

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

**Фізика.**

Модуль 4 «Електричні вимірювання»:  
методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт  
здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП  
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

Миколаїв  
2023

УДК 536:539.1  
Ф48

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 07.12.2023, протокол № 4.

#### Укладач

Вахоніна Лариса – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївського національного аграрного університету.

#### Рецензенти

Грубань Василь - канд. тех. наук доцент кафедри тракторів та сільськогосподарського виробництва, Миколаївський національний аграрний університет.

Ставинський Андрій – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний  
аграрний університет, 2023

## **Зміст**

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                           | 4  |
| 1.Принцип роботи, типи і будова електровимірювальних приладів.....                   | 4  |
| 2.Похибки електровимірювальних приладів.....                                         | 8  |
| 3.Монтаж електровимірювальних лабораторних установок.....                            | 11 |
| 4.Правила техніки безпеки при електричних вимірюваннях лабораторного практикуму..... | 15 |
| Література.....                                                                      | 16 |

## **ВСТУП**

Сучасну науку і техніку, сільське господарство не можна уявити без електричних вимірювань. При допомозі електровимірювальних приладів перевіряється правильність наукових висновків, встановлюються нові закономірності, проводиться контроль за технологічними процесами.

Мета даних методичних рекомендацій – ознайомити студентів з деякими основами техніки електричних вимірювань і необхідними при цьому правилами техніки безпеки.

Знання цих основ потрібне для виконання лабораторного практикуму в лабораторіях “Електрика” та ”Оптика” в курсі “Фізика”, а в подальшому являється необхідною умовою успішної інженерної діяльності спеціаліста сільського господарства.

### **1.ПРИНЦИП РОБОТИ ,ТИПИ, БУДОВА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ.**

Електровимірювальні прилади поділяються на прилади, які показують (стрілочні ) та прилади порівнювання (компенсаційні пристрої і мости).

В техніці і лабораторній практиці переважно використовуються стрілочні прилади .

Найбільш розповсюдженою групою електровимірювальних приладів, які показують є електромеханічні прилади в яких зміна енергії магнітного і електричного полів використовується для переміщення рухомої частини приладу.

В залежності від способу перетворення енергії, яка підводиться, в механічну енергію переміщення рухомої частини, та по конструктивних особливостях вимірювального механізму, електромеханічні прилади діляться на кілька типів. Найбільш широко використовуються наступні типи електромеханічних приладів:

1. Прилади магнітоелектричної системи, в яких використовується взаємодія магнітного поля постійного магніту з магнітним полем електричного струму, який протікає по обмотці легкої рухомої котушки.

2. Прилади електромагнітної системи, де використовується взаємодія магнітного поля електричного струму нерухомої котушки з магнітним полем намагніченого залізного осердя, яке рухається відносно котушки .

3. Прилади електродинамічної системи, в яких використовується взаємодія магнітних полів електричних струмів, які протікають по двох рамках , одна з яких рухома, а друга нерухома .

4. Прилади індукційної системи, в яких використовується властивість бігучого магнітного поля створювати обертовий момент, який діє на рухоме магнітне тіло, поміщене в це поле.

5. Прилади електростатичної системи. Принцип роботи їх заснований на взаємодії електричних полів двох або декількох електродів, один з яких є рухомих. Електроди звичайно виготовляють з алюмінію.

6. Прилади вібраційної системи, в яких використовується співпадання частот власних коливань рухомої частини приладу з частотою змінного струму.

7. Прилади теплової системи . В них використовується зміна довжини провідника при його нагріванні.

Умовні позначення, які наносяться на лицьових частинах приладу(ГОСТ 1845-69) наведені в таблицях 1-5.

