


«Затверджено»
на засіданні кафедри
медичної інформатики,
медичної і біологічної фізики
«27» серпня 2020 р.
протокол №1 від «27» серпня 2020 р.
Зав. кафедри _____ доцент Сілкова О.В.



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ
ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНОГО (СЕМІНАРСЬКОГО) ЗАНЯТТЯ

Навчальна дисципліна	Медична і біологічна фізика
Модуль №2	Основи медичної фізики
Змістовний модуль	Електродинаміка, її медичне застосування. Основи медичної апаратури.
Тема заняття	Медична апаратура. Пристрої для знімання медико-біологічної інформації.
Курс	I, II
Факультет	Медичний №1, 2, стоматологічний

Актуальність теми.

Обладнання для знімання медичної інформації є з'єднуючою ланкою між досліджуваним організмом і приладами для підсилення сигналів, одержаних від організму, їх відображення, реєстрації, обробки, передавання по каналах зв'язку, тощо. Ми розглядатимемо тільки те обладнання, в якому вихідним сигналом є електричний сигнал. За допомогою такого обладнання ми неначе переводимо інформацію, одержану від організму, в електричні сигнали, без яких у подальшому стає неможливим перетворення вихідної інформації.

2. Конкретні цілі:

- *Аналізувати* фізичні процеси, що відбуваються при зніманні медико-біологічної інформації.
- *Класифікувати* пристрої для знімання медичної та біологічної інформації.
- *Малювати* найпростіші електричні схеми.
- *Проаналізувати* різні методики діагностики та фізіотерапії з використанням електродів і датчиків.
- *Скласти* структурно-логічну схему.

3. Базові знання, вміння, навички, необхідні для вивчення теми (міждисциплінарна інтеграція):

Назви попередніх дисциплін	Отримані навички
1. Фізика 2. Математика	Малювати електричні схеми Розраховувати значення величин

4. Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття.

4.1 Перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

№ п/п	Термін	Визначення
1	Електрод	<i>Електроди</i> – це провідники спеціальної форми, з допомогою яких в електричне коло під'єднується ділянка тіла або орган живого організму.
2	Датчик	<i>Датчики</i> (перетворювачі медичної інформації) – обладнання для знімання медичної інформації, які реагують своїм чутливим елементом на дію вимірюваної величини, а також здійснюють перетворення в форму, вигідну для подальшого підсилення, реєстрації, обробки тощо.

4.2. Теоретичні питання до заняття:

1. Які пристрої називаються датчиками?
2. Що являють собою електроди?
3. Назвати види електродів.
4. Охарактеризувати різні види датчиків.
5. В яких методиках використовують електроди?

4.3. Практичні роботи (завдання), які виконуються на занятті:

1. оволодіти технікою розв'язку типових задач;
2. набути навичок розв'язування задач;
3. вміти застосовувати отримані знання в нестандартних ситуаціях.

5. Зміст теми:

Усе обладнання для знімання медичної інформації ділять на дві групи: електроди й датчики.

Електроди – це провідники спеціальної форми, з допомогою яких в електричне коло під'єднується ділянка тіла або орган живого організму. Вони насамперед використовуються для знімання електричного сигналу при електрокардіографії (ЕКГ), електроенцефалографії (ЕЯГ), електроміографії (ЕМГ), електроокулографії (ЕОГ), електрогастрографії (ЕГГ). Електроди також використовуються для підведення до організму деякого зовнішнього електричного впливу: при електрофорезі, при використанні для лікування імпульсного струму, при реографії, при застосуванні апарату “Електросон” та ін.

До електродів, які використовуються для знімання медичної та біологічної інформації, ставляться такі вимоги: вони повинні швидко фіксуватися та зніматися, бути дешевими, мати високу стабільність електричних параметрів, бути пластичними, з достатньою механічною міцністю, не давати артефактів і перешкод, давати мінімум втрат сигналу, що знімається, особливо на перехідному опорі електрод – шкіра.

