

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Факультет енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на тему:**  
**АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ**  
**З ПОДАЛЬШИМ РОЗРАХУНКОМ УСТАТКУВАННЯ**

**Виконав:**

здобувач вищої освіти денної форми  
навчання освітнього ступеня «Магістр»,  
освітньо-професійної програми  
«Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка» спеціальності 141  
«Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

\_\_\_\_\_ **Юлій КОЗИНОВ**

**Керівник:** канд. екон. наук, доцент

\_\_\_\_\_ **Андрій ПЕЧЕНЮК**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_ Шкала ECTS \_\_\_\_\_

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Гарант освітньої програми)

«Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент \_\_\_\_\_ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

м. Кам'янець-Подільський, 2024 р.

## ЗМІСТ

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                           | 3  |
| Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ                                          |    |
| 1.1. Вимоги до конфігурації та схем електричних мереж.....                                           | 5  |
| 1.2. Типові конфігурації електричних мереж та галузь їх застосування.....                            | 9  |
| 1.3. Основні принципи побудови схем електричних мереж та уніфікація їх елементів.....                | 14 |
| Висновки до розділу 1.....                                                                           | 17 |
| Розділ 2. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ВИБОРУ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ                                        |    |
| 2.1. Призначення та функції трансформаторних підстанцій.....                                         | 19 |
| 2.2. Вибір кількості та потужності трансформаторів.....                                              | 21 |
| Висновки до розділу 2.....                                                                           | 27 |
| Розділ 3. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ                                                                         |    |
| 3.1. Заходи з підвищення надійності в електричних мережах.....                                       | 29 |
| 3.2. Особливості реконструкції трансформаторних підстанцій.....                                      | 32 |
| 3.3. Аналіз існуючої схеми електропостачання.....                                                    | 35 |
| Висновки до розділу 3.....                                                                           | 36 |
| Розділ 4. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ                                                                       |    |
| 4.1. Розрахунок електричних навантажень.....                                                         | 38 |
| 4.2. Прогнозування електричних навантажень.....                                                      | 39 |
| 4.3. Розробка та аналіз варіанту підключення підстанцій.....                                         | 40 |
| 4.4. Баланс активної та реактивної потужності.....                                                   | 42 |
| 4.5. Вибір компенсуючих пристроїв.....                                                               | 44 |
| 4.6. Вибір трансформаторів.....                                                                      | 46 |
| 4.7. Вибір проводів ліній електропередачі.....                                                       | 48 |
| 4.8. Розрахунок струмів короткого замикання.....                                                     | 49 |
| Висновки до розділу 4.....                                                                           | 56 |
| Розділ 5. ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ..... | 58 |
| Висновки до розділу 5.....                                                                           | 63 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                        | 65 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                     | 67 |
| ДОДАТКИ                                                                                              |    |

## ВСТУП

Ефективне функціонування електричних мереж є ключовим фактором у забезпеченні надійного енергопостачання споживачів, що особливо актуально в умовах зростаючого споживання електроенергії та інтеграції відновлюваних джерел енергії. Аналіз режимів роботи електричних мереж дозволяє виявити вузькі місця в системі, запобігти аварійним ситуаціям, оптимізувати роботу устаткування та забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів.

Дана кваліфікаційна робота присвячена дослідженню режимів роботи електричної мережі, яка є основою для прийняття технічно обґрунтованих рішень щодо вибору, модернізації чи заміни елементів обладнання. У процесі дослідження буде проведено комплексний аналіз режимів роботи, включаючи визначення параметрів навантаження, рівнів напруги та втрат енергії, а також оцінено ефективність роботи устаткування.

**Мета роботи** полягала у розробці методичних рекомендацій для оптимізації роботи мережі та обґрунтуванні вибору відповідного електротехнічного обладнання з урахуванням специфіки досліджуваного об'єкта.

