degrees» (586114-EPP- 1-2017- 1-ES-EPPKA2-CBHE- JP)*

Маріуполь  
2019

Методичні вказівки з самостійного вивчення курсу  
**Сенсори для біомедицини** для студентів за напрямом підготовки 163  
«Біомедична інженерія».

Розробник: доц., к.т.н. Койфман О.О.

Затверджено на засіданні кафедри «Біомедична інженерія», протокол  
від 24.06.2019 року № 21

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ (Азархов О.Ю.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено методичною комісією факультету  
Протокол від 24.06.2019 року № 10

Голова \_\_\_\_\_ (Черевко О.О.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

© ДВНЗ «ПДТУ», 2019 рік  
© Койфман О.О., 2019 рік

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ КУРСУ .....	5
2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ.....	5
3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ.....	11
3.1 Визначення показників якості вимірювальних приладів .	12
3.2 Вимірювання температури .....	13
3.3 Вимірювання тиску, витрат .....	17
РЕКОМЕНДОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА .....	21

## ВСТУП

Мета і завдання курсу «Сенсори для біомедицини» полягають у формуванні в студентів знань з основ теорії управління, автоматизації технологічних процесів та метрології, вмінь і навичок обирати та оцінювати придатність до експлуатації контрольно-вимірювальних приладів та технічних засобів для одержання інформації про хід технологічних процесів.

Для успішного вивчення дисципліни потрібно добре знати наступні курси: вища математика, фізика, електромеханіка і електроустаткування, технічна термодинаміка. Матеріал курсу може бути використаний при виконанні та оформленні лабораторних, курсових робіт зі спеціальних дисциплін і дипломному проектуванні.

Самостійна робота – діяльність студентів, яка полягає в самостійному визначенні мети, завдань, засобів їх досягнення, на основі пізнавальних потреб та інтересів; виборі власного пізнавального шляху, спрямованого на створення творчого освітнього продукту; аналізі результату.

Самоосвіта – специфічний вид діяльності, яку особистість здійснює добровільно з метою задоволення пізнавальних потреб чи покращення своїх особистісних якостей або здібностей.

Під самостійною роботою в широкому значенні розуміють будь-яку діяльність особистості зі здійснення поставлених перед нею цілей без безпосередньої участі керівника, тобто будь-який вид занять, що створює умови для зародження самостійної думки, пізнавальної активності студента, пов'язаний із самостійною роботою. Важливість самостійної роботи для здобуття міцних знань з дисципліни важко переоцінити, тому студенту необхідно приділяти достатньо уваги та сумлінно виконувати призначений навчальною програмою обсяг самостійної роботи.

## **1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ КУРСУ**

Студенту, при вивченні курсу **«Сенсори для біомедицини»** варто систематично, сумлінно та неухайно працювати над поповненням обсягу теоретичних знань, напрацюванням та закріпленням практичних вмінь, вдосконаленням себе, як якісного спеціаліста в теплоенергетиці. Рекомендується ведення упорядкованого стислого конспекту з записуванням виникаючих питань для консультації з викладачем дисципліни. Розглядаючи аналітичні залежності і формули, необхідно звертати увагу на фізичний смисл результату. Рекомендується в процесі вивчення курсу детально вивчати документацію, конструкцію й особливості експлуатації технологічних агрегатів та приладів, що застосовують при теплотехнічних вимірюваннях.

## **2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ**

При самостійній роботі з дисципліни **«Сенсори для біомедицини»** студенту варто користуватися розгорнутим планом та короткими теоретичними відомостями, наведеними нижче.

Наступна інформація наведена таким чином: назва теми та її основний зміст, методичні рекомендації у вигляді короткої теоретичної інформації. Мета и задачі кожної теми: забезпечити оволодіння матеріалом згідно наведеного змісту теми, коротких теоретичних відомостей, контрольних питань до самоперевірки.

## **Тема 1. Статичні та динамічні характеристики ланок і систем.**

**Методичні вказівки.** У цьому розділі розглядається методика розбиття системи на ланки, а також математичний опис ланок і систем.