Необхідно підкреслити, що величина перехідного опору залежить від роду металу, з якого виготовлений електрод, властивостей шкіри, площі дотику з електродом і від електропровідності середовища між ними. Між чистою сухою шкірою та електродом перехідний опір досягає величини сотень кілоом. З метою зменшення його між електродом і шкірою прокладають змочену фізіологічним розчином марлеву серветку або використовують спеціальні електропровідні електродні пласти, які дають набагато кращий результат електропровідності, ніж прості електроліти. Перехідний опір зменшується також із збільшенням площі стикання між електродом і шкірою, але при цьому знижується рівень інформації, що знімається.

Необхідно підкреслити важливе значення поляризації електродів, яке викликає спотворення форми сигналу, що реєструється, а в окремих випадках може зробити реєстрацію його зовсім неможливою. Таке явище є небажаним і може бути усунене шляхом підбору матеріалу для електродів і використання спеціальних електродних паст. Матеріалом для виготовлення поляризованих електродів може бути золото, платина, срібло, паладій, сплави з іридієм та інші.

Характеристики й конструкції електродів в основному залежать від мети їх призначення. За призначенням електроди можна поділити на чотири групи:

- 1) для одноразового застосування (у кабінеті функціональної діагностики);
- 2) для тривалого безперервного спостереження біоелектричних сигналів (у умовах палат реанімації, інтенсивної терапії);
- 3) для динамічного спостереження (в умовах фізичних навантажень у палатах реабілітації, у спортивній медицині);
- 4) для екстреного застосування (в умовах невідкладної терапії, швидкої допомоги).

Для тимчасового користування при зніманні грудних відведень ЕКГ використовується електрод-присоска. При знятті спеціальних стравохідних відведень ЕКГ використовується електрод в формі маслини, розміщеної на кінці гумового або

пластмасового катетера. Широко використовуються в медичній практиці голкоподібні, багатоточкові та ємнісні електроди.

Датчики (перетворювачі медичної інформації) – обладнання для знімання медичної інформації, які реагують своїм чутливим елементом на дію вимірюваної величини, а також здійснюють перетворення в форму, вигідну для подальшого підсилення, реєстрації, обробки тощо.

Неелектричними вхідними величинами датчиків можуть бути механічні величини (лінійні й кутові переміщення, швидкість, прискорення, тиск, частота коливань), фізичні (температура, вологість, освітлення), хімічні (концентрація речовин, склад), безпосередньо фізіологічні (наповнення тканин кров'ю тощо).

Їх вихідними електричними величинами, звичайно, є електричний струм, напруга, повний опір (імпеданс), частота (або фаза) змінного струму або імпульсних сигналів.

Усі датчики можна поділити на дві групи: *біокеруючі* та *енергетичні*.

Біокеруючі датчики змінюють свої характеристики безпосередньо під впливом медичної та біологічної інформації, що поступає від об'єкта дослідження. У свою чергу, біокеруючі датчики поділяються на *активні* (генераторні) і *пасивні* (параметричні).

В активних датчиках вимірюваний параметр безпосередньо перетворюється в електричний сигнал (тобто вони самі генерують сигнал відповідної амплітуди чи частоти). До таких датчиків відносяться п'єзоелектричні, індукційні перетворювачі, термоелементи.

У пасивних датчиках під впливом вхідної величини змінюються її електричні параметри: опір, ємність чи індуктивність. Вони, на відміну від активних датчиків, для отримання вихідної напруги чи струму підключаються в електричне коло з зовнішнім джерелом живлення. Це ємнісні, індуктивні, резистивні, контактні датчики.