Таблиця №1

**Позначення одиниць вимірювання їх кратних та дільових значень**

|              |           |                |            |
|--------------|-----------|----------------|------------|
| 1.Ампер      | <b>A</b>  | 10.Вебер       | <b>Wб</b>  |
| 2.Міліампер  | <b>mA</b> | 11.Мілівебер   | <b>mWб</b> |
| 3.Мікроампер | <b>μA</b> | 12.Мікрофарада | <b>μF</b>  |
| 4.Вольт      | <b>V</b>  | 13.Пікофарада  | <b>pF</b>  |
| 5.Мілівольт  | <b>mV</b> | 14.Генрі       | <b>H</b>   |
| 6.Герц       | <b>Hz</b> | 15.Мілігенрі   | <b>mH</b>  |
| 7.Кілоом     | <b>kΩ</b> | 16.Мікрогенрі  | <b>μH</b>  |
| 8.Ом         | <b>Ω</b>  | 17.Тесла       | <b>T</b>   |
| 9.Міліом     | <b>mΩ</b> | 18.Мілітесла   | <b>mT</b>  |

Таблиця №2

**Умовні графічні позначення електровимірювальних приладів**

|                                                        |                                                                                       |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Магнітоелектричний прилад з рухомою рамкою.....     |  |
| 2. Магнітоелектричний прилад з рухомим магнітом.....   |  |
| 3. Електромагнітний прилад.....                        |  |
| 4. Електродинамічний прилад.....                       |  |
| 5. Феродинамічний прилад.....                          |  |
| 6. Індукційний прилад.....                             |  |
| 7. Магнітоіндукційний прилад.....                      |  |
| 8. Електростатичний прилад.....                        |  |
| 9. Вібраційний прилад (язичковий).....                 |  |
| 10. Тепловий прилад з проволокою, що нагрівається..... |  |

11. Біметалічний прилад..... 

Таблиця №3

**Позначення виду струму.**

1. Постійний струм..... —
2. Змінний (однофазний) струм..... 
3. Постійний та змінний струм..... 

Таблиця №4

**Позначення класу точності, положення приладу, надійності ізоляції.**

1. Клас точності наприклад 0,5.....0,5
2. Горизонтальне положення шкали приладу..... 
3. Вертикальне положення шкали приладу..... 
4. Похиле положення шкали під певним кутом до горизонту..... 
5. Напрямок орієнтиру приладу в земному манітному полі..... ↑
6. Вимірювальний ланцюг, ізольований від корпусу та випробуваний напругою наприклад 2кВ..... 
7. Прилад випробуванню надійності ізоляції не підлягає..... 
8. Обережно! Надійність ізоляції вимірювального ланцюга по відношенню до корпусу не відповідає нормам (знак показується червоним кольором) 
9. Увага! Дивись додаткові вказівки в паспорті та інструкції по експлуатації 

Таблиця №5

**Позначення затискачів, коректора та аретиру.**

1. Негативний затискач.....—
2. Позитивний затискач .....+
3. Загальний затискач (для багатограничних приладів змінного струму і комбінованих приладів)..... 
4. Затискач постійного струму (в комбінованих приладах) в залежності від полярності.....+ або -

5. Затискач змінного струму (в комбінованих приладах)..... 
6. Затискач, з'єднаний з рухомою частиною (рамкою) приладу..... 
7. Затискач, з'єднаний з екраном..... **Е** або **Екран**
8. Затискач з'єднаний з корпусом..... 
9. Затискач для заземлення..... 
10. Коректор..... 
11. Аретир..... **АР** або **Аретир**
12. Напрямок аретирування..... 

## **2. ПОХИБКИ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

Результати вимірювань завжди відрізняються від дійсного значення вимірюваної величини. Абсолютна похибка приладу - це різниця між показанням приладу  $Ax$  і дійсним значенням вимірюваної величини тобто:

$$\Delta Ax = Ax - A. \quad (2.1)$$

Абсолютна похибка, яку взято з протилежним знаком, називається поправкою.

Відносна похибка вимірювання-це відношення абсолютної похибки  $\Delta Ax$  до дійсного значення вимірюваної величини  $A$ .

$$\mathcal{E}_x = \frac{\Delta Ax}{A} \cdot 100\%. \quad (2.2)$$

Зазвичай значення  $A$  і  $Ax$  мало відрізняються один від одного, тому у вираз (2.2) замість  $A$  підставляють  $Ax$  отримане із дослідів, тобто:

$$\mathcal{E}_x = \frac{\Delta Ax}{Ax} \cdot 100\%. \quad (2.3)$$

На похибки  $Ax$  і  $\mathcal{E}_x$  має вплив похибка підрахунку, похибка самих приладів та недосконалість методів вимірювання.

