

Подільський державний університет  
Факультет енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

## ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

**Аналіз систем керування генерацією сонячних електростанцій**

**Виконав:**

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

Віталій ТУРЧАК

**Керівник:** кандидат технічних наук, доцент

Віктор ДУБІК

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

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

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

Керівник проектної групи  
(гарант освітньої програми)

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

кандидат технічних наук, доцент Ігор ГАРАСИМЧУК

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                                                      | 7  |
| РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМА НЕКЕРОВАНОГО РОЗВИТКУ ТА ВИКОРИСТАННЯ<br>СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ .....                                             | 10 |
| 1.1 Сучасний стан електроенергетичної галузі України.....                                                                        | 10 |
| 1.2. Особливості покриття попиту споживачів на електричну потужність в ОЕС<br>України.....                                       | 20 |
| 1.3 Негативний вплив некерованої генерації сонячних електростанцій на режими<br>роботи енергоблоків ТЕС ГК.....                  | 24 |
| 1.4. Вітчизняний та європейський досвід управління розвитком та використанням<br>сонячної генерації .....                        | 28 |
| Висновки .....                                                                                                                   | 32 |
| РОЗДІЛ 2. МЕХАНІЗМ АДРЕСНОГО УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНОЮ<br>ГЕНЕРАЦІЄЮ.....                                                              | 34 |
| 2.1 Загальна ідея створення механізму адресного управління режимами сонячної<br>генерації .....                                  | 34 |
| 2.2. Алгоритм функціонування механізму управління робочою потужністю СЕС.....                                                    | 35 |
| 2.2.1. Підготовчий етап.....                                                                                                     | 36 |
| 2.2.2. Етап планування.....                                                                                                      | 41 |
| 2.2.3. Етап остаточних розрахунків.....                                                                                          | 42 |
| 2.3. Визначення оптимальних графіків і формування «меню» профілів<br>електричної потужності СЕС.....                             | 43 |
| 2.4. Оцінка потенціалу зниження витрат ТЕС в результаті управління робочою<br>потужністю сонячних електростанцій. ....           | 51 |
| 2.5. Визначення впливу зміни режимів роботи окремих СЕС на нерівномірність<br>графіків навантаження теплових електростанцій..... | 56 |
| 2.6. Встановлення розміру адресної винагороди за управління режимами<br>генерації СЕС.....                                       | 57 |
| Висновки .....                                                                                                                   | 58 |

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РОЗДІЛ 3. МЕХАНІЗМ АДРЕСНОГО УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ<br>СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ .....                                                     | 59 |
| 3.1. Визначення оптимальних графіків профілів електричної потужності СЕС....                                                     | 59 |
| 3.2. Приклад оцінки потенціалу зниження витрат ТЕС в результаті управління<br>робочою потужністю сонячних електростанцій.....    | 63 |
| 3.3. Визначення впливу зміни режимів роботи окремих СЕС на нерівномірність<br>графіків навантаження теплових електростанцій..... | 77 |
| 3.4. Приклад встановлення адресної винагороди за управління режимами<br>генерації СЕС.....                                       | 83 |
| Висновки .....                                                                                                                   | 84 |
| РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ .....                                                                                 | 85 |
| 4.1. Цілі та етапи реалізації проекту .....                                                                                      | 85 |
| 4.2. Обґрунтування актуальності проекту. ....                                                                                    | 85 |
| 4.3. Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту .....                                                                         | 87 |
| 4.4. Витрати на оплату праці.....                                                                                                | 88 |
| 4.5. Аналіз ризиків проекту.....                                                                                                 | 91 |
| Висновки .....                                                                                                                   | 92 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                                    | 93 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                                                  | 94 |

## ВСТУП

Магістерська робота присвячена розгляду механізму управління генерацією сонячних електростанцій в контексті енергетичної системи України. В умовах зростаючого значення енергетики для економічного розвитку країни, вдосконалення системи генерування, передачі та розподілу в ОЕС України визначено як першочергова задача для фахівців відповідного профілю.