Необхідно знати визначення та наводити приклади статичних характеристик лінійних, нелінійних, екстремальних та релейних ланок, а також вміти лінеаризувати статичну характеристику та визначати коефіцієнт передачі ланки.

Для кращого розуміння теми «Динамічні характеристики лінійних автоматичних систем» треба засвоїти матеріал про типові вхідні дії; розглянути диференціальні рівняння як метод опису динамічних властивостей ланок і систем; вивчити визначення перехідної та передавальної функції; ознайомитися з частотними характеристиками ланок.

Необхідно розглянути види з'єднань ланок (послідовне, паралельне, зустрічно-паралельне) та навчитися виводити рівняння, які відповідають передавальним функціям систем, отриманих в результаті з'єднання.

### **Контрольні питання для самоперевірки:**

1. За якою ознакою ланки поділяють на статичні та астатичні?
2. Яким чином здійснюють лінеаризацію рівнянь статички?
3. Наведіть етапи складання диференційного рівняння для системи автоматичного управління.
4. Який сенс має передавальна функція?
5. Наведіть формули передавальних функцій усіх видів з'єднань ланок.

## **Тема 2. Системи автоматичного управління.**

**Методичні вказівки.** Матеріал цього розділу синтезує інформацію, викладену в попередніх розділах, а також є базою для підготовки до лабораторної роботи.

Необхідно чітко знати визначення АСУ та її вхідних та вихідних координат.

Ознайомлення з типами та передавальними функціями систем автоматичного управління в залежності від положення вимикачів дасть змогу краще засвоїти матеріал щодо збудованих впливів та перехідних процесів в АСУ. Також важливо відрізнити статичні та астатичні АСУ.

Необхідно вивчити матеріал, що стосується показників якості перехідних процесів по навантаженню та по завданню для вільного оперування цими поняттями під час лабораторної роботи.

Одним з найважливіших показників якості є стійкість, яка характеризує працездатність системи: нестійка система працювати не буде, й немає сенсу створювати таку систему. Тому треба ознайомитися з методами аналізу та критеріями стійкості АСУ.

### **Контрольні питання для самоперевірки:**

1. Дайте визначення АСУ.
2. В чому різниця між статичними та астатичними АСУ?
3. Назвіть показники якості перехідних процесів.

## **Тема 3. Загальні відомості про засоби вимірювання.**

**Методичні вказівки.** Треба звернути увагу на класифікацію засобів вимірювання по виду, принципом дії та метрологічному призначенню. Розрізняють такі види засобів вимірювань: міри, вимірювальні пристрої, вимірювальні установки та вимірювальні системи. Необхідно уважно прочитати та запам'ятати опис кожного типу засобів вимірювання.

Також слід звернути увагу на інформацію щодо статичних та динамічних характеристик вимірювальних засобів, провести

аналогії з раніше вивченим матеріалом, запам'ятати визначення основних понять: діапазон показань, діапазон вимірювань, чутливість приладу, коефіцієнт передачі або перетворення, ціна ділення шкали.

Необхідно запам'ятати усі формули, що описують похибки вимірювальних засобів.

### **Контрольні питання для самоперевірки:**

1. Класифікуйте засоби вимірювання за принципом дії.
2. Дайте визначення поняттям: діапазон показань, діапазон вимірювань, чутливість приладу, коефіцієнт передачі або перетворення, ціна ділення шкали.
3. Які характеристики можна визначити по кривій розгону вимірювального пристрою?
4. Класифікуйте похибки вимірювальних пристроїв

### **Тема 4. Термометричні температурні шкали**

*Методичні вказівки.* Температурна шкала потрібна для створення термометру. Тому необхідно звернути увагу на існуючі термометричні температурні шкали: Фаренгейта, Реомюра та Цельсія, запам'ятати формулу, по якій здійснюється перерахунок з однієї шкали в іншу. Слід пригадати курс фізики та запам'ятати на яких законах та реперних точках ґрунтуються термодинамічна шкала Кельвіна та МПТШ.