Для досягнення мети кваліфікаційної роботи було заплановано реалізацію ряду **завдань**:

- розкрити сутність вимог до конфігурації та схем електричних мереж;
- аналіз типових конфігурацій електричних мереж та галузей їх застосування;
- представити основні принципи побудови схем електричних мереж та уніфікація їх елементів;
- розкрити призначення та функції трансформаторних підстанцій;
- дослідити особливості підбору кількості та потужності трансформаторів;
- узагальнити комплекс заходів з підвищення надійності в електричних мережах;
- провести розрахунок електричних навантажень;

- спрогнозувати варіанти електричних навантажень;
- запропонувати вибір компенсуючих пристроїв, трансформаторів, проводів ліній електропередачі;
- продемонструвати методику розрахунку показників ефективності для техніко-економічного порівняння варіантів проектних рішень.

**Об’єкт дослідження** – електрична мережа, що забезпечує передачу та розподіл електроенергії для споживачів. Основну увагу зосереджено на конкретній ділянці мережі, яка включає елементи електрообладнання, такі як трансформатори, лінії електропередачі та розподільчі пристрої.

**Предмет дослідження** – режими роботи електричної мережі, параметри її функціонування та ефективність роботи електротехнічного устаткування. Особливу увагу приділено аналізу навантажень, втрат потужності, рівнів напруги та їх впливу на роботу обладнання, а також обґрунтуванню вибору оптимальних технічних рішень.

Актуальність теми обумовлена потребою підвищення надійності та ефективності електричних мереж в умовах сучасних викликів, таких як децентралізація енергетики, підвищення екологічних стандартів та цифровізація енергосистем.

У ході роботи було використано сучасні методи моделювання, розрахунків та аналізу, що дозволить отримати практичні рекомендації для подальшої експлуатації електричної мережі. Результати дослідження можуть бути корисними для енергетичних підприємств, проектних організацій та спеціалістів у сфері енергетики.

## ВИСНОВКИ

За результатами дослідження, проведеними у процесі підготовки кваліфікаційної роботи, можна зробити наступні висновки:

1. У результаті виконаного аналізу режимів роботи електричної мережі вдалося детально оцінити її робочі характеристики при різних умовах навантаження та зовнішніх впливах. Це дозволило виявити ключові моменти, що впливають на ефективність функціонування мережі та можливі ризики, пов'язані з її експлуатацією.

2. Розрахунок устаткування мережі, що включає трансформатори, лінії передачі та інші елементи, був здійснений на основі актуальних технічних даних, що дозволило визначити оптимальні параметри для забезпечення надійності та безпеки її роботи в різних режимах.

3. Особлива увага була приділена аналізу короточасних та тривалих навантажень, а також можливим режимам перевантаження, що можуть виникнути при різких коливаннях споживання електричної енергії. Розрахунок дозволив визначити відповідні захисні характеристики для елементів мережі, що підвищує її експлуатаційну надійність.

4. Проведені дослідження також показали важливість коректного вибору та налаштування параметрів устаткування для забезпечення енергоефективності та економічної доцільності при експлуатації мережі. Залучення сучасних підходів до розрахунку та прогнозування режимів роботи дозволяє значно оптимізувати витрати на обслуговування мережі та скоротити ймовірність технічних аварій.

5. За результатами розрахунків можна зробити висновок, що оптимізація режимів роботи мережі та удосконалення параметрів устаткування є необхідними для забезпечення стабільної та безперебійної роботи електричної мережі, а також для зниження витрат на її обслуговування та ремонт.