На теперішній етап, енергетика України пристосовується до шляху декарбонізації та активно впроваджує енергозберігаючі технології та відновлювальні джерела енергії. Серед них найбільший розвиток зафіксувала сонячна енергетика. Однак, не зважаючи на цей прогрес, розвиток сонячної генерації залишається відокремленим від загального розвитку енергосистеми України, що веде до виникнення проблем у роботі теплових електростанцій.

В цьому контексті, дисертація визначає мету - стимулювання розвитку та інтеграції об'єктів сонячної енергетики до ОЕС без використання "зеленого тарифу". Для досягнення цієї мети визначено завдання дослідження, серед яких важливим є аналіз впливу нерегульованого використання сонячних електростанцій на режим виробництва електроенергії та створення методичної основи оцінки додаткових витрат на виробництво електричної енергії через таке використання.

**Мета роботи** – стимулювання розвитку та інтегрування до ОЕС об'єктів сонячної енергетики без використання «зеленого тарифу». Задачі дослідження:

Аналіз впливу нерегульованого використання СЕС на режим виробництва електроенергії

Створення методичної основи оцінки додаткових витрат на виробництво електричної енергії у зв'язку з нерегульованим використанням СЕС

Запропонувати показники впливу окремих СЕС на режим виробництва електричної енергії в системі(тобто на додаткові витрати на виробництво електроенергії).

Розробка методологічних основ функціонування механізму управління генерацією сонячних електростанцій

Дисертація пропонує розробити показники впливу окремих сонячних електростанцій на режим виробництва електричної енергії та розробити методологічні основи функціонування механізму управління генерацією сонячних електростанцій. Об'єктом дослідження є об'єднана енергетична система України, а предметом - методи та способи впливу на нерегульоване виробництво електроенергії сонячними електростанціями.

**Методи дослідження** базуються на вирішенні оптимізаційних задач програмним забезпеченням. Наукова новизна дослідження полягає в розробці механізму управління генерацією сонячних електростанцій без використання "зеленого тарифу".

**Практичне значення** включає можливість впровадження такого механізму, що призведе до зменшення додаткових витрат на виробництво електроенергії та оптимізації режимів роботи теплових електростанцій.

На сучасному етапі енергетика України, як і в усьому світі, проймає процес декарбонізації, активно розвиває та впроваджує енергозберігаючі технології та відновлювальні джерела енергії. Серед них особливе значення має сонячна енергетика, яка досягла великого розвитку в Україні. Проте, незважаючи на це, розвиток сонячної генерації досі залишається відокремленим від загального контексту енергосистеми країни.

**Актуальність проблеми** полягає в тому, що генерація сонячними електростанціями впливає на робочий графік теплових електростанцій, основних виробників електроенергії разом з атомними електростанціями. Це призводить до додаткових витрат на виробництво теплової електроенергії, і при зростанні встановленої потужності сонячних електростанцій ці витрати можуть стати непередбачувано великими.

У магістерській дисертації розглядається один із можливих шляхів подолання цієї проблеми - теоретична можливість регульованого використання сонячних електростанцій. Це може стати важливим внеском в підвищення ефективності теплових електростанцій та оптимізацію графіка їхньої роботи в

умовах постійного росту використання сонячної енергії. Такий підхід може сприяти балансуванню енергетичної системи та зниженню додаткових витрат на виробництво електроенергії.

**Об'єкт дослідження** – об'єднана енергетична система України

**Предмет дослідження** - методи та способи впливу на нерегульоване виробництво електроенергії сонячними електростанціями.

**Наукова новизна** полягає в розробці механізму управління генерацією сонячних електростанцій без використання «зеленого тарифу».

**Практичне значення** полягає в можливому впровадженні такого механізму, що призведе до зменшення додаткових витрат на виробництво електроенергії, та покращенні режимів роботи ТЕС.

**Апробація результатів дисертації.** Результати магістерської дисертації були викладені на Ефективне використання енергії стан і перспективи. III Всеукраїнська студентська науковопрактична конференція. 9 листопада 2023 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський).