Енергетичні датчики, на відміну від біокеруючих, активно впливають на органи й тканини, створюючи в них немодульований енергетичний потік із чітко вираженими, постійними в часі характеристиками. При цьому вимірюваний параметр впливає на характеристики цього потоку, модулює його пропорційно змінам самого параметра. Такі датчики потребують додаткового джерела енергії для впливу на об'єкт і створення немодульованого енергетичного потоку. До таких датчиків відносяться, наприклад, фотоелектричні й ультразвукові.

Усі датчики повинні відповідати таким вимогам:

1) *чутливість* – мінімальні зміни параметру, що знімається які можна точно виявити з допомогою даного перетворювача;

2) *динамічний діапазон* – діапазон вхідних величин, вимірювання яких проводиться без помітних спотворень від максимально граничної величини до мінімальної, обмеженої порогом відчуття чи рівнем перешкод;

3) *похибки* – максимальна різниця між одержаною та номінальною вихідними величинами;

4) *час релаксації* – мінімальний проміжок часу, протягом якого відбувається установка вихідної величини до рівня, що відповідає рівню вхідної величини.

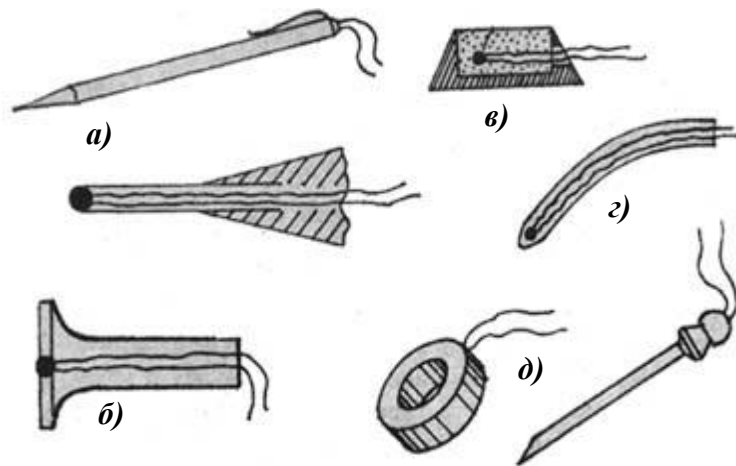
Ми зупинимося на найбільш поширених у медицині датчиках. Це датчики температури, параметрів системи дихання, серцево-судинної системи та інших.

При дослідженні живого організму розрізняють внутрішню температуру тіла та його поверхні – шкіри.

Для визначення внутрішньої температури організму її вимірюють у м'язах і окремих органах, ректальну температуру, температуру в порожнині рота, паховій впадині, паховій області, пупковій ямці. При вимірюванні температури поверхні шкіри, з

метою діагностики захворювань, велике значення мають симетричні температурні поля, які дають можливість оцінити інтенсивність кровопостачання якої-небудь частини чи сегмента людського тіла. При вимірюванні температури поверхні шкіри необхідно враховувати, що вона залежить від умов оточуючого середовища, температури й вологості повітря, одягу, розвитку волосяного покриву, кровопостачання, тощо. У клінічних дослідженнях необхідно враховувати, що внутрішня температура тіла є більш достовірним показником системи терморегуляції організму.

Для вимірювання температури людського тіла використовуються дротяні й напівпровідникові терморезистори, а також термоелементи, в основі яких лежить властивість зміни опору при зміні температури. Різні види таких датчиків показані на мал. 1.