Для зменшення похибки відрахунку електровимірювальні прилади виготовляють з ножевидною стрілкою, або з світловим вказівником і дзеркальною шкалою. При відрахунку промінь зору повинен бути перпендикулярним до шкали, інакше можлива похибка від паралакса. Дзеркальні шкали дозволяють уникати паралакса. При відрахунку по

дзеркальній шкалі, окуляр спостерігача повинен бути розміщений так, щоб кінець стрілки закривав своє зображення в дзеркалі.

Похибка приладів характеризується відносною приведеною похибкою  $\mathcal{E}_n$  під якою розуміють відношення абсолютної похибки приладу до номінального (максимального) значення шкали  $A_n$  виражене у відсотках:

$$\mathcal{E}_n = \frac{\Delta Ax}{A_n} \cdot 100\% . \quad (2.4)$$

Абсолютна похибка вважається величиною сталою по всій шкалі електровимірювального приладу. Завод-виробник гарантує, що найбільша відносна приведена похибка приладу не перевищує вказаного значення, яке називається класом точності приладу, і у відсотках рівне класу точності приладу.

Згідно ГОСТ 1845-69 електровимірювальні прилади мають наступні класи точності: 0.05; 0.1; 0.2; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5; та 4.0;

**Приклад:** Клас точності електровимірювального приладу 0,5. Це означає, що відносна приведена похибка приладу в робочому діапазоні шкали не перевищує 0,5%. Прилади класу точності 0,05; 0.1; 0.2; та 0.5; називаються прецизійними і використовуються для точних лабораторних вимірювань. Знайдемо зв'язок відносної похибки вимірювань  $\mathcal{E}_x$  з відносною приведеною похибкою приладу. Помножимо і поділимо праву частину (2.4) на чисельне значення вимірюваної величини  $Ax$ .

$$\mathcal{E}_n = \frac{\Delta Ax}{A_n} \cdot \frac{Ax}{Ax} = \mathcal{E}_x \cdot \frac{Ax}{A_n}$$

Звідки:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \cdot \frac{A_n}{Ax} . \quad (2.5)$$

Дослідимо вираз (2.5). Нехай:

1.  $Ax = A_n$ , тобто чисельне значення вимірюваної величини рівне номінальному значенню приладу. Тоді

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \frac{A_n}{A_n} = \mathcal{E}_n$$

2.  $Ax < A_n$ , тоді

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \frac{A_n}{Ax} > \mathcal{E}_n$$

3.  $Ax > A_n$  є випадком нереальним.

Звідси видно, що відносна похибка вимірювання наближається до відносної приведеної похибки приладу, тільки при вимірюванні величини  $Ax$  близької до номінального значення шкали приладу  $A_n$  вона збільшується у стільки разів у скільки разів номінальне значення  $A_n$  більше величини  $Ax$ , яка вимірюється приладом. Щоб підвищити точність вимірювання потрібно користуватися приладами, номінальні значення яких близькі до вимірюваної приладом величини. Саме тому, електровимірювальні прилади виготовляють багатограничними.

Введемо поняття *чутливості* і *ціни поділки* електровимірювального приладу.

Величина чисельно рівна відношенню приросту кута повороту рухомої частини приладу до приросту вимірюваної величини називається чутливістю приладу.

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta A}. \quad (2.6)$$

Чутливість приладу, як це видно із (2.6) має розмірність, яка залежить від характеру вимірюваної величини. Тому коли користуються терміном “чутливість”, кажуть “чутливість приладу до струму” або “чутливість приладу до напруги” і т.д.

Чим більше приріст кута відхилення при одному і тому ж приросту величини, яка вимірюється, тим менші величини можна виміряти приладом і тим вища його чутливість.

Величину протилежну чутливості приладу називають ціною поділки приладу.

$$C = \frac{I}{S}. \quad (2.7)$$

Якщо відома ціна поділки приладу  $C$ , то чисельне значення величини  $A$ , яка вимірюється буде:

$$A = C \cdot n, \quad (2.8)$$

де  $n$  - число поділок шкали приладу, на яке вказує стрілка рухомої частини приладу або світловий вказівник приладу.

Якщо шкала приладу рівномірна (прилади магнітоелектричної системи), то за приріст кута відхилення приладу  $\Delta\alpha$  можна прийняти приріст числа поділок шкали приладу  $\Delta n$ .