Також, в якості загальної інформації, можна розглянути конструкцію, принцип дії та межі вимірювання манометричних термометрів: газового, рідинного, конденсаційного.

### **Контрольні питання для самоперевірки:**

1. Які властивості називають термометричними?
2. Назвіть основні переваги термодинамічної шкали.
3. Чому градус Кельвіна відповідає градусу Цельсія?

**Тема 5. Різновиди термоелектричних термометрів; вимоги до термоелектродних матеріалів**



**Методичні вказівки.** Вимірювання температури термоелектричними термометрами – термоелектричними перетворювачами (ТЕП) засновано на використанні відкритого в 1821 р Зеебеком термоелектричного ефекту. ТЕП являє собою ланцюг, що складається з двох або декількох з'єднаних між собою різнорідних провідників. Незважаючи на те, що будь-які два провідника створюють в парі між собою термоЕРС, лише обмежене число термоелектродів використовується для створення ТЕП. Слід звернути увагу на вимоги до термоелектронних матеріалів, а також на те, що жоден з існуючих матеріалів не відповідає стовідсотково чим вимогам, тому для різних меж вимірювання використовують термоелектроди з різних матеріалів.

Стандартні таблиці для термоелектричних термометрів, класи допуску та діапазони вимірювань наведені в стандарті МЕК 60584-1,2, технічні вимоги визначаються ДСТУ 2857-94<sup>[3]</sup> та ДСТУ ІЕС 60584<sup>[4][5][6]</sup>. Необхідно чітко знати назви градувань або типи термопар та їхні межі вимірювання.

### **Контрольні питання для самоперевірки:**

1. Назвіть принцип дії ТЕП.
2. Сформулюйте основні вимоги до термоелектронних матеріалів.
3. Назвіть градування термопар.

### **Тема 6. Методи та засоби вимірювання термо-ЕРС.**

**Методичні вказівки.** В якості засобів вимірювань, що працюють в комплекті з ТЕП, використовують мілівольтметри магнітоелектричної системи та потенціометри.

Необхідно розібратися в конструкції та принципі дії мілівольтметра, звернути увагу на методи зменшення похибки вимірювання, запам'ятати класи точності приладів..

Принцип дії потенціометрів заснований на рівноважуванні (компенсації) невідомої ЕРС відомим падінням напруги, що створюється струмом від додаткового джерела. Необхідно запам'ятати методи зміни напруги компенсації,

розібратися в конструкції автоматичного потенціометра та звернути особливу увагу на автоматичне введення поправки на температуру вільних кінців ТЕП. Цей матеріал є базовим для підготовки до лабораторної роботи.

### **Контрольні питання для самоперевірки:**

1. Чому мілівольтметр відноситься до магнітоелектричної системи?
2. Як зменшити вплив температури навколишнього середовища на покази мілівольтметра?
3. Які основні переваги компенсаційного методу вимірювання ЕРС?
4. Для чого необхідні резистори  $R_H$  і  $R_6$  в автоматичному потенціометрі?

### **Тема 7. Теоретичні основи вимірювання температури по випромінюванню**

*Методичні вказівки.* Спільним недоліком контактних методів є необхідність введення датчика в контрольоване середовище, в результаті чого відбувається спотворення досліджуваного температурного поля, погіршується стабільність характеристик датчика, особливо при високих і надвисоких температурах і агресивних середовищах. Цих недоліків позбавлені безконтактні методи вимірювання температури, засновані на використанні енергії випромінювання нагрітих тіл. Прилади для вимірювання температури, засновані на використанні енергії випромінювання нагрітих тіл, називаються пірометрами.

З курсу фізики слід згадати рівняння Планка, Віна та Стефана-Больцмана.

Треба запам'ятати формули для визначення дійсної температури по показанням оптичних, радіаційних та колірних пірометрів.

### **Контрольні питання для самоперевірки:**

1. Наведіть формули для визначення інтенсивності монохроматичного випромінювання абсолютно чорного та сірого тіл.

2. Як визначаються інтегральні потужності випромінювання абсолютно чорного та сірого тіл?

3. По якому випромінюванню градуються шкали пірометрів?

