

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Факультет енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

### МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ КОТЕДЖУ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ МЕРЕЖЕВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

**Виконав:**

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

\_\_\_\_\_ **Володимир МИКИТЕЙ**

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

\_\_\_\_\_ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

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

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

Гарант освітньої програми  
«Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка» спеціальності 141  
«Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка» кандидат технічних  
наук, доцент

\_\_\_\_\_ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2026

## ЗМІСТ

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                             | 6  |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ .....                    | 9  |
| 1.1 Вибір типу сонячних модулів .....                                   | 10 |
| 1.2 Використання енергії сонця у сучасних енергетичних рішеннях.....    | 12 |
| 1.3 Приклад розміщення сонячних панелей на похилій покрівлі .....       | 17 |
| 1.4 Розташування та вибір фотоелектричних модулів на будівлі.....       | 19 |
| РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....                    | 21 |
| 2.1 Умови та особливості проєктування .....                             | 21 |
| 2.1.1 Характеристика об'єкта та його специфіка.....                     | 21 |
| 2.1.2 Класифікація електроприймачів та їх загальні властивості .....    | 22 |
| 2.1.3 Класифікація будівель у межах району .....                        | 22 |
| 2.1.4 Характеристика джерела живлення .....                             | 23 |
| 2.1.5 Вибір напруги для розподільчої мережі .....                       | 23 |
| 2.1.6 Пропозиції щодо приєднання до мереж оператора системи розподілу . | 24 |
| 2.2 Розрахунок електричних навантажень.....                             | 24 |
| 2.2.1 Методика проведення розрахунків.....                              | 24 |
| 2.2.2 Розрахунок навантажень струмоприймачів на 0,4 кВ.....             | 26 |
| 2.2.3 Розрахунок навантажень зовнішнього освітлення .....               | 29 |
| 2.3 Вибір трансформаторів.....                                          | 29 |
| 2.3.1 Вибір схеми трансформаторної підстанції .....                     | 29 |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.2 Вибір трансформаторів до 1000 В .....                                 | 30 |
| 2.4 Розрахунок живильних та розподільних мереж.....                         | 33 |
| 2.4.1 Вибір схеми розподільної мережі.....                                  | 33 |
| 2.4.2 Обґрунтування встановлення розподільних пунктів високої напруги... 34 |    |
| 2.4.3. Розрахунок мереж 0,4 кВ.....                                         | 36 |
| 2.4.4. Перевірка відповідності мереж вимогам якості електроенергії.....     | 37 |
| 2.5 Вибір комутаційної апаратури.....                                       | 38 |
| 2.5.1 Вибір обладнання живильної мережі.....                                | 38 |
| 2.5.2 Вибір вимикачів навантаження .....                                    | 39 |
| 2.5.3 Вибір роз'єднувачів та запобіжників .....                             | 40 |
| 2.5.4 Вибір вимірювальних трансформаторів струму на 10 кВ .....             | 41 |
| 2.5.5 Вибір вимірювальних трансформаторів напруги на 10 кВ.....             | 48 |
| 2.5.6 Вибір апаратів захисту від перенапруг .....                           | 49 |
| 2.6 Релейний захист та автоматика.....                                      | 50 |
| 2.6.1 Загальні вимоги до РЗА у мережах 10/0,4 кВ .....                      | 50 |
| 2.6.2 Вибір елементів системи РЗА .....                                     | 53 |
| 2.6.3 Вибір автоматичних вимикачів на стороні 0,4 кВ.....                   | 53 |
| 2.6.4 Перевірка селективності роботи РЗА.....                               | 54 |
| РОЗДІЛ 3 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ                                     |    |
| ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ З МЕРЕЖЕВОЮ                            |    |
| СОНЯЧНОЮ УСТАНОВКОЮ .....                                                   | 57 |
| 3.1 Загальні відомості .....                                                | 57 |
| 3.2 Розрахунок та вибір елементів сонячної електростанції .....             | 58 |
| 3.2.1 Вибір інвертора та моделювання інформаційного забезпечення .....      | 58 |
| 3.2.2 Перевірка інвертора на відповідність вимогам.....                     | 58 |
| 3.3 Конфігурація фотоелектричної станції.....                               | 60 |
| 3.4 Розрахунок річного вироблення електроенергії .....                      | 60 |
| РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУ                     |    |
| .....                                                                       | 63 |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.1 Розрахунок вартості обладнання та монтажу.....                     | 63 |
| 4.2.1 Оцінка ефективності використання сонячної електростанції .....     | 64 |
| 4.2.1. Розрахунок середньозваженої ціни виробництва електроенергії ..... | 64 |
| 4.2.2 Розрахунок вартості приєднання до мереж ОСР .....                  | 70 |
| 4.2.3 Формування специфікації обладнання та матеріалів .....             | 70 |
| ВИСНОВКИ.....                                                            | 72 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                         | 74 |

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку світової та вітчизняної енергетики характеризується активним переходом від традиційних викопних джерел енергії до відновлюваних (ВДЕ), серед яких найбільш динамічно розвивається сонячна фотоелектрика. В Україні, попри існуючі виклики, зберігається значний природно-кліматичний потенціал та стратегічний курс на децентралізацію енергосистеми й досягнення частки «чистої» енергії на рівні 25% до 2035 року.

