

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ВІТРОВИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ**

Виконав:

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

_____ **Владислав ПАСЯК**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

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**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	8
1.1 Стан та загальна характеристика проблеми використання ВДЕ.....	8
1.1.1 Основні переваги вітроенергетики.....	13
1.1.2 Основні недоліки та обмеження	15
1.2 Конструкції вітрових електричних установок	16
1.2.1 Загальна побудова систем вітроенергетичних установок.....	17
1.3 Аналіз методів розрахунку втрат електроенергії враховуючи електроенергію, вироблену на вітрових електростанціях	22
1.4 Економічна ефективність вітроенергетики	25
1.5. Алгоритми оптимального керування режимами ВЕС.....	26
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ВЕС	30
2.1 Технічні особливості ВЕС	30
2.2 Вітромеханічні та вітроелектричні установки	31
2.3 Вихідні положення до розрахунку вітроенергетичних установок.	40
2.4 Схеми генерування електричної енергії вітроустановками.....	42
2.5 Аеродинамічний розрахунок ротора вітроустановки.	46
2.6 Визначення навантажень на елементи систем регулювання вітроустановок.	52
2.7 Проблеми експлуатації промислових вітроустанов	54
2.8 Технічне обслуговування загальностанційного електричного і допоміжного устаткування	60
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНІЧНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	62
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З ВІТРОВИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ.....	85
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	98

5.1 Задачі розділу.....	98
5.2 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою вітрогенератора.....	99
РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	104
ВИСНОВКИ.....	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення стійкого енергопостачання є однією з найважливіших умов функціонування всіх сфер світової економіки. Процес трансформації світової енергетичної системи супроводжується зміною домінуючих видів палива в енергетичному балансі, технологічними та організаційними інноваціями, розширенням та оптимізацією ланцюга постачання енергетичних ресурсів.

Сучасному етапу перетворення світової енергетичної сфери притаманне зростання попиту на енергоресурси, активізація використання поновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності.

Аналіз змін і напрямів розвитку світової енергетики показує, що ключовими факторами є надійність енергопостачання, енергетична безпека, енергоефективність і екологічна гармонізація. При цьому підвищення енергоефективності є стратегічним напрямом зниження енергоємності економіки та захист навколишнього середовища.

Британською компанією British Petroleum (BP) у 66-му випуску «Статистичного огляду світової енергетики 2019» (Statistical Review of World Energy, June 2019) зазначено, що в останні роки стан світового енергетичного господарства визначається комплексом чинників різноспрямованої дії. Серед них основними є:

- прискорення темпів технологічних і соціальних змін, науково-технічний прогрес;
- розвиток поновлюваних джерел енергії (ПДЕ);
- підвищення енергоефективності;
- скорочення видобутку на традиційних родовищах, перехід до освоєння більш дорогих у розробці покладів викопного палива;
- нарощування споживання локальних джерел енергії – важкої нафти, нетрадиційного газу, горючих сланців, торфу тощо;

- трансформація структури виробництва та споживання первинної енергії (шляхів і способів видобутку, переробки, доставки та збуту паливно-енергетичних товарів);
- загострення політичної ситуації в нафтовидобувних регіонах світу та поблизу важливих маршрутів транспортування енергоносіїв (військові події в Сирії, політичний курс курдів на національне відокремлення в межах території, багатой водними ресурсами і дешевої у виробництві нафтою тощо);
- збільшення ризиків і тяжкості наслідків антропогенних і природних катастроф і, як наслідок, посилення екологічних норм і вимог з безпеки.

У зв'язку з сучасними світовими тенденціями щодо децентралізації електропостачання споживачів, які пов'язані зі збільшенням вартості традиційних паливних ресурсів, та їх прогнозованого вичерпання, з'являється необхідність у підвищенні частки розосередженого виробництва електроенергії за допомогою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), це призводить до ускладнення планування режимів електроенергетичних систем (ЕЕС) та оперативного керування ними [1-4]. Це пов'язано з тим що більша частина ВДЕ мають імовірнісний характер роботи.

