

УДК 378.147:621.3

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-3>

Андрій КЕВШИН

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій Навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0002-3581-8852

SCOPUS-AUTHOR ID: 35422272900

Володимир ГАЛЯН

доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій Навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0003-0066-7174

SCOPUS AUTHOR ID: 35422525700

Аліна ТРЕТЯК

інженер кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0002-1776-5339

SCOPUS AUTHOR ID: 35729868000

Юлія АРТЮХ

студентка Навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0002-4688-3537

Володимир ШАФАРЧУК

студент Навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0001-8899-3681

Олександр НИКИФОРОВ

студент Навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0002-1824-9192

Денис КУРШЕЛЬ

студент Навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0003-1995-6857

Бібліографічний опис статті: Кевшин, А., Галян, В., Третяк А., Артюх, Ю., Шафарчук, В., Никифоров, О., Куршель, Д. (2022). Використання практичних та лабораторних занять під час вивчення складних лінійних електричних кіл постійного струму в курсі електротехніки. *Фізика та освітні технології*, 1, 27–33, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-3>

**ВИКОРИСТАННЯ ПРАКТИЧНИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ
ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ СКЛАДНИХ ЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В КУРСІ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ**

Розглянуто актуальність отримання здобувачами вищої освіти теоретичних знань та практичних навичок під час вивчення електротехніки у вищих навчальних закладах для розрахунку складних електричних кіл, що містять декілька вузлів, віток, контурів. Такі знання необхідні спеціалістам, що працюють у галузі інформаційних технологій, енергетики, промислового виробництва або просто у повсякденному житті та можуть бути використані для правильної експлуатації різних електротехнічних установок.

Зокрема, у статті проаналізовано особливості вивчення складних лінійних електричних кіл постійного струму в курсі «Електротехніка» на практичних та лабораторних заняттях. Розрахунок струмів у вітках електричного кола здійснено на основі першого та другого законів Кірхгофа. Детально розглянуто методику розрахунку для електричного кола, що містить два незалежних контури, три джерела ЕРС та три різних опори. Складені рівняння для незалежних контурів запропоновано записувати у матричному вигляді, що значно спрощує знаходження невідомих струмів.

Акцентовано увагу на необхідності проведення лабораторних робіт під час вивчення електротехніки для кращого розуміння студентами нового матеріалу. Нині на ринку є можливість купити різноманітне лабораторне устаткування, але виробник, як правило, не дає методичні вказівки для проведення лабораторних робіт. Отже, виникає необхідність самостійно це робити. У зв'язку із цим обґрунтовано використання панелей «Лінійні електричні кола» вітчизняного виробника під час виконання лабораторних робіт з електротехніки для набуття практичних навичок з вивчення складних електричних кіл. Розроблено теоретичні відомості для виконання лабораторної роботи «Дослідна перевірка законів Кірхгофа», які можна ефективно використовувати на заняттях зі студентами вищих навчальних закладів.

Поєднання теорії та розробленої лабораторної роботи дозволить студентам навчитися не тільки правильно проводити теоретичні розрахунки, а й складати розгалужені кола, здійснювати необхідні вимірювання, що допоможе набуттю необхідних фахових компетентностей майбутнього фахівця.

Ключові слова: електричне коло, незалежний контур, електричний струм, закони Кірхгофа.

Andriy KEVSHYN

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Experimental Physics, Information and Educational technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0002-3581-8852

SCOPUS-AUTHOR ID: 35422272900

Volodymyr HALYAN

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Experimental Physics, Information and Educational technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0003-0066-7174

SCOPUS AUTHOR ID: 35422525700

Alina TRETAK

Engineer at the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Avenue, Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0002-1776-5339

SCOPUS AUTHOR ID: 35729868000

Yulia ARTIUKH

Student at the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0002-4688-3537

Volodymyr SHAFARCHUK

Student at the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0001-8899-3681

Oleksandr NYKYFOROV

Student at the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0002-1824-9192

Denys KURSHEL

Student at the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0003-1995-6857

To cite this article: Kevshyn, A., Halyan, V., Tretyak, A., Artiukh, Y., Shafarchuk, V., Nykyforov, O., Kurshel, D. (2022). Vykorystannia praktychnykh ta laboratornykh zaniat pid chas vyvchennia skladnykh liniinykh elektrychnykh kil postiinoho strumu v kursi elektrotekhniki [The use of practical and laboratory classes in the study of complex linear electric circuits of direct current in the course of electrical engineering]. *Physics and Educational Technology*, 1, 27–33, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-3>