### **Тема 8. Загальні правила установки звужувальних пристроїв і вимірювання витрат різних середовищ.**

*Методичні вказівки.* Стандартні звужуючі пристрої можуть застосовуватися в комплекті з дифманометра для вимірювання витрати та кількості рідин, газів і пари в круглих горизонтальних, вертикальних і похилих трубопроводах діаметром не менше 50 мм на підставі, розрахунку без індивідуального градуювання при дотриманні вимог Правил 28-64 та ГОСТ 8.563.1,2-97. Точність вимірювання витрати речовини по перепаду тиску в пристрої звуження потоку залежить не тільки від типу обраного пристрою звуження і дифманометра, а в рівній мірі і від дотримання низки умов, розглянутих детально у вказаних джерелах. Необхідно уважно ознайомитися з наведеним матеріалом зважаючи на його високу значимість в промислових умовах.

#### **Контрольні питання для самоперевірки:**

1. Наведіть приклади стандартних звужуючих пристроїв.
2. Назвіть вимоги до встановлення звужуючих пристроїв та дифманометрів для вимірювання витрат пари.
3. Навіщо використовують сосуди, що розділюють?

#### **З МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ**

Отримання практичних навичок студентами при вивченні дисципліни у відповідності до робочого плану полягає у виконанні лабораторних та практичних робіт, як в аудиторний час, так і самостійно.

На практичних заняттях студенти розв'язують завдання, умови яких відображують задачі, що постають перед інженерами, які працюють на промислових об'єктах.

У цьому розділі наведені деякі типові задачі, які повинні бути вирішені в рамках практичної частини курсу, а також методичні вказівки для їхнього розв'язання.

Ці завдання об'єднані в тематичні блоки. Кожне з них має дев'ять варіантів вихідних даних. Студент повинен обрати свій варіант за порядковим номером в журналі групи.

### 3.1 Визначення показників якості вимірювальних приладів

**Завдання 1.** Порівняйте чутливість двох манометрів: зі шкалою  $X_{Н1} - X_{К1}$  МПа, що розташована на дузі  $N_1$  рад. і зі шкалою  $X_{Н2} - X_{К2}$  МПа на дузі  $N_2$  рад.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

№ в-та	$X_{Н1}$	$X_{К1}$	$N_1$	$X_{Н2}$	$X_{К2}$	$N_2$
1	0	60	5.23	0	40	4.71
2	0	40	4.71	0	60	5.23
3	0	60	4.71	0	40	5.23
4	0	40	5.23	0	60	4.71
5	0	60	5.23	0	40	4.71
6	0	40	4.71	0	60	5.23
7	0	60	4.71	0	40	5.23
8	0	40	5.23	0	60	4.71
9	0	60	5.23	0	40	4.71

*Методичні вказівки.* Чутливість приладу  $S$  – відношення переміщення вказівника шкали  $\Delta l$  до зміни вимірюваної величини  $\Delta X$ :

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta X},$$

де  $\Delta l = N_i$ ,  $\Delta X = X_{k_i} - X_{n_i}$ .

**Завдання 2.** Визначити температурний коефіцієнт  $\alpha$  приладу зі шкалою  $X_H - X_K$  °С, якщо зміна температури навколишнього середовища с  $t_H$  до  $t_K$  °С викликало зміну показів на  $\Delta t$  °С.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані

№ варіанта	$X_H$	$X_K$	$t_H$	$t_K$	$\Delta t$
1	100	500	20	25	6
2	200	600	27	30	4
3	150	400	18	26	7
4	50	350	15	20	3
5	250	600	18	24	4
6	100	450	15	22	5
7	200	550	20	27	6
8	150	500	25	30	3
9	50	400	24	28	4

*Методичні вказівки.* Температурний коефіцієнт приладу визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{\Delta t}{t_K - t_H} \cdot \frac{1}{X_K - X_H},$$

де  $\Delta t$  – зміна показів приладу;

$t_H$  та  $t_K$  – початкова та кінцева температури навколишнього середовища;

$X_H$  та  $X_K$  – початкова та кінцева позначки шкали приладу.