**Приклад:** Маємо прилад, який може вимірювати струм від нуля до 0,25А. Шкала цього приладу рівномірна і має 100 поділок.

Чутливість цього приладу:  $S_i = \frac{\Delta\alpha}{\Delta i} = \frac{\Delta n}{\Delta i} = \frac{100 \text{ под.}}{0,25 \text{ А}} = 400 \text{ под. / А}$

### **3. МОНТАЖ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ УСТАНОВОК**

Перед виконанням лабораторної роботи потрібно ознайомитися з електричною схемою експериментальної установки та, розібравшись в принципах її роботи, провести монтаж установки.

Потрібно враховувати, що вміння розбиратися в електричних схемах дуже важливо для сучасного інженера сільськогосподарського виробництва, так як зараз в сільському господарстві немає, практично, ні однієї технологічної операції, де б не використовувалась електрична енергія.

Для того, щоб розумітися в електричних схемах, перш за все, потрібно знати умовні графічні позначення прийняті на електричних схемах згідно ГОСТ 2.728-74;2.755-73.

## Умовні графічні позначення на електричних схемах.

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Постійний струм, постійна напруга.....                                    | —   |
| 2. Змінний струм ,змінна напруга.....                                        | ~   |
| 3. Полярність позитивна і негативна.....                                     | + — |
| 4. Постійний та змінний струм.....                                           | — ~ |
| 5. Електричний з'єднувальний провідник.....                                  | —   |
| 6. Пересічні не з'єднані електричні провідники.....                          | + + |
| 7. Пересічні з'єднані електричні провідники.....                             | + + |
| 8. Розгалужені електричні провідники.....                                    | + + |
| 9. Плавкий запобіжник.....                                                   | —   |
| 10. Резистор (постійний опір).....                                           | —   |
| 11. Резистор (змінний опір).....                                             | —   |
| 12. Змінний резистор (потенціометр).....                                     | —   |
| 13. Реостат (змінний резистор).....                                          | —   |
| 14. Котушка індуктивності, обмотка трансформатора,<br>автотрансформатор..... | —   |
| 15. Котушка індуктивності з феромагнітним осердям.....                       | —   |
| 16. Конденсатор постійної ємності .....                                      | —   |
| 17. Конденсатор змінної ємності.....                                         | —   |
| 18. Лампа (освітлювальна).....                                               | —   |
| 19. Однополюсний вимикач (рубильник).....                                    | —   |
| 20. Двополюсний вимикач (рубильник).....                                     | —   |
| 21. Амперметр.....                                                           | —   |
| 22. Вольтметр.....                                                           | —   |
| 23. Хімічне джерело електроенергії (елемент, акумулятор).....                | —   |
| 24. Батарея елементів, акумуляторна батарея.....                             | —   |
| 25. Заземлення.....                                                          | —   |

26. Діод напівпровідниковий..... 
27. Транзистор (тріод)..... 
28. Двоелектродна електронна лампа..... 
29. Триелектродна електронна лампа..... 
30. Нагрівальний елемент..... 

$$\text{Ціна поділки приладу } C = \frac{I}{S} = \frac{1}{400 \text{ под} / A} = 0,0025 A / \text{под}.$$

Якщо чуйність приладу не постійна, тобто прилад має нерівномірну шкалу, то для такого приладу похибку визначають для тієї області значень вимірюваної величини, де передбачається проводити вимірювання, ця область називається діапазоном вимірювань.

Потрібно також вказати, що в багатьох випадках при вимірюваннях доводиться користуватися кратними та дольними одиницями. Кратні та дольні одиниці утворюються шляхом множення  $10^K$ , де K-ціле число.

Префікси для утворення кратних та дольних одиниць подані в таблиці 6.