THE USE OF PRACTICAL AND LABORATORY CLASSES IN THE STUDY OF COMPLEX LINEAR ELECTRIC CIRCUITS OF DIRECT CURRENT IN THE COURSE OF ELECTRICAL ENGINEERING

The relevance of obtaining theoretical knowledge and practical skills by students of higher education when studying electrical engineering in higher educational institutions for the calculation of complex electric circuits containing several nodes, branches, and contours is considered. Such knowledge is necessary for specialists working in the field of information technology, energy, industrial production or just in everyday life and can be used for the correct operation of various electrical installations.

In particular, the article analyzes the peculiarities of studying complex linear electric circuits of direct current in the course “Electrical Engineering” in practical and laboratory classes. The calculation of the currents in the circuits of the electric circuit was carried out on the basis of Kirchhoff’s first and second laws. The calculation method for an electric circuit containing two independent circuits, three EMF sources and three different resistances is considered in detail. Compound equations for independent circuits are proposed to be written in matrix form, which greatly simplifies the finding of unknown currents.

Emphasis is placed on the need to conduct laboratory work when studying electrical engineering for a better understanding of new material by students. Today on the market there is an opportunity to buy a variety of laboratory equipment, but the manufacturer, as a rule, does not give methodological instructions for conducting laboratory work. Therefore, there is a need to do it yourself. In this regard, the use of “Linear electric circuits” panels of the domestic manufacturer during the performance of laboratory work on electrical engineering to acquire practical skills in the study of complex electric circuits is substantiated. Theoretical information for the laboratory work “Experimental verification of Kirchhoff’s laws” has been developed, which can be effectively used in classes with students of higher educational institutions.

The combination of theory and developed laboratory work will allow students to learn not only to correctly perform theoretical calculations, but also to make branched circles, to make the necessary measurements, which will help to acquire the necessary professional competences of the future specialist.

Key words: electric circuit, independent contours, electric current, Kirchhoff’s laws.

Актуальність проблеми.

Нині електротехніка є однією із самих складних дисциплін, але водночас дуже необхідною у сучасному світі, оскільки займається вивченням застосування магнітних та електричних явищ у повсякденному житті. Теоретичні знання та практичні навички, отримані здобувачами вищої освіти під час вивчення електротехніки, необхідні спеціалістам, що працюють у галузі інформаційних технологій, енергетики, промислового виробництва або

просто у повсякденному житті. Для правильної експлуатації різних електротехнічних установок необхідно знати величини струмів, що проходять через різні його елементи. Такі установки можуть містити складні електричні кола, що мають декілька вузлів, віток, контурів. Безпосереднє використання закону Ома для повного кола в таких випадках може призвести до помилок у розрахунках. Тому для розв’язання таких проблем необхідно використовувати інші підходи.

Мета дослідження – розглянути можливість використання практичних та лабораторних занять під час вивчення складних лінійних електричних кіл постійного струму в курсі «Електротехніка» для інтегрування знань студентів.

Виклад основного матеріалу.

Щоб уміти правильно розраховувати складні лінійні електричні кола постійного струму, необхідно володіти основними поняттями з фізики в галузі електрики (чітко розуміти, що таке електричний струм, напруга, ЕРС джерела), та вміти математично розв'язувати системи лінійних рівнянь. Одним зі способів розрахунку розгалужених електричних кіл, що містять декілька вузлів, ділянок, контурів, є використання законів Кірхгофа (Кевшин, 2021).

Згідно з першим законом Кірхгофа, алгебраїчна сума струмів, що сходяться у вузлі, дорівнює нулю

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

При цьому струмам, що спрямовані до вузла, привласнюють один знак, наприклад позитивний, а струмам, що спрямовані від вузла, – інший знак, наприклад, негативний. Згідно з іншим формулюванням першого закону Кірхгофа: сума струмів, що притікають до вузла, дорівнює сумі струмів, що виходять з нього.

Згідно з другим законом Кірхгофа: в замкненому контурі алгебраїчна сума спадів напруг на опорах усіх елементів контуру дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що діють у цьому контурі

$$\sum_{k=1}^i \pm I_k R_k = \sum_{k=1}^i \pm E_k$$

Напрями обходу кожного контуру вибирають довільно. Перед спадом напруги ставиться знак «+», якщо напрям обходу контуру співпадає з вибраним додатним напрямом струму в даному контурі, і знак «-», якщо ці напрями протилежні. Якщо напрям обходу контуру співпадає з напрямом ЕРС, то ця ЕРС входить до рівняння зі знаком «+», і навпаки.