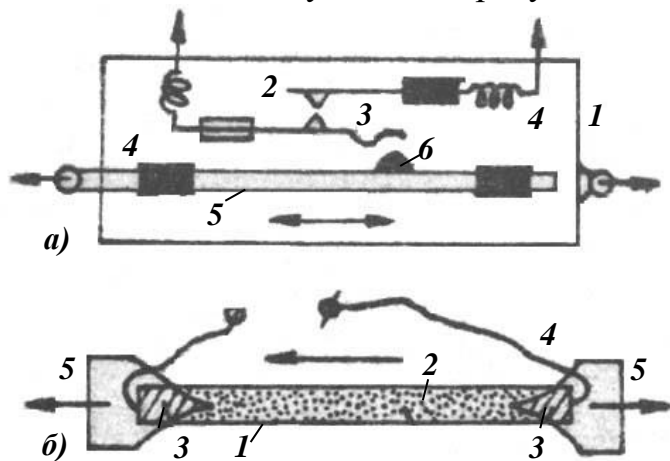
Малюнок 1

На цьому малюнку показані найбільш вживані в медицині датчики температури: а) і б) датчики для вимірювання температури поверхні тіла; в) поверхневий датчик для довготривалого спостереження досліджуваного організму; г) датчик для вимірювання ректальної температури; д) термоелектричні датчики.

У процесі дослідження системи дихання лікаря цікавлять як кількісні характеристики дихання (частота, об'єм вдихуваного та видихуваного повітря тощо), так і якісні характеристики зовнішнього, тканинного дихання (склад газів вдихуваного та видихуваного повітря, парціальний тиск кисню й вуглекислого газу в крові, процент насичення крові киснем та інше). Процес дихання супроводжується рухом грудної клітки (змінюючи довжину її округлості) і створенням протилежно направлених потоків повітря при вдиху й видиху, що мають різну температуру. Фіксування моментів періодично повторюваних рухів грудної клітки може бути просто здійснене з допомогою трьох типів пасивних біокеруючих датчиків: контактних, резистивних і пневматичних.

Найпростіший контактний датчик показаний на малюнку 2. Ми бачимо, що на основі 1 закріплені дві контактні пластинки 2 і 3, що створюють нормальний розімкнутий контакт. У направляючих втулках 4 рухається стержень 5. Стержень та основа датчика мають петлі для кріплення ремня на грудній клітині. При вдиханні стержень 5 рухається вліво й своїм виступом 6 пересуває нижню контактну пластинку 2. Електричне коло замикається, фіксуючи цим самим момент вдиху.

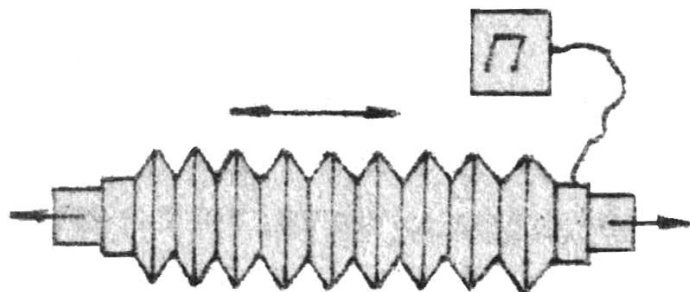
Резистивний датчик частоти дихання (малюнок 2 б) являє собою еластичну гумову трубку 1, наповнену вугільним порошком 2. З боків трубки встановлені електроди 3 для створення кращого контакту з відповідними провідниками 4 і вугільним порошком 2. До кінців трубки з допомогою дротяних петель 5 закріплюється ремінь, що оперізує грудну клітину. При вдиху гумова трубка розтягується, її поперечний переріз



Малюнок 2

зменшується, що спричиняє збільшення опору вугільного порошку, який знаходиться в трубці. При цьому змінюється струм в електричному колі. Зареєстровані зміни струму перетворюються в електричні імпульси певної тривалості, частота чергування яких, дорівнює частоті дихання, у таких датчиках замість вугільного порошку можна використовувати струмопровідну гуму.

Пневматичний датчик частоти дихання (мал.3) являє собою гофровану гумову трубку, герметично закрити з обох кінців. При розтягуванні об'єм трубки збільшується й тиск повітря всередині її зменшується. Ця зміна тиску фіксується з допомогою якого-небудь перетворювача П (електричного, манометричного).