Таблиця №6

### Кратні та дольні одиниці

| Множник    | Найменування | Скорочене позначення |            | Множник   | Найменування | Скорочене позначення |            |
|------------|--------------|----------------------|------------|-----------|--------------|----------------------|------------|
|            |              | Українське           | Міжнародне |           |              | Українське           | Міжнародне |
| $10^{-18}$ | <b>Ат</b>    | А                    | a          | $10^{-1}$ | <b>Деци</b>  | д                    | d          |
| $10^{-15}$ | <b>Фемта</b> | Ф                    | f          | 10        | <b>Дека</b>  | да                   | da         |
| $10^{-12}$ | <b>Піко</b>  | П                    | p          | $10^2$    | <b>Гекто</b> | Г                    | H          |
| $10^{-9}$  | <b>Нано</b>  | Н                    | n          | $10^3$    | <b>Кіло</b>  | К                    | K          |
| $10^{-6}$  | <b>Мікро</b> | Мк                   | μ          | $10^6$    | <b>Мега</b>  | М                    | M          |
| $10^{-3}$  | <b>Мілі</b>  | М                    | m          | $10^9$    | <b>Гіга</b>  | Г                    | G          |
| $10^{-2}$  | <b>Санті</b> | С                    | C          | $10^{12}$ | <b>Тера</b>  | Т                    | T          |

В деяких лабораторних роботах студенти самостійно проводять монтаж експериментальної установки згідно електричної схеми. При монтажі необхідно уважно дотримуватись наведених нижче правил. Дотримання цих правил гарантує правильну роботу та справність всіх частин електроустановки, забезпечує цілісність електровимірювальних приладів, дозволяє проводити електричні вимірювання з необхідною точністю та виконувати правила техніки безпеки.

1. Вся електрична схема монтується за допомогою з'єднувальних провідників. Вони повинні бути ізольованими, а кінці їх зачищені, так як вони постійно окислюються, внаслідок чого порушуються контакти.

2. Контакти повинні бути ретельно закріплені за допомогою зварки, пайки або гвинтового зажима.

3. Переплітання навіть ізольованих проводів не допускається.

4. Електричне коло ведеться від джерела струму, але підключається в останню чергу. При розбиранні електроустановки перш за все відключається джерело струму.

5. Всі реостати, які ввімкнені в коло, повинні бути встановленими на максимум опору.

6. Потенціометри (розподільники напруги) встановлюються на нуль напруги, яка подається в контур.

7. Всі рубильники та комутатори при складанні кола повинні бути розімкнутими.

8. Замикати напругу, без перевірення викладачем схеми електроустановки, категорично забороняється.

9. Напруга замикається тільки під час відрахунку.

#### **4. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАННЯХ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ**

Для дотримання техніки безпеки при роботі з лабораторними електроустановками потрібно виконувати наступні правила:

1. Підключати прилади до джерела електричного струму можна тільки після ретельного монтажу електричної схеми установки. Перевірка правильності монтажу та готовності лабораторної електроустановки проводиться викладачем або лаборантом.

2. Не можна вмикати рубильники та вилки без дозволу викладача або лаборанта.

3. У випадку перепід'єднань у схемі, остання перед вмиканням повинна знову бути перевірена викладачем .

4. Не проводити переключень в електроустановці, яка знаходиться під напругою.

5. Студентам категорично забороняється користуватися іншими джерелами електричного струму, окрім вказаних викладачем.

6. Не можна торкатися до неізолюваних частин електроустановки.

7. Категорично забороняється залишати без нагляду під напругою електроустановку та прилади.

8. У випадку виходу з ладу приладу, студент повинен негайно від'єднати електроустановку від джерела електричного струму і не робити спроб щодо виправлення ситуації, а повідомити про це викладача.

9. Збирання і розбирання електричних установок, підключення додаткових приладів, їх часткове відключення або зміну приладів, проводити тільки при відключеному джерелі живлення.

10. Операції при виконанні лабораторної роботи (переміщення повзуна реостата, регулювання котушки з осердям і т.п.) проводяться однією рукою не дотикаючись другою струмоведучих частин.

11. При роботі з електричними конденсаторами, обов'язково потрібно проводити їх розряд перед початком і після закінчення роботи.