Віталій ТУРЧАК. Аналіз генерації електроенергії при збільшенні загальної встановленої потужності СЕС / Віталій ТУРЧАК, Віктор ДУБІК, Дарія ВІЛЬЧИНСЬКА // Ефективне використання енергії стан і перспективи: збірник наукових праць III Всеукраїнської студентської науковопрактичної конференції. 9 листопада 2023 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський). – Кам'янець-Подільський, 2023. – С..

## ВИСНОВКИ

Енергетична галузь України сьогодні стикається із складними викликами, такими як втрати потужностей через воєнні конфлікти, підвищення вартості паливно-енергетичних ресурсів, та зношення обладнання. Поглиблення цих труднощів відбувається на тлі проблем некерованої генерації сонячних електростанцій, що додає тиск на вже складні режими роботи теплових електростанцій, роблячи їх менш ефективними.

В рамках магістерської дисертації розроблено механізм управління сонячними електростанціями (СЕС). Проведено розрахунки щодо збільшення додаткових витрат на виробництво електроенергії тепловими електростанціями, спричиненими неконтрольованою генерацією СЕС. Також розглянуто кілька варіантів збільшення встановленої потужності СЕС. Вирішено оптимізаційну задачу для визначення оптимальних графіків генерації СЕС різних потужностей.

В результаті цих робіт представлено обчислення фактичної вигоди від участі в запропонованому механізмі. Ураховуючи економічну нестабільність та ситуацію у сфері електроенергетики, застосування цього методу вигідне як для власників СЕС, що отримають адресні винагороди, так і для теплових електростанцій, які уникатимуть сильних провалів генерації електроенергії та витрат в короткостроковій перспективі та уникатимуть аварій та поломок у довгостроковій перспективі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Халатов А. А. ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ: СУЧАСНИЙ СТАН І НАЙБЛИЖЧІ ПЕРСПЕКТИВИ / Артем Артемович Халатов. // 6. – 2016. – С. 53–61.
2. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей / ДП «НЕК Укренерго». 2019.
3. Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за березень та 3 місяці 2020 року [Електронний ресурс] // 1. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: [https://mepr.gov.ua/files/images/news\\_2020/](https://mepr.gov.ua/files/images/news_2020/)
4. Терлецька У. Відновлювана енергетика в Україні (ВДЕ) – це реальність [Електронний ресурс] / Уляна Терлецька // 1. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.institute.lviv.ua/index.php/uk/2018-02-16-08-3656/126-2019-11-15-11-44-25>.
5. ЗАКОН УКРАЇНИ Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2712-19#Text>.
6. Черноусенко О.Ю. Стан енергетики України та результати модернізації енергоблоків ТЕС. Проблеми загальної енергетики. 2014. № 4 (39). С. 20–28.
7. Ковецкий В.М., Ковецкая М.М. Оценка маневренных возможностей электрогенерирующих установок для обеспечения качества электроэнергии. Проблеми загальної енергетики. 2007. № 16. С. 47–53.
8. Северин В.П., Никулина Е.Н., Лютенко Д.А., Бобух Е.Ю. Проблема маневренности энергоблока АЭС и развитие моделей его систем управления. Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ». 2014. № 61. С. 24–29.

9. Калінчик В.П., Скачок О.В. Оцінка та аналіз методів вирівнювання графіків навантаження виробничих систем. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2013. № 3. С. 57–62.

10. Праховник А.В., Находов В.Ф., Замулко А.І. Актуальні питання управління попитом на електричну енергію та потужність. Проблеми розвитку енергетики. Погляд громадськості. 2010. № 7. С. 191–193.

11. Находов В. Ф. Управління режимами споживання та ефективністю використання електричної енергії в енергетичних системах : дис. докт. техн. наук : 05.14.01 / Находов Володимир Федорович – Київ, 2018.