На даний час вартість будівництва та впровадження ВДЕ є досить високою, через це термін окупності таких електричних станцій може становити 10-25 років, тому існує державна підтримка розбудови відновлюваної енергетики, яка стимулює дослідження питань проектування та експлуатації ВДЕ з метою підвищення рівня енергетичної безпеки країни та зниження впливу енергетики на довкілля.

Однак питаннями транспортування електроенергії виробленої ВДЕ та функціонування районних електричних мереж (РЕМ) у нових експлуатаційних умовах часто нехтують вже на етапі проектування ВДЕ та вибору місця їх приєднання до електричних мереж (ЕМ).

Недослідженість питань проектування та експлуатації ВДЕ в сучасних умовах, їх впливу на режими роботи електричних ЕМ, неузгодженість номінальних параметрів основного обладнання з потребами таких джерел, відсутність типових рішень стосовно засобів захисту та автоматизації процесу виробництва

електроенергії не дозволяє приймати обґрунтовані проектні рішення під час їх розбудови, крім того, це дозволяє ефективно їх експлуатувати [5-10]. Тому, актуальним є розвиток методичного, інформаційного і технічного забезпечення їх експлуатації.

Важливим в цьому напрямку є комплексність та методологічна єдність в прийнятті рішень щодо покращення експлуатаційних характеристик ВДЕ при їх роботі в електричних мережах.

Під час проектування схеми видачі електроенергії від джерела до кінцевого споживача постає необхідність узгодження їх роботи з енергосистемою, від якої здійснюється централізоване живлення. Така схема повинна відповідати як вимогам надійності, щоб забезпечити стабільну видачу електроенергії, так і забезпечити підключення джерела максимально наближено до центра споживання електроенергії, що дозволить забезпечити мінімум втрат електроенергії на її транспортування.

Таким чином, актуальну задачу оптимізації функціонування ВДЕ в районних електричних мережах можна розв'язувати як задачу проектування:

- для визначення оптимальної встановленої потужності, та як експлуатаційну задачу.
- для оптимізації добових режимів генерування відновлюваних джерел та схеми видачі електроенергії мережами локальних електричних систем з ВДЕ. Це дозволить підвищити прибутковість енергопостачальних та енергогенерувальних компаній за рахунок зменшення втрат електроенергії в РЕМ.

Метою роботи є дослідження методів розрахунку втрат електроенергії в електричних мережах з вітровими електростанціями.

Відповідно до вказаної в роботі мети вирішуються така основна **задача**:

- аналіз відомих методів втрат електроенергії з відновлюваними джерелами енергії;

Об'єктом дослідження магістерської роботи є вітроустановки, а **предметом дослідження** – методи розрахунку втрат електроенергії у електричних мережах з вітровими електростанціями.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувались методи математичного моделювання та чисельні методи визначення оптимальної встановленої потужності РДЕ в локальній електричній системі. Статистичні методи оброблення інформації використано для аналізу результатів розрахунків та перевірки справедливості отриманих теоретичних положень.

Наукова новизна. Полягає у обґрунтуванні ефективності встановлення вітрових електроустановок.

Особистий внесок. Усі результати, які складають основний зміст роботи отримані автором самостійно.

Публікації. Владислав ПАСЯК / Аналіз методів розрахунку втрат електроенергії враховуючи електроенергію, вироблену на вітрових електростанціях // III Всеукраїнська студентська науково-практична конференція «Ефективне використання енергії: стан і перспективи» (09 листопада 2023 року) / Заклад вищої освіти «Подільський державний університет».

Кам'янець – Подільський. 2023.

ВИСНОВОК

В даний час розвиток вітрової енергетики , що спостерігається в Україні обумовлений державною політикою сприяння розвитку альтернативних джерел енергії (відповідно до Закону України «Про електроенергетику» від 01.04.2009. Проте наразі відсутні науково обґрунтовані обсяги вітроенергетичних потужностей, які можливо розмістити в окремих регіонах України, виходячи з наявності вітру, економічної доцільності, екологічної безпеки, збереження стійкої роботи об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, та забезпечення потреб в електроенергії в районах розміщення вітроелектростанцій (ВЕС) тощо.

В роботі було проаналізовано методи розрахунку втрат електроенергії, з урахування електроенергії виробленої вітровими електростанціями, розглянуто структуру втрат електроенергії.