Розвиток децентралізованих систем, зокрема дахових сонячних електростанцій (СЕС) у приватному секторі, дозволяє не лише забезпечити до 5% потреб населення в електроенергії, а й суттєво підвищити надійність та автономність енергопостачання індивідуальних житлових будинків. Модернізація чинних схем електропостачання котеджів шляхом інтеграції мережових СЕС є актуальним науково-практичним завданням. Воно спрямоване на оптимізацію експлуатаційних характеристик обладнання, зменшення витрат на оплату енергоносіїв, отримання доходу за «зеленим» тарифом чи іншими механізмами підтримки, а також загальне покращення екологічної ситуації у сфері енергетики.

Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності, надійності та економічної доцільності функціонування системи енергопостачання приватного котеджу шляхом розробки та впровадження оптимального проекту мережевої сонячної електростанції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан розвитку відновлюваної енергетики в Україні та оцінити потенціал використання сонячної інсоляції у житловому секторі.
2. Дослідити технічні характеристики та критерії вибору сучасного фотоелектричного обладнання (сонячних модулів, інверторів тощо) для побутового застосування.
3. Обґрунтувати просторове розташування та схему монтажу фотоелектричних панелей на покрівлі будівлі з урахуванням кутів нахилу, азимута та факторів затінення.
4. Виконати розрахунки електричних навантажень об'єкта та спроєктувати модернізовану схему інтеграції СЕС у внутрішню мережу котеджу.
5. Оцінити техніко-економічну ефективність впроваджених рішень і визначити термін окупності капіталовкладень.

Об'єктом дослідження є процеси виробництва, розподілу та споживання електричної енергії в системі децентралізованого енергопостачання приватного житлового будинку (котеджу).

Предметом дослідження є схеми, технічні параметри, експлуатаційні характеристики та економічні показники мережевої сонячної фотоелектричної системи, що інтегрується в інженерні мережі котеджу для оптимізації його енергобалансу.

Для вирішення поставлених завдань у роботі використано такі методи:

- Аналітичний та системний підхід — при огляді науково-технічних джерел, нормативної бази (ПУЕ, ДБН, Кодексу систем розподілу) та сучасного стану сонячної енергетики;
- Методи математичного моделювання та інженерного розрахунку — для визначення оптимального кута нахилу панелей, прогнозування обсягів

генерації електроенергії залежно від рівня інсоляції, а також розрахунку електричних навантажень котеджу;

- Порівняльний техніко-економічний аналіз — під час вибору типу фотоелектричних модулів, оцінки капітальних витрат і визначення термінів окупності модернізованої системи енергопостачання.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та практичне вирішення актуального інженерного завдання, що полягає у підвищенні ефективності, автономності та економічної доцільності функціонування системи енергопостачання приватного житлового будинку (котеджу) через інтеграцію мережевої сонячної електростанції (СЕС).

За результатами проведених досліджень та розрахунків сформульовано такі основні висновки:

1. Проаналізовано сучасний стан розвитку відновлюваної енергетики в Україні та підтверджено високу актуальність децентралізації енергосистем. На основі аналізу кліматичних та метеорологічних умов Хмельницького регіону (м. Кам'янець-Подільський) встановлено, що рівень сонячної інсоляції є цілком достатнім для ефективної та рентабельної експлуатації фотоелектричних систем приватних домогосподарств упродовж року із піковими показниками у весняно-літній період.

2. Здійснено обґрунтований вибір сучасного електротехнічного обладнання для побутової СЕС. На основі порівняльного аналізу технічних характеристик, коефіцієнта корисної дії та температурних коефіцієнтів для інтеграції було обрано високоефективні монокристалічні фотоелектричні модулі та сучасний трифазний мережевий інвертор, що забезпечує оптимальне перетворення постійного струму в змінний та надійне синхронізування з локальною розподільчою мережею.

3. Визначено просторові параметри монтажу фотоелектричного масиву на даху котеджу. Розраховано оптимальний кут нахилу сонячних панелей (який становить близько  $30^{\circ}$  ...  $35^{\circ}$  для максимальної річної генерації) та орієнтацію на південь (азимут  $0^{\circ}$ ). Проведено оцінку факторів затінення від навколишніх об'єктів, що дозволило мінімізувати втрати потужності та максимізувати корисну площу використання покрівлі будинку.

4. Виконано розрахунок електричних навантажень об'єкта та спроектовано модернізовану схему енергопостачання котеджу. Розроблено схему підключення СЕС до внутрішньої мережі житлового будинку з урахуванням встановлення двонаправленого лічильника для обліку генерованої та спожитої електроенергії. Вибрано відповідні апарати захисту (автоматичні вимикачі, ПЗВ, пристрої захисту від імпульсних перенапруг — ПЗПП), що гарантує високий рівень пожежної та електричної безпеки модернізованої системи.