Малюнок 3

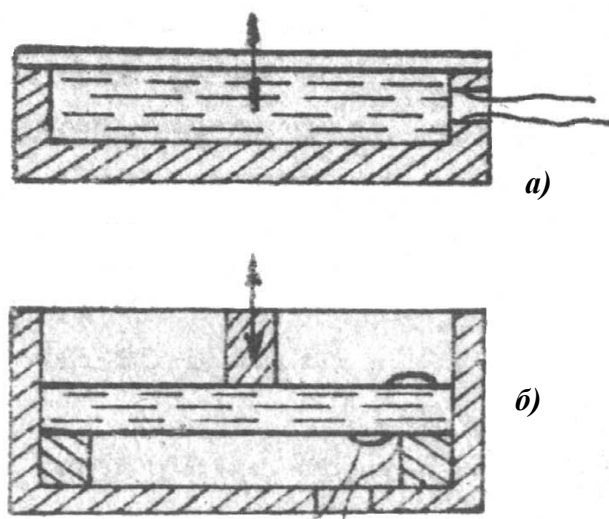
Розглянуті нами датчики частоти дихання, принцип роботи яких ґрунтується на фіксації рухів грудної клітини, мають один недолік – вони фіксують будь-яку зміну округлості грудної клітини. Тому їх використовують

при дослідженні хворого в умовах спокою.

За допомогою таких датчиків крім вимірювання частоти дихання можна, наприклад, оцінювати об'єм вдихуваного і видихуваного повітря. Більш точніше визначити об'єм вдихуваного повітря дозволяє турбінний датчик. Контроль за ефективністю дихання можна здійснювати шляхом фотометричного вимірювання процентного складу оксигемоглобіну в периферичній артеріальній крові. Цей метод вимірювання заснований на відмінності спектральних характеристик поглинання світла відновленим гемоглобіном – Hb і оксигемоглобіном HbO_2 .

Щоб оцінити діяльність серцево-судинної системи, використовуються такі характеристики: пульс, систолічний і діастолічний тиск, тони й шуми серця, імпеданс тканин, різні показники циркуляції крові тощо.

Для реєстрації частоти периферичного пульсу широко використовується п'єзоелектричний ефект, який полягає у виникненні електричних зарядів різних знаків на протилежних поверхнях деяких кристалів (п'єзоелектриків) під час їх механічної деформації (розтягу, стиску, прогину, згину, тощо).



Малюнок 4

Датчики, що працюють на основі п'єзоелектричного ефекту, належать до числа активних (генераторних) біокеруючих датчиків. Конструктивно вони виготовляються у вигляді таблеток діаметром 10–15 мм висотою 3–5 мм. Всередині такого корпусу розміщується п'єзоелемент, який працює на стиск (мал. 4 а) або на згин (мал. 4 б). Датчики такої конструкції, прикладені до стінки артерії, дають на виході імпульсний сигнал, при цьому частота імпульсів співпадає з частотою пульсу. Для вимірювання частоти пульсу використовуються також фотодатчики, які теж належать до енергетичних. Принцип роботи їх базується на використанні ефекту зміни ступеня поглинання

світлового потоку, що проходить через живу тканину у залежності від її кровонаповнення. Такий датчик може працювати в прохідному чи розсіяному світлі. Частіше всього чутливим елементом таких датчиків використовують фоторезистори.

Для дослідження тонів і шумів серця і запису фонокардіограм використовуються електродинамічні п'єзоелектричні мікрофони: а) динамічний мікрофон; б) п'єзоелектричний мікрофон.

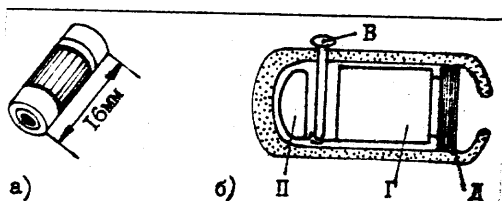
Слід підкреслити, що мікрофони належать до числа активних (генераторних) біокеруючих датчиків. Електродинамічні мікрофони відрізняються по чутливості, частотному й динамічному діапазонах, але вони витісняються п'єзоелектричними, які мають аналогічну конструкцію, як і п'єзоелектричні датчики пульсу. Різниця полягає лише в їх розмірах і чутливості.