Було пораховано втрати електроенергії нормального режиму за допомогою програми, для найбільш навантажених фідерів підстанцій ЕМ, та по чергово були приєднані вітрогенератори потужністю від 100 до 850 кВт до найбільш віддалених вузлів. Побудовано залежності Втрат потужності від потужності генерування, виходячи з яких обрано найбільш доцільну потужність приєднаного вітрогенератора для кожної з підстанцій.

В другій частині розрахунку було проведено розрахунок за допомогою програми аналізу втрат електроенергії. Отримано числове значення сумарного прибутку від експлуатації вітрогенератора за добу приєднаного на паралельну роботу електромереж, пораховано цільову функцію задачі визначення оптимальної встановленої потужності Вітрогенератора для фідера №33 ПС 35/10 , отримавши числові значення цільової функції, було виявлено, що при встановленні вітрогенератора потужністю 200 кВт загальні втрати склали 7,22%, при встановленні вітрогенератора потужністю 850 кВт через недотримання нормативу втрат потужності, та нормативу по відхиленню напруги сумарний прибуток від експлуатації Вітрогенератора

приєднаного до фідера №33 ПС 35/10 зменшився на 23%, а загальні втрати складають 21,54%, тому як видно з результатів дослідження, оптимальним є приєднання вітрогенератора потужністю 200 кВт до фідера №33. Збільшення встановленої потужності призводить до імовірного зниження якості напруги, що погіршує умови функціонування локальної електричної системи.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Здобувач вищої освіти

_____Владислав ПАСЯК

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. — Х.: «Точка», 2012. — 340 с
2. Правила улаштування електроустановок: (арх. 15 березня 2020) / Міненерговугілля України. - Київ: (б.в.), 2017. - 617с.
перероблене й доповнене — Х. : Форт, 2011. — 736 с.
3. М. О. Шульга, І. Л. Деркач, О. О. Алексахін. Інженерне обладнання населених місць: Підручник. — Харків: ХНАМГ, 2007. — 259 с.
4. R. W. Wies, R. A. Johnson, J. Aspnes. Design of an energy efficient standalone distributed generation system employing renewable energy sources and smart grid technology // Proceedings of IEEE Power & Energy Society General Meeting. — 2010. — P. 1-8.
5. Кириленко О. В., Трач І. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації / О. В. Кириленко, І. В. Трач // Праці Інституту електродинаміки НАН України. — 2009. — Вип. 24. — С. 3–7. — ISSN 1727-9895.
6. Тугай Ю.І. Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів / Ю.І. Тугай, В.В. Козирський, О.В. Гай, В.М. Бодунов // Технічна електродинаміка.— 2011.— № 5. — С. 63-67.
7. Стогній Б.С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк // Техн. електродинаміка. — 2010. — № 6. — С. 44–50.
8. NIST Releases Report on Smart Grid Development // National Institute of Standards and Technology (USA) – Recognized Standards for Inclusion In the Smart Grid Interoperability Standards Framework, Release 1.0 (електронний ресурс). Режим доступу: http://collaborate.nist.gov/wiki-sggrid/bin/view/_SmartGridInterimRoadmap/InterimRoadmapFinal.

9. European Smart Grids Technology Platform // European Commission. Directorate-General for Research Sustainable Energy System, EUR 22040, 2006. – 44 p.

10. Sharat Ranjan. DECENTRALISED POWER GENERATION AND DISTRIBUTION // Proceedings of the Himalayan Small Hydropower Summit. – Dehradun, India. – 2006. – P. 147-155.

11. Taro Kondo, Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama. Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using facts devices // IEEE Transactions on Power and Energy. – 2006. – Vol. 126. – № 3. – P. 347-358.

12. B. Mahdad, K. Srairi and T. Bouktir. Optimal coordination and penetration of distributed generation with shunt facts using ga/fuzzy rules // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2009. – Vol. 4. – № 1. – P. 1-12.

13. H. Hatta, S. Uemura and H. Kobayashi. Cooperative control of distribution system with customer equipments to reduce reverse power flow from distributed generation // Proceedings of IEEE Power&Energy Society General Meeting. – 2010. – P. 1-6.