Перш ніж експериментально розраховувати розгалужені електричні кола, студенти мають навчитися це робити теоретично, тобто на практичних заняттях, мета яких – поглибити, розширити, деталізувати знання, отримані на лекції в узагальненому вигляді, і сприяти напрацюванню навичок професійної діяльності (Стьопін, 2016). Наприклад, на практичному

занятті зі студентами можна розглянути таку типову задачу з цієї тематики.

Задача. У схемі на рис. 1 E_1 – елемент з ЕРС, що рівна 4 В; $E_2 = 3$ В; $E_3 = 5$ В; $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 6$ Ом; $R_3 = 1$ Ом. Знайти силу струму, що протікає через опір R_2 і спад напруги на опорі R_1 .

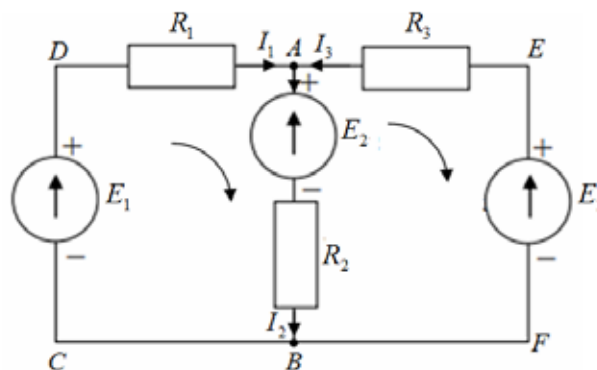


Рис. 1. Схема розгалуженого кола

Така схема має два вузли (A і B) і два контури (ABCD і ABFE). Для вузла A, згідно з першим законом Кірхгофа, можемо записати:

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0 \tag{1}$$

Обхід контуру ABCD виберемо за годинниковою стрілкою. Тоді для цього контуру за другим законом Кірхгофа можемо записати:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = E_1 - E_2 \tag{2}$$

Обхід контуру ABFE виберемо також за годинниковою стрілкою. Тоді для цього контуру за другим законом Кірхгофа можемо записати:

$$-I_2 R_2 - I_3 R_3 = E_2 - E_3 \tag{3}$$

Підставимо дані в (2):

$$2I_1 + 6I_2 = 4 - 3$$

$$2I_1 + 6I_2 = 1 \tag{4}$$

Підставимо дані в (3):

$$-6I_2 - I_3 = 3 - 5$$

$$6I_2 + I_3 = 2 \tag{5}$$

Запишемо систему рівнянь (1), (4) і (5) у матричному вигляді:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 2 & 6 & 0 \\ 0 & 6 & 1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

де A – основна матриця системи, її елементами є коефіцієнти у разі невідомих струмів; B – матриця стовпець вільних членів (ЕРС).

Запишемо і знайдемо головний визначник Δ матриці A :

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 2 & 6 & 0 \\ 0 & 6 & 1 \end{vmatrix} = 20$$

Знайдемо визначник Δ_{I_1} , що отриманий заміною відповідних стовпців визначника Δ стовпцями матриці B .

$$\Delta_{I_1} = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 6 & 0 \\ 2 & 6 & 1 \end{vmatrix} = -5$$

Аналогічно знаходимо визначник Δ_{I_2} :

$$\Delta_{I_2} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{vmatrix} = 5$$

Тоді:

$$I_1 = \frac{\Delta_{I_1}}{\Delta} = \frac{-5}{20} = -0,25 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\Delta_{I_2}}{\Delta} = \frac{5}{20} = 0,25 \text{ A}$$

Знак « \rightarrow » в значенні сили струму I_1 означає, що цей струм буде йти у протилежному, позначеному на рисунку напрямку.

Спад напруги U_1 на опорі R_1 , згідно із законом Ома для ділянки кола, буде рівним:

$$U_1 = I_1 R_1 = 0,25 \cdot 2 = 0,5 \text{ B}$$

Відповідь: $I_2 = 0,25 \text{ A}$; $U_1 = 0,5 \text{ B}$.