При реєстрації фонокардіограм у нормальних умовах організму, фізичному навантаженні, бігу і т. п. використання мікрофонів згаданих вище конструкцій утруднюється через високий рівень перешкод. При цьому використовуються датчики більш цілеспрямовані, в яких зміщення та вібрації людського тіла діють у площині, перпендикулярній відносно напрямку дії корисного фонокардіографічного сигналу, пригнічуються в 50-100 раз.

При балістокардіографії, сейсмокардіографії широко використовуються датчики електромагнітного типу, при аналізі кровообігу використовуються ультразвукові датчики, які також належать до числа енергетичних.

Використання мікроелектронних приладів у медицині сприяло появі нових діагностичних прийомів, що називаються ендометрією. Наприклад, для вимірювання тиску крові в порожнині серця використовують мініатюрний електроманометр діаметром 1-2 мм, який закріплюється на кінці серцевого катетера. Датчиком у ньому служить силіконовий опір, сполучений з мембраною, що сприймає зовнішній тиск.

У медичній практиці широко використовується метод ендометрії для дослідження шлунково-кишкового тракту. Дослідження температури, тиску й кислотності (рН)



Малюнок 5 а,б

середовища проводиться на довжині всього тракту з допомогою ендорадіозонда, що має форму пілюлі (мал. 5 а), яку той, кого досліджують, ковтає.

а) зовнішній вигляд ендорадіозонду;

б) схематичний розріз з ендорадіозонду: П – джерело живлення, В – вмикач, Г – генератор радіосигналів, Д – датчик.

У такій пілюлі знаходиться мікрорадіогенератор (мал. 5 б), що має джерело живлення П з вмикачем В, генератор радіосигналів Г

і на відкритому кінці – датчик Д, що впливає на частоту генеруючих коливань. Датчиком для температури служить у ньому термістор, тиску – котушка індуктивності коливального контуру генератора, пов'язана з мембраною, датчиком кислотності (рН) середовища – два платинових електроди. Джерелом живлення передавача є лужний мікроаккумулятор.

Необхідно згадати й про вживлюваний під шкіру на тривалий час (до кількох років) прилад, що називається кардіомонітором, або “водієм ритму”, який є мініатюрним генератором електричних імпульсів, що регулює порушення, пов'язані з хворобою ритму скорочень серцевого м'яза.

6. Матеріали для самоконтролю:

А. Завдання для самоконтролю:

1. З якою метою при лікувальних процедурах електроди накладаються на поверхню тіла з прокладками?
 - А) лише для забезпечення надійного контакту;
 - В) для введення лікарського препарату, розчином якого змочена прокладка;
 - С) прокладку використовують з метою гігієни;
 - Д) для накопичення продуктів вторинних реакцій, що відбуваються на електродах;
 - Е) для запобігання теплових опіків.
2. Які з названих електродів можна використати для знімання біологічних потенціалів?
 - А) металеві електроди у формі пластинки невеликої площі;
 - В) скляні електроди;
 - С) голкоподібні електроди;
 - Д) стрічкоподібні електроди;
 - Е) хлорсрібні електроди.
3. Які з названих датчиків дозволяють вивчати процес дихання?
 - А) термодатчики;
 - В) контактні;
 - С) пневматичні;
 - Д) резистивні;
 - Е) ультразвукові.
4. Який датчик використовується в оксигеметрії?
 - А) п'єзоелектричний датчик;
 - В) ємнісний датчик;
 - С) тензодатчик;
 - Д) фотоелектричний датчик;
 - Е) ультразвуковий датчик.
5. Що використовується для виключення електрохімічної поляризації при фізіологічних дослідженнях?
 - А) електроди з прокладками;
 - В) електроди з присосками;
 - С) спеціальні металеві електроди, занурені в розчин солі цього металу;
 - Д) спеціальні електродні пасти;
 - Е) металеві електроди, покриті сіллю цього металу.
6. Які електроди використовуються для здійснення гальванізації?
 - А) електроди в надійній ізоляції;
 - В) скляні електроди;
 - С) металеві електроди з прокладками;
 - Д) електроди з вусиками;
 - Е) електроди з присосками.
7. Що може бути основним елементом параметричних датчиків?
 - А) термістор;
 - В) фотоелемент;
 - С) термопара;
 - Д) фоторезистор;
 - Е) конденсатор.
8. Що може бути основним елементом генераторних датчиків?
 - А) п'єзоелемент;
 - В) котушка індуктивності;