### 3.2 Вимірювання температури

**Завдання 3.** Розрахувати додатковий опір мілівольтметра градуювання  $X_A$  з межами вимірювання  $x_H - x_K$  °С, якщо опір рамки приладу  $R_p$  Ом, опір зовнішньої ланцюга  $R_{вн}$  Ом, падіння напруги на рамці при максимальному відхиленні стрілки приладу  $\Delta U$  мВ. Мілівольтметр градуюваний при +20 °С.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані

№ варіанта	Xн	Xк	Rp	Rвн	ΔU
1	0	900	25	10	18
2	0	1200	15	8	20
3	0	800	20	15	15
4	0	1000	30	12	10
5	0	1100	35	20	18
6	0	900	20	10	12
7	0	1300	18	8	5
8	0	1000	25	15	10
9	0	800	30	12	15

*Методичні вказівки.* Для того, щоб розрахувати додатковий опір мілівольметра необхідно визначити струм в рамці приладу при заданому падінні напруги:

$$\Delta U = i_p R_p ; \quad (3.1)$$

$$i_p = \frac{E(Xk; 20)}{R_{вн} + R_p + R_d}, \quad (3.2)$$

де  $E(Xk; 20)$  – термо-ЕРС термопари ХА необхідно знайти по таблиці градування у довіднику.

Слід прирівняти праві частини рівнянь (3.1) та (3.2), виразити з отриманої рівності змінну  $R_d$ :

$$R_d = R_p \left( \frac{E}{\Delta U} - 1 \right) - R_{вн} .$$

**Завдання 4.** Показання ртутного термометра дорівнює  $t$  °С. Поправка за свідоцтвом становить  $\Delta t$  °С. При повірці термометра виявилось, що положення нульової точки замість  $t_0$  °С за свідоцтвом відповідає  $t_0'$  °С. Знайти дійсне значення вимірюваної температури.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані

№ в-та	t	Δt	t <sub>0</sub>	t <sub>0</sub> '
1	250	+0.3	+0.1	-0.3

2	300	+0.5	+0.3	-0.4
3	150	+0.4	+0.15	-0.2
4	200	+0.2	+0.2	0
5	100	+0.5	+0.1	-0.4
6	50	+0.25	+0.3	-0.2
7	350	+0.3	+0.15	+0.1
8	400	+0.6	+0.2	-0.1
9	150	+0.2	+0.1	-0.15

*Методичні вказівки.* Знайдемо дійсне значення вимірюваної температури за формулою:

$$t_d = t + \Delta t + (t_0 - t_0'),$$

де  $t$  – показання ртутного термометра;

$\Delta t$  – поправка за свідоцтвом;

$t_0$  – положення нульової точки за свідоцтвом;

$t_0'$  – положення нульової точки, що виявила повірка.

**Завдання 5.** Хромель-алюмелева термопара, що вимірює температуру гарячого дуття доменної печі, розвиває т.е.р.с. Е мВ. Вільні кінці термопари знаходяться в приміщенні з температурою  $t$  °С. Визначити температуру дуття.

Таблиця 3.5 – Вихідні дані

№ варіанта	E	t
1	40.93	10
2	41.32	15
3	37.37	20
4	40.93	25
5	41.32	30
6	37.37	10
7	40.93	15
8	41.32	20
9	37.37	25

*Методичні вказівки.* Для визначення температури дуття необхідно:

а) по таблиці градуювання визначити т.е.р.с. термопар при температурі  $t_0$ ,  $E(t_0; 0)$ ;

б) з основного рівняння термопар  $E(t; t_0) = E(t; 0) - E(t_0; 0)$  знайдемо  $E(t; 0)$  – т.е.р.с., що розвивається термопарою при шуканій температурі дуття  $t$  і температурі вільних кінців рівний  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

в) по таблиці градуювання знаходимо температуру, яка відповідає показанням термопар  $E(t; 0)$ .