Однією з форм практичного застосування знань, отриманих у разі вивчення технічних та фахових навчальних дисциплін, є лабораторні і практичні заняття (Корець, 2019). Теоретичні розрахунки складних лінійних електричних кіл постійного струму ґрунтовно засвоюються здобувачами вищої освіти під час виконання лабораторних робіт з цієї тематики. Для цього можна використати панель «Лінійні електричні кола», що входить до стенду «Електротехніка. Основи електроніки УТЛЕ-01».

Зверху на панелі нанесений малюнок принципової її схеми, розміщені клеми, що призначені для підключення джерел живлення, вимірювальних пристроїв, мікроперемикачі, які дозволяють змінювати параметри схеми, індикатори та ручки регуляторів. За допомогою такої панелі можна виконувати лабораторну роботу «Дослідна перевірка законів Кірхгофа». Виробник цього устаткування не надає інструкцій до виконання лабораторних робіт, їх потрібно розробляти самостійно. Як один із варіантів можна запропонувати таку послідовність виконання вказаної лабораторної роботи.

Хід роботи

1. Ознайомитися з обладнанням панелі «Лінійні електричні кола».
2. Підключивши вольтметр до кожного із двох джерел, які використовуються в цій лабо-

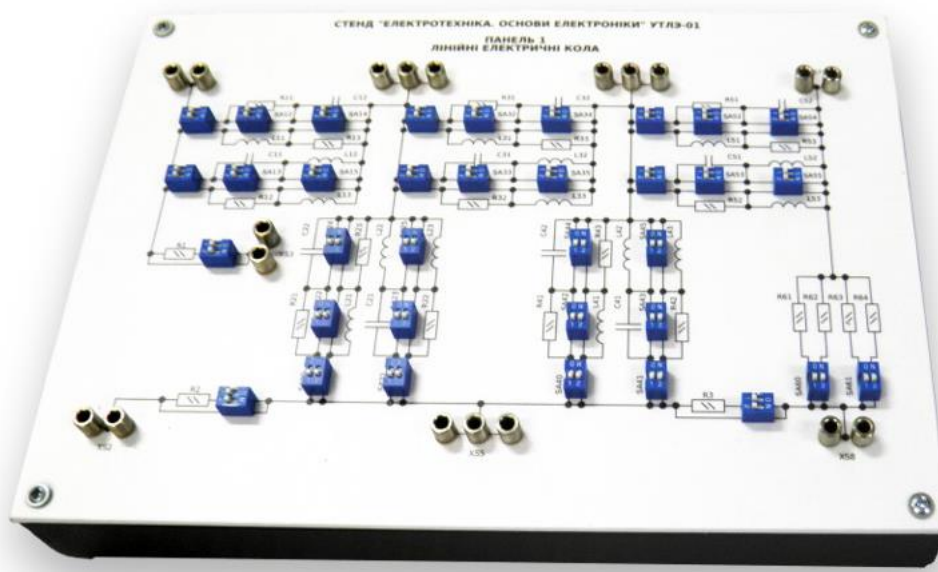
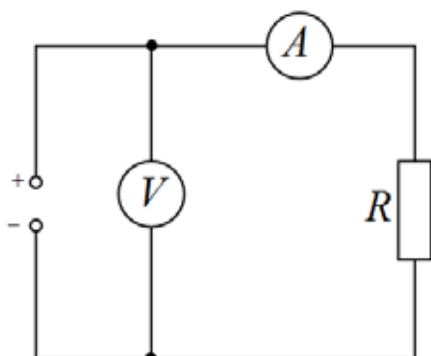


Рис. 2. Зовнішній вигляд панелі «Лінійні електричні кола»

раторній роботі, виміряти їх ЕРС ε_1 та ε_2 і записати їх значення у таблицю 1.

3. Скласти коло з кожним із джерел для визначення їх внутрішнього опору.



Виміряти струм у колі і напругу на затискачах джерела. Обчислити внутрішній опір джерела за формулою:

$$r = \frac{\varepsilon - U}{I}$$

Результати вимірювань записати у таблицю 1.

Таблиця 1

$\varepsilon_1, \text{В}$	$r_1, \text{Ом}$	$\varepsilon_2, \text{В}$	$r_2, \text{Ом}$

4. Для перевірки першого закону Кірхгофа скласти електричне коло, зображене на рис. 3. На панелі в якості R_1 взяти опір із позначенням R_1 , в якості R_2 взяти один із наступних опорів (R_{61}, R_{62}, R_{63} або R_{64}), в якості R_3 взяти один із наступних опорів (R_{41}, R_{42} або R_{43}). Конкретне значення опору задає викладач.