- С) конденсатор;
 D) резистор;
 E) фотоелемент.
9. Які електроди використовуються в різних процедурах діатермії?
 A) точковий електрод для коагуляції;
 B) наливний електрод для анестезії;
 C) металеві електроди значної площі для здійснення прогріву тканин організму;
 D) електрод у формі леза;
 E) скляний електрод для дарсонвалізації.
10. Який електрод використовують під час дарсонвалізації?
 A) металевий голкоподібний електрод;
 B) металевий фігурний електрод у формі балона, заповненого зрідженим азотом;
 C) електрод у вигляді хлорованого срібного стержня;
 D) неполяризований водневий електрод;
 E) скляний фігурний електрод у формі балона з розрідженим газом.

Б. Задачі для самоконтролю:

Задача 1.1. Для вимірювання неелектричних величин використовуються ємнісні датчики, в яких може змінюватися один з параметрів, наприклад, відстань між пластинами. Якщо ємність ввімкнена в коливний контур, то при цьому буде змінюватися резонансна частота контуру. Знайти зміну частоти коливального контуру $\Delta\nu$ при збільшенні відстані між пластинами плоского конденсатора від $d_1 = 4\text{мм}$ до $d_2 = 12\text{мм}$, якщо площа пластин $S = 4\text{см}^2$, а індуктивність котушки $L = 2\text{мГн}$.

Задача 1.2. Для точного вимірювання температури органу або тканини використовується термопара. Термопара з внутрішнім опором $r_1 = 6\text{Ом}$ і сталою $k = 0,05 \frac{\text{мВ}}{\text{К}}$ підключена до гальванометра з опором $r_2 = 14\text{Ом}$ і чутливістю $I_{\text{мін}} = 10\text{нА}$. Визначити номінальну зміну температури, що дозволяє визначити ця термопара.

Задача 1.3. Датчик лінгводинамометра містить тензорезистор (прямокутна спіраль у вигляді тонкої доріжки фольги, наклеєної на спеціальну підкладку). Розрахувати величину опору тензорезистора, якщо відомо, що довжина доріжки $l = 240\text{мм}$, ширина $b = 76\text{мкм}$, товщина константової фольги $h = 14\text{мкм}$. Питомий опір константану $\rho = 0,48\text{мкОм} \cdot \text{м}$.

7. Література:

Основна:

1. Лабораторний практикум з біофізики/ Доценко В.І. та ін. – Полтава 2003. – С.
2. Практичний курс по загальній фізіології і біофізиці. – Полтава, 1992. – С. 28-43.
3. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: 1987. – §13.1-§13.6.
4. Чалий О.В. та ін. Медична і біологічна фізика. Т.2 – К.: ВІПОЛ, 1999.

Додаткова:

1. Губанов Н.И., Утепбергенов А.А. Медична біофізика. – М.: Медицина, 1978. – С. 124-167.
2. Ємчик Л., Кліт Я. Медична біофізика. – Львів, 1998. – С. 39-51.
3. Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика. – Харьков: изд. НФАУ, 2003. – 704с.