**Завдання 6.** За допомогою оптичного пірометра ОППР-017 виміряли температуру яскравості струменя рідкої сталі на випуску з мартенівської печі. Оцінити дійсну температуру сталі, якщо температура яскравості дорівнює  $T_{\lambda}\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$\varepsilon_{\lambda} = 0,37 - 0,4.$$



Таблиця 3.6 – Вихідні дані

№ варіанта	$T_{я}$
1	1000
2	800
3	900
4	1100
5	700
6	1200
7	1010
8	950
9	850

*Методичні вказівки.* З довідкової таблиці «Ступінь чорноти тіл при довжині хвилі 0,65μм» для стали неокисленої рідкої знаходимо  $\varepsilon_{\lambda} = 0,4$ .

$$T = \frac{1}{\frac{1}{T_{\lambda}} - \frac{\lambda}{c_2} \ln \frac{1}{\varepsilon_{\lambda}}}, [K],$$

де  $T_{\lambda}$  – температура яскравості, [K];

$\lambda = 0,65 \mu\text{м}$  – довжина хвилі;

$c_2 = 1,432 \cdot 10^{-2}$  – константа.

Необхідно звернути увагу на те, що в наведеній формулі використовується температура в градусах Кельвіна, а у вихідних даних приведена температура в градусах Цельсія.

### 3.3 Вимірювання тиску, витрат

**Завдання 7.** В конденсаторі парової турбіни підтримують абсолютний тиск  $P_a$  кПа. Знайти величину вакууму в конденсаторі, якщо барометричний тиск дорівнює  $P_b$  кПа.

Таблиця 3.7 – Вихідні дані

№ варіанта	Р <sub>а</sub>	Р <sub>б</sub>
1	3.6	106.3
2	4.0	106.8
3	3.8	106.5
4	3.5	105.8
5	3.3	106.0
6	3.9	106.2
7	3.7	106.4
8	4.1	106.3
9	3.6	106.5

*Методичні вказівки.* Для визначення величини вакууму необхідно скористатися формулою:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{бар}} + P_{\text{над}},$$

де  $P_{\text{абс}}$  – абсолютний тиск,

$P_{\text{бар}}$  – барометричний тиск,

$P_{\text{над}}$  – надлишковий тиск або вакуум, в залежності від умов завдання.

**Завдання 8.** Пружиний манометр для вимірювання тиску хімічно очищеної води встановлено на  $h$  м «положення» трубопроводу. Що покаже манометр, якщо тиск води  $P$  кПа?

Таблиця 3.8 – Вихідні дані

№ варіанта	$h$	Положення	$P$
1	6	Ниже	796
2	3	Выше	799
3	4	Выше	780
4	5	Ниже	775
5	3	Ниже	790
6	6	Выше	810
7	4	Ниже	795
8	3	Выше	785
9	5	Выше	798

*Методичні вказівки.* Покази манометра визначають за формулою:

$$P_d = P_{\text{изм}} \pm \gamma h,$$

где  $P_{\text{вим}}$  – покази манометра;

$\gamma$  – питома вага хімічно очищеної води;

$h$  – відстань до трубопроводу;

«+» використовують у разі, якщо манометр встановлено нижче трубопровода,

«-» – навпаки.

**Завдання 9.** Насичуючу воду подають в паровий котел по трубопроводу діаметром  $d$  мм. Визначити витрати води в одиницях маси та об'єму, якщо температура води  $t^\circ \text{C}$ , давление  $P$  МПа, швидкість потоку  $V$  м/сек.

Таблиця 3.9 – Вихідні дані

№ варіанта	$d$	$t$	$P$	$V$
1	350	100	1.96	1.5
2	200	95	0.098	2.0
3	250	105	1.96	1.0
4	150	102	0.098	1.5
5	400	99	1.96	2.0
6	350	98	0.098	1.0
7	200	100	1.96	1.5
8	250	103	0.098	2.0
9	150	99	1.96	1.0

*Методичні вказівки:* Витрати насичуючої води визначаються за формулами:

Об'ємні:

$$Q = 3600VW, [\text{м}^3/\text{год}],$$

де  $V$  – швидкість потоку, м/с,

$W$  – площа поперечного перерізу трубопровода,  $\text{м}^2$ .