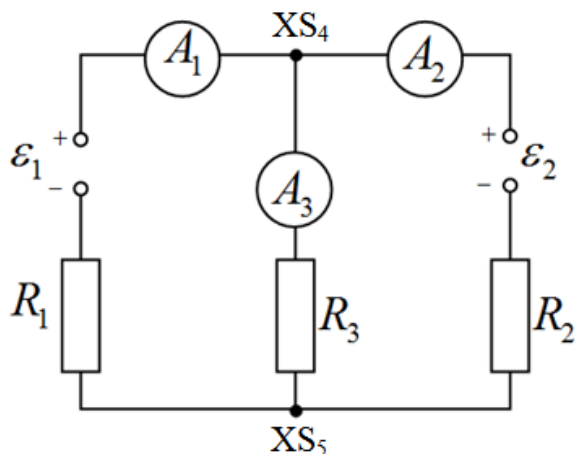


Рис. 3. Схема для перевірки першого та другого законів Кірхгофа

5. Результати вимірювань записати у таблицю 2

Таблиця 2

$I_1, \text{мкА}$	$I_2, \text{мкА}$	$I_3, \text{мкА}$

6. Перевірити виконання першого закону Кірхгофа.

7. Теоретично розрахувати значення струмів I_1, I_2, I_3 та перевірити отримані значення з експериментальними даними.

8. Перевірити справедливості другого закону Кірхгофа. Для цього необхідно: позначити полярність напруг на всіх ділянках кола. Струм через резистор тече в напрямку зменшення потенціалу, тобто від точки з більшим потенціалом “+” до точки з меншим потенціалом “-“. Напруга завжди має напрям від “+” до “-“. Тому на резисторі напрями напруги і струму збігаються. Для джерел ЕРС спрямована від “-“ до “+”, тому напруга на затискачах джерела ЕРС спрямована назустріч ЕРС.

9. Виміряти напругу на кожній із ділянок кола, підключаючи вольтметр відповідно до позначеної на схемі полярності напруг (затискач вольтметра “V” підключати до точки “+”). Результати вимірювань занести до таблиці 3.

Таблиця 3

$U_{\varepsilon_1}, \text{В}$	$U_{R_1}, \text{В}$	$U_{\varepsilon_2}, \text{В}$	$U_{R_2}, \text{В}$	$U_{R_3}, \text{В}$

10. За результатами вимірювань напруг на різних ділянках кола розрахувати алгебраїчну суму напруг $\sum U$ в усіх можливих контурах і переконатися у справедливості другого закону Кірхгофа.

Висновки. Поєднання теоретичних розрахунків складних лінійних електричних кіл постійного струму з виконанням лабораторних занять сприяє більш глибокому засвоєнню здобувачами вищої освіти такого матеріалу. Такий симбіоз теорії та практики дозволить студентам навчитися не тільки правильно проводити теоретичні розрахунки, а й складати розгалужені кола, здійснювати необхідні вимірювання, що допоможе набуттю необхідних фахових компетентностей майбутнього фахівця.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кевшин А.Г., Новосад О.В., Федосов С.А. Електротехніка : навчальний посібник. Луцьк, 2021. 127 с.
2. Стюпін Ю.О., Попова І.О. Можливість використання практичних занять під час вивчення теоретичних основ електротехніки для інтегрування знань студентів. Мелітополь. 2016. Вип. 20. С. 91–97.
3. Корець М.С. Методика викладання технічних навчальних дисциплін : навчальний посібник. Київ : Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2019. 240 с.

REFERENCES:

1. Kevshyn, A.H., Novosad, O.V., Fedosov, S.A. (2021). Elektrotekhnika: navchalnyi posibnyk. Lutsk, 2021. 127 s. [in Ukrainian].
2. Stopin, Yu.O., Popova, I.O. (2016). Mozhlyvist vykorystannia praktychnykh zaniat pry vyvchenni teoretychnykh osnov elektrotekhniky dlia intehruvannia znan studentiv. Melitopol. Vyp. 20. S. 91–97. [in Ukrainian].
3. Korets, M.S. (2019). Metodyka vykladannia tekhnichnykh navchalnykh dystsyplin: navchalnyi posibnyk. Kyiv: Vyd-vo NPU imeni M.P. Drahomanova. 240 s. [in Ukrainian].