12. Находов В.Ф., Замулко А.И., Аль Шарари М., Мединцева Д.А. Дополнительные затраты энергосистемы на покрытие неравномерных графиков электрической нагрузки. VIII міжнародна науково-технічна конференція молодих дослідників, аспірантів та студентів Енергетика. Екологія. Людина. Київ, 1–3 червня 2016. С. 265–269.

13. Черниш Ю. В. Мировой опыт реформирования электроэнергетики. / Ю. В. Черниш. // Управление экономическими системами: электронный научный журнал – 2013 – №11(59).С. 61–73.

14. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір «Механизм целевого управления режимами потребления электрической мощности в ОЭС Украины» / В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари. - № 68051; заявка від 04.08.2016 р.; зареєстр.29.09.2016 р.

15. Находов В. Ф. Оценка потенциала снижения затрат энергосистемы в результате выравнивания суточных графиков ее электрической нагрузки [Текст] / В. Ф. Находов, А. И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, В. В. Чекамова. // вісник НТУ«ХП». – 2016. – № 4.(1176) – С.21–31.

16. Праховник А. В. Проблеми методи та засоби управління використанням електричної енергії / А. В. Праховник, В. Ф. Находов. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –1997. –№1. – С. 41–48.

17. Малярєнко В. А. Неравномерность графика нагрузки энергосистемы и способы ее выравнивания / В. А. Малярєнко, И. Е. Нечмоглод. // Світлотехніка та електроенергетика. – 2011. – №4. – С. 61–69.

18. Находов В.Ф., Замулко А.И. Экономические методы оперативного управления электрическими нагрузками. Вісник УБЕНТЗ. 1998. № 6. С. 112–114.

19. Находов В. Ф. Оценка влияния изменения спроса потребителей на электрическую мощность на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы / В.Ф. Находов, А. И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д. А. Мединцева. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –2016. –№1. –С. 31–38.

20. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. Москва: Радио и связь, 1988. 128 с.

21. Захарова Е.М., Минашина И.К. Обзор методов многомерной оптимизации. Математические модели, вычислительные методы. 2014. № 3. С. 256–27.

22. Thakur J., Chakraborty B. Demand side management in developing nations: A mitigating tool for energy imbalance and peak load management. Energy. 2016. № 114. Pp. 895–912.

23. Находов В. Ф. СЦЕНАРНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ БЕЗКОНТРОЛЬНОГО РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ [Електронний ресурс] / В. Ф. Находов, А. І. Замулко, Р. Шарадзе // VI Міжнародна науково-технічна та навчальнометодична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS'19». – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://pems.kpi.ua/proc/article/viewFile/172989/172774>

24. Кабінет Міністрів України. Розпорядження від 01.10.2014р. №902-р. Про національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року.

25. Дрьомин В. П. Аналіз витрат палива блоками ТЕС і можливостей їх економії при регулюванні електроспоживання. / В. П. Дрьомин, Г. П. Костенко, О. В. Згуровец. // Проблеми загальної енергетики – 2008. – №17. – С. 73–77.

26. Находов В. Ф. Определение первоочередных направлений совершенствования дифференцированных тарифов на электрическую энергию. / В. Ф. Находов, А. И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Ю. Н. Исаенко. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2015. – №1(78). –С. 24–32.

27. Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Електронний ресурс] // 1. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=5035>

29. Шевчук Н.А. Розробка та впровадження проекту на прикладі геосинтетичного модуля-опалубки / Шевчук Н.А., Вапнічна В.В. // Сучасні проблеми економіки і підприємництво [Текст]: Збірник наукових праць. – Вип. 23. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2019 С.32-40. [file:///C:/Users/user/Downloads/165788-384771-1-PB%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/165788-384771-1-PB%20(6).pdf)

30. Шевчук Н.А., Зайченко С.В., Кривда О.В. Впровадження та реалізація проекту геомехатронного комплексу Сучасні проблеми економіки і підприємництво [Текст]: Збірник наукових праць. – Вип. 21. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2018 С. 94-101. <http://sbkeip.kpi.ua/article/viewFile/130546/132655>