6. Загалом, проведений аналіз підтверджує, що правильне проектування, розрахунок і управління режимами роботи електричних мереж є ключовими факторами для досягнення високої ефективності та надійності енергосистеми, що відповідає сучасним вимогам енергетичної інфраструктури.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Бойчук Н.Я., Острянюк М.М. Проблеми енергозбереження та підвищення енергоефективності економіки України. *Сучасні проблеми економіки і підприємництва*. 2017. Випуск 19. С 25-34
2. Бондар Т.В., Сагер Л.Ю., Тимошенко В.Ю. Дослідження факторів впливу на інтенсивність процесів поширення інноваційних технологій в енергетичному секторі. *Вісник СумДУ. Серія «Економіка»*. 2022. №3. С. 67-72.
3. Боумен Р. Тренди енергетики та зміни клімату. URL: <https://drukarnia.com.ua/articles/trendi-energetiki-ta-zmini-klimatu-jPWYA>.
4. Булах О. Енергоефективність – від тренду до реалій життя. URL: <https://www.kunsht.com.ua/articles/enerhoefektyvnist-vid-trendu-do-realiy-zyttia>.
5. Варецький Ю.О., Горбань В.М., Пазина Я.С. Зміни напруги в електричній мікромережі з гібридною електростанцією. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Електроенергетичні і електромеханічні системи*. – 2016. №840. С. 17-23.
6. Величко В. EnergyTech для України: як сучасні технології можуть допомогти побудувати захищену та сучасну енергосистему. PRO-IT. URL: <https://proit.ua/energytech-dlia-ukrayini-iak-suchasni-tiekhnologhiyi-mozhut-dopomoghti-pobuduvati-zakhishchienu-ta-suchasnu-ienierghosistiemu/>.
7. Гладченко Д.О. Розрахунок режимів роботи електричних мереж і аналіз методів розрахунку складових втрат електроенергії: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Суми: СумДУ, 2021. 67 с.
8. Дмитренко Е.Д., Кириленко О.М. Проблеми підвищення енергоефективності та енергозбереження України. *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури*. 2020. №38. С. 60-63.
9. Довгалюк О.М., Савченко Н.П., Баталін В.Ю., Білоконь Г.В. Розробка заходів для оптимізації режимів електричних мереж 10 кВ. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2023. №1(6). С. 22-27.

10. Дубовський О. Трансформація енергетичних ринків: нові рамки перебудови та що нас чекає. Економічна правда. URL: <https://epravda.com.ua/columns/2023/11/21/706812/>.

11. Ємельянов О.Ю., Рудіна І.А. Проблеми енергозбереження та шляхи їх вирішення в системі формування інноваційної структури. *Формування інноваційної інфраструктури в умовах європейського вектору розвитку національної економіки*. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/2f497ebd-7b20-46a6-9ed7-58a0ba408dd2/content>.

12. Жаркін А.Ф. Енергетика України: сучасний стан, перспективи відновлення та розвитку. . Вісник НАН України. 2023. №5. С. 38-40.

13. Жаркін А.Ф., Новський В.О., Малахатка Д.О. Моделювання режимів роботи електричної мережі середньої напруги при підключенні до неї сонячних електростанцій. *Технічна електродинаміка*. 2016. №5. С. 52-54.

14. Жаркін А.Ф., Новський В.О., Палачов С.О. Нормативно-технічне регулювання якості напруги в електричних мережах з джерелами розосередженої генерації. *Технічна електродинаміка*. 2016. №3. С. 55-57.

15. Іскаков А.А., Кобушко І.М. Енергоефективність національної економіки в контексті її еколого-економічної безпеки. Міжнародний науковий журнал Механізм регулювання економіки. 2016. №3. URL: [http://mer.fem.sumdu.edu.ua/index.php?cmd=view\\_issue&issue\\_id=30](http://mer.fem.sumdu.edu.ua/index.php?cmd=view_issue&issue_id=30).

16. Кільницький О. Енергетичні тренди: в які проекти варто інвестувати кошти. Mind. URL: <https://mind.ua/publications/20190743-energetichni-trendi-v-yaki-proekti-var-to-investuvati-koshti>.

17. Копилов М. Світові ноу-хау в енергетиці. AW-Therm. URL: <https://aw-therm.com.ua/svitovi-nou-hau-v-energetici/>.

18. Криволап К. Українська енергосистема 2023-2024: проблеми, виклики та перспективи. Рубрика. URL: <https://rubryka.com/blog/ukrayinska-energosystema/>.