12. Електричні плити повинні знаходитись на спеціальних теплоізолюючих підставках.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Загальна фізика. Оптика : оглядові лекції / уклад. В. М. Кадченко. Кривий Ріг: КДПУ, 2020. 70 с. URL: [http://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/4159/1/ДЕК\\_ОГЛЯДОВІ%20ЛЕКЦІЇ\\_2.pdf](http://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/4159/1/ДЕК_ОГЛЯДОВІ%20ЛЕКЦІЇ_2.pdf)
2. Коваленко В. Ф. Загальна фізика в прикладах, запитаннях і відповідях. Механіка : навчальний посібник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. 223 с. URL: [http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Kovalenko\\_Mechanics.pdf](http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Kovalenko_Mechanics.pdf)
3. Конспект з фізики для студентів скороченої форми навчання / уклад. О. Крамар. Тернопіль : Центр оперативної поліграфії, 2018. 128 с. URL: [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/27376/1/metod\\_AT\\_preprint.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/27376/1/metod_AT_preprint.pdf)
4. Коцюбинський В. О., Бойчук В. М. Фізика (вибрані питання) : курс лекцій. Івано-Франківськ :ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника", 2021. 309 с. URL: <http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/9429/1/Фізика%20вибрані%20питання%29.pdf>
5. Коцюбинський В. О., Бойчук В. М. Фізика : курс лекцій. Івано-Франківськ :ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника", 2020. 310 с. URL: [http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/6649/1/Курс%20лекцій\\_фізика.pdf](http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/6649/1/Курс%20лекцій_фізика.pdf)
6. Лекції з курсу загальної фізики . Розділ І. Механіка / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 55 с. URL: [http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7495/1/MV\\_Pravda.pdf](http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7495/1/MV_Pravda.pdf)
7. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ IV. Хвильова оптика / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 20 с. URL: [http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7498/1/MV\\_Pravda.pdf](http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7498/1/MV_Pravda.pdf)
8. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ II. Молекулярна фізика та термодинаміка / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 36 с. URL: [http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7496/1/MV\\_Pravda.pdf](http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7496/1/MV_Pravda.pdf)
9. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ III. Електрика та магнетизм / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 56 с. URL: [http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7497/1/MV\\_Pravda.pdf](http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7497/1/MV_Pravda.pdf)
10. Огородніков В. А., Федотов В. О., Перлов В. Є. Теоретична механіка. Кінематика : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2015. 69 с. URL: [https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18337/TM\\_kin\\_kl.PDF?sequence=1](https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18337/TM_kin_kl.PDF?sequence=1)
11. Огородніков В. А., Федотов В. О., Кириця І. Ю. Теоретична механіка. Динаміка : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2016. 84 с. URL: [https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18336/Конспект\\_лекцій\\_Динаміка\\_Кириця.PDF?sequence=1&isAllowed=y](https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18336/Конспект_лекцій_Динаміка_Кириця.PDF?sequence=1&isAllowed=y)
12. Павло В. Фізика. Основи і механічний рух : підручник. Одеса : Book Chef, 2020. 384 с.
13. Прокопів В. В. Конспекти лекцій з молекулярної фізики. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2017. 76 с. URL: [http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/3745/1/Konspekt-FF\\_Knyga.pdf](http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/3745/1/Konspekt-FF_Knyga.pdf)
14. Русаков В. Ф. Фізичні основи механіки: навчальний посібник. Вінниця:

ДонНУ імені Василя Стуса, 2019. 144 с. URL: [https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/113/1/84\\_%20Русаков%20В.Ф.%20Механіка.pdf](https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/113/1/84_%20Русаков%20В.Ф.%20Механіка.pdf)

15. Янг Г., Фрідман Р., Сендін Т., Форд Л. Фізика для університетів з розділами сучасної фізики. Львів : Наутілус, 2009. 1600 с.

16. Calculation of Optimal Geometric Parameters Electrical Apparatus for Controlling the Irrigation System / O. Sadovoy et al. 2023 *IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenichuk, Ukraine, 27–30 September 2023. 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402456>

17. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. 2022 *IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenichuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760>

18. Technological Parameters Of The Magnetic Circuit Of The Compact Transformer For Aggregate Electric Drive / E. Avdieieva et al. 2020 *IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, Kremenichuk, Ukraine, 2020, pp. 1-4, DOI: <https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240779>.

19. Development of a Model of Cell Functioning to Measure the Interaction of Low-Energy EMF / M. Kundenko et al. 2022 *XXXII International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)*, Sozopol, Bulgaria, 7–11 September 2022. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/mma55579.2022.9993093>.

Навчальне видання

**ФІЗИКА**  
**Модуль 4 «Електричні вимірювання»**

Методичні рекомендації

Укладачі:  
**Вахоніна** Лариса Володимирівна

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 1.1.

Тираж 20 прим. Зам. № \_\_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі  
Миколаївського національного університету  
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.10.2013р.