Масові:

$$M = Q\rho, [\text{кг/год}],$$

де  $Q$  – об'ємні витрати,  $[\text{м}^3/\text{год}]$ ,

$\rho$  – щільність води за даних умов,  $[\text{кг}/\text{м}^3]$ , знаходиться в довідниковій таблиці

**Завдання 10.** Визначити щільність води при  $t$  °С, якщо щільність при  $t_n$  °С складає  $\rho_n$   $\text{кг}/\text{м}^3$ , а температурний коефіцієнт об'ємного розширення дорівнює  $4,8 \cdot 10^{-4}$  1/град.

Таблиця 3.10 – Вихідні дані

№ варіанта	$t$	$t_n$	$\rho_n$
1	75	20	998.2
2	95	70	978.7
3	50	40	992.2
4	65	20	998.2
5	80	70	978.7
6	95	40	992.2
7	50	20	998.2
8	65	70	978.7
9	80	40	992.2

*Методичні вказівки.* Щільність води за даних умов можна визначити за формулою:

$$\rho = \rho_n[1 - \beta(t - t_n)],$$

де  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення.

## РЕКОМЕНДОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

### Базові

1. Saleh, Bahaa EA, Teich, Malvin Carl, Fundamentals of Photonics 2nd edition (2007), Wiley, ISBN: 978-0-471-35832-9
2. Yang, Guang-Zhong, Implantable sensors and systems; from theory to practice (2018), Springer, ISBN 987-3-319-69748-2
3. Andreas Inmann, Diana Hodgins, Implantable sensor systems for medical applications (2013), Woodhead Publishing, ISBN 9781845699871
4. Dipl.-Ing. Dr. Martin Brandl. Optical Sensors for Biomedical Applications. Part 1: Interaction of Light with Matter (2018)
5. Dipl.-Ing. Dr. Martin Brandl. Optical Sensors for Biomedical Applications. Part 2: Optical Sensors (2018)
6. Dipl.-Ing. Dr. Martin Brandl. Optical Sensors for Biomedical Applications. Part 3: Optical Sensors (2018)

### Допоміжні

6. Метрологія, стандартизація та теплотехнічні вимірювання та прилади [Електронний ресурс] : методичні вказівки з самостійного вивчення курсу «Метрологія, стандартизація та теплотехнічні вимірювання та прилади» для студентів напряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» денної та заочної форми навчання / уклад. В. І. Мірошниченко. – Маріуполь : ПДТУ, 2014. – 27 с.
7. Федотов А.А., Акулов С.А. Вимірювальні перетворювачі біомедичних сигналів систем клінічного моніторингу. - М.: Радио и связь, 2013. - 250 с.
8. Andreas Inmann, Diana Hodgins. Implantable sensor systems for medical applications (2013), ISBN 9781845699871, Woodhead Publishing

8. Електронні методи и засоби біомедичних вимірювань: навчальний посібник / С.К. Мещанінов, В.М. Співак, А.Т. Орлов. - К .; Кафедра, 2015. - 211с.
9. Біосенсори: основи та додатки. Пер. з англ / Под ред. Е. Тернер, І. Карубі, Дж. Вілсон /. - М .: Світ, 1995. - 614 с.
10. Лясов Л.В. Біомедична вимірювальна техніка: Учеб. Посібник для вузів / Л.В. Лясов. . - М.: Вища. школа, 2007. - 342 с.
11. Віглеб Г. Датчики. Пристрій і застосування. - М .: Мир, 1989.
12. Федотов А.А., Акулов С.А. Вимірювальні перетворювачі біомедичних сигналів систем клінічного моніторингу. - М .: Радио и связь, 2013. - 250 с.

### **Інформаційні ресурси**

13. <http://ilab.xmedtest.net/?q=node/6299&page=2>
14. <http://ilab.xmedtest.net/?q=taxonomy/term/15&page=8>

*This project has been funded with support from the European Commission. This publication / communication reflects the views only of the author, and the Commission can not be held responsible for any use which may be made of the information contained there in.*