19. Кузнецов М.П., Лисенко О.В., Мельник О.А. Особливості стохастичної оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ. *Відновлювана енергетика*. 2018. №2. С. 6-15.
20. Кулик М.М., Згуровець О.В. Можливості використання великих накопичувачів електроенергії для стабілізації частоти в об'єднаних енергосистемах з потужними сонячними електростанціями. *Відновлювана енергетика*. 2018. №3. С. 6-14.
21. Кучанський В., Малахатка Д. Параметрична оптимізація режимів роботи магістральних електричних мереж за критерієм втрат активної потужності. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2021. №59. С. 72-76.
22. Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Гунько І.О. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії: монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2017. 164 с.
23. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С.В. Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями: монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2018. 136 с.
24. Лушкін В.А., Абраменко І.Г., Барбашов І.В. Загальна характеристика та розрахунок режимів розподільних мереж. – Харків: ХНАМГ, 2018. 193 с.
25. Некрасов В. 13 найцікавіших технологічних розробок: чим здивував людство 2021 рік. Економічна правда. URL: <https://epravda.com.ua/publications/2021/12/25/680988/>.
26. Плешков П.Г., Гарасьова Н.Ю., Солдатенко В.П. Оптимальне керування режимом роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Сер.: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. теорія і практика: зб. наук. пр. Харків : Нту «ХПІ». 2018. №32(1308). С. 64-70. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2018.32.12>.

27. Полухін А.В., Ткачова Н.М., Лукашевич Я.П., Чернявський А.В. Актуальні питання процесів енергетичної безпеки України. 2023. №18. URL: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7794873>.
28. Саченко А.І. Система автоматичного керування режимами роботи розподільної електричної мережі з сонячними електростанціями при несиметричному навантаженні. Вісник ХНТУ. 2024. №2. С. 63-71.
29. Семененко І.М., Галгаш Р.А., Бурко Я.В. Енергозабезпечення регіонів України в контексті сталого розвитку. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2016. №6 (230). С. 124-134.
30. Синєглазов В.М. Перспективи розвитку гібридних енергетичних систем. *Енергоджерела*. URL: <https://enerhodzherela.com.ua/analitika/Перспктиви-розвитку-гібридних-енергетичних-систем>.
31. Солдатенко В.П., Плешков С.П. Автоматичне керування режимами роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць*. Серія: проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. 2017. №34(1256). С. 66-70.
32. Солдатенко В.П. Система автоматичного керування роботою комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2017. №187. С. 37-39.
33. Співак Я.О. Енергозбереження як фактор економічного зростання України. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. Серія: Економіка і менеджмент. 2020. Вип. 10. С. 208-210
34. Сумцов Я.Ю. Розрахунок різних режимів роботи електричної мережі та способи генерування електричної енергії: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр; спец.: 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Суми: СумДУ, 2020. 77 с.

35. Суходоля О.М. Новітні енергетичні технології та їх вплив на функціонування систем енергопостачання: аналіт. доп. – Київ: НІСД, 2022. 36 с. URL: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.17>

36. Тащєєв Ю.В. Використання відновлюваних джерел енергії на підприємствах: монографія, Одеський національний економічний університет. – Одеса: Бондаренко М.О., 2019. 242 с.

37. Топалов М. Нова енергетична мапа світу із «зеленими» наддержавами: куди рухається людство. Економічна правда. URL: <https://epravda.com.ua/publications/2023/12/22/708030/>.

38. Хіло М., Роман О., Юденко Ю. Технології енергетичного переходу: інновації, впровадження та масштабування. ЕВА. URL: <https://eba.com.ua/tehnologiyi-energetychnogo-perehodu-innovatsiyi-vprovadzhennya-ta-masshtabuvannya/>.

39. Шведкий В.А., Костін Д.Ю., Костін Ю.Д. Стратегічна модель розвитку енергетичних компаній України. Сучасні досягнення в науці та освіті: зб. пр. XVIII Міжнар. наук. конф., 13-20 верес. 2023 р., м. Нетанія (Ізраїль). Хмельницький: ХНУ, 2023. С. 152-154.

40. Швець Н.В., Касаткіна М.В., Піддубна К.О. Проблеми та шляхи підвищення енергоефективності в Україні: від виробництва до використання теплової енергії. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2018. №3(244). С. 106-113.