5. Розраховано прогнозні обсяги генерації електроенергії проєктуємою СЕС, які покривають власні потреби котеджу та дозволяють передавати надлишок потужності в зовнішню мережу. Проведена техніко-економічна оцінка інженерних рішень підтвердила їх фінансову спроможність. Розрахований термін окупності капіталовкладень свідчить про високу інвестиційну привабливість об'єкта в межах чинного законодавства України та нових ринкових механізмів підтримки індивідуальних виробників «чистої» енергії (Net Billing тощо).

Впровадження запропонованих рішень з модернізації схеми енергопостачання котеджу дозволяє суттєво зменшити витрати на традиційні енергоносії, підвищити надійність електроживлення житлового об'єкта та внести вклад у декарбонізацію і зменшення шкідливих викидів в навколишнє середовище.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 24. Ст. 155. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 12.05.2026).
2. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 27-28. Ст. 312. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (дата звернення: 12.05.2026).
3. Мережева сонячна станція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://generacia.energy/zelenyj-tarif/merezheva-stancija-na-30-kvt-pid-zelenij-tarif/>
4. Сонячні електростанції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://xn8sb1c3bftbzy4n.com/soniachna\\_paniel](https://xn8sb1c3bftbzy4n.com/soniachna_paniel)
5. Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та зеленої трансформації енергетичної системи України : Закон України від 30.06.2023 р. № 3220-IX. Голос України. 2023. № 142. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20> (дата звернення: 15.05.2026).
6. Кодекс систем розподілу : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 р. № 310. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18> (дата звернення: 18.05.2026).

7. Photovoltaic Geographical Information System – PVGIS / Офіційний вебсайт Центру Спільних Досліджень Європейської Комісії. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
8. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Вид. 4-те, перероб. і доп. Харків : Форт, 2017. 760 с.
9. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 136 с.
10. Каплун В. В. Системи відновлюваної енергетики локальних об'єктів : монографія. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 336 с.
11. Кудря С. О. Традиційні та відновлювані джерела енергії : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 496 с.
12. Будько В. І., Соколовський В. Ф. Особливості інтеграції сонячних електростанцій малого масштабу в електричні мережі приватних домогосподарств. Відновлювана енергетика. 2021. № 2 (65). С. 44–52.
13. Правила улаштування електроустановок. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
14. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Міненерговугілля України, 2006. 141 с.
15. Денисюк С. П., Стрілець О. В. Аналіз ефективності функціонування дахових сонячних електростанцій в індивідуальних житлових будинках. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. № 4. С. 15–24.
16. ДБН В.2.5-23:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 104 с.
17. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ: Мінрегіонбуд України, 2015. 45 с.

18. Кліматичні дані України : Науково-прикладний довідник / за ред. В. А. Барабаш. Київ : Рада, 2018. 210 с. (Використовується для обґрунтування кутів нахилу та інсоляції).
19. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова Книга, 2004. 656 с.
20. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Держбуд України, 2001. 24 с.
21. Назаренко О. В., Ковальчук Р. М. Оптимізація параметрів та вибір інверторного обладнання для мережеских побутових СЕС. Технічна електродинаміка. 2023. № 1. С. 58–63.
22. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с
23. Маляр В. С., Блінов І. В. Техніко-економічне оцінювання децентралізованих систем сонячного енергопостачання в умовах реформування ринку електроенергії України. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2024. Вип. 66. С. 12–19.
24. J.M. Bloemink, T.G. Green BenefitP of diPtribution level power electronicP for Pupporting diPtributed generation growth, IEEE TranPactionP on Power Delivery, V. 28, N. 2, 2013, pp. 911-919.
25. International Energy Agency (IEA). Trends in Photovoltaic Applications 2024. Report IEA-PVPS T1-46:2024. URL: <https://iea-pvps.org/trends-reports/> (дата звернення: 10.05.2026).
26. Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств. Постанова НКРЕКП від 24.12.2019 № 3006. // База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v3006874-19>
27. Калькулятор визначення вартості послуги зі стандартного

приєднання електроустановок замовника до електричних мереж операторів систем розподілу. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.nerc.gov.ua/?calc>

28. Messenger R. A., Abtahi A. Photovoltaic Systems Engineering. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2017. 532 p.

29. Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>

30. Bloemink J. M., Green T. G. Benefits of distribution level power electronics for supporting distributed generation growth. IEEE Transactions on Power Delivery. 2013. Vol. 28, No. 2. P. 911–919.

31. Закон України «Про ринок електричної енергії». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 27-28, ст.312. // База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>

32. Luthander R., Widén J., Nilsson D., Åberg M. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. Applied Energy. 2015. Vol. 142. P. 80–94.

33. ДБН В.2.5-38. Про затвердження Правил охорони праці під час виконання робіт на висоті (НПАОП 0.00-1.15-07) [Електронний ресурс] // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0573-07>.

34. PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). European Commission, Joint Research Centre. URL: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis_en) (дата звернення: 14.05.2026). (Офіційний європейський геоінформаційний ресурс для розрахунку генерації СЕС).