14. Кулик В.В. Оптимальне керування розосередженими джерелами електроенергії з асинхронними генераторами засобами Smart Grid [Електронний ресурс] / В.В. Кулик, Т.Є. Магас, Ю.В. Малогулко // Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2011. – №4. – С. 1-6. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1404/999>. – ISSN 2307-5376.

15. Бурикін О.Б. Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії [Текст] / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка та електротехнології». – 2013. – №2. – Вип. 15 (338). – С. 42-46. – ISSN 2074-2630.

16. Кулик В.В. Оптимізація перетікань активної та реактивної потужностей у розподільних електромережах засобами розосередженого

генерування [Текст] / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Вісник Вінницького політехнічного університету. Енергетика та електротехніка. – 2014. – №1. – С. 90-93. – ISSN: 1997-9274.

17. Рубаненко О.Є. Вдосконалення математичного забезпечення комп'ютерних систем оптимізації режимів локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії [Текст] / О.Є. Рубаненко, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Науковий вісник Чернівецького університету. Серія «Комп'ютерні системи та компоненти». – 2014. – №2 (5). – С. 85-93. – ISSN 2311-9276.

18. Лежнюк П.Д. Оптимізація функціонування розосереджених джерел енергії в локальних електричних системах. енергії [Текст] / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, Ю.В. Малогулко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2014. – №60 (1102). – С. 68-77. – ISSN 2079-4525.

19. Кулик В.В. Дослідження ефективності сумісної експлуатації локальних електричних мереж з ВДЕ та систем централізованого електропостачання [Текст] / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». Електрифікація та автоматизація гірничих робіт». – 2014. – Вип. 25. – С. 113-120. – ISSN 2079-5688.

20. Бурикін О.Б. Стандартизація функціонування локальних енергосистем при їх інтеграції у системи централізованого живлення на базі концепції Smart Grid [Текст] / О.Б. Бурикін, Ю.В. Томашевський, Ю.В. Малогулко // Енергетика и электрификация. – 2012. – № 12. – С. 46-48. – ISSN 0424-9879.

21. Кулик В.В. Оптимальне керування відновлюваними джерелами електроенергії на підставі Smart Grid / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Відновлювана енергетика XXI століття: XII міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – АР Крим: Інститут відновлюваної

енергетики НАН України, 2011.

22. Бурикін О.Б. Перспективи інтеграції розподілених джерел енергії у локальні енергосистеми на базі концепції Smart Grid / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах». IV міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2012. – С. 37 – 40.

23. Бурикін О.Б. Спосіб узгодження графіків генерування сонячних електростанцій та споживачів енергії локальних електричних систем / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко, О.В. Нікіторович // Відроджена енергетика XXI століття: XV міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – Київ: Інститут відроджувальної енергетики НАН України, 2014. – С. 52-55.

24. Малогулко Ю.В. Ефективність сумісної експлуатації локальних електричних мереж з відроджуваними джерелами енергії / Ю.В. Малогулко // «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах». V міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2014. – С. 146-149.

25. European Smart Grid, 2011 [Online]. Available: <http://www.smartgrids.eu/>.

26. National Institute of Standards and Technology, Standards Identified for Inclusion in the Smart Grid Interoperability Standards Framework, Release 1.0, Sept. 2009, [Online]. Available: <http://www.nist.gov/smartgrid/standards.html>.

27. M. Uslar, S. Rohjans, R. Bleiker, J. González, M. Specht, T. Suding and T. Weidelt. SURVEY OF SMART GRID STANDARDIZATION STUDIES AND RECOMMENDATIONS // Proceedings of 2010 Innovative Smart Grid Technologies Conf. Europe (ISGT Europe), Gothenburg, Oct. 2010.

28. Electric Power Research Institute Tech. Rep. – THE SMART GRID INTEROPERABILITY STANDARDS ROADMAP. – Aug. 2009, [Online]. Available: http://collaborate.nist.gov/twikisggrid/pub/SmartGridInterimRoadmap/InterimRoadmapFinal/Report_to_NIST1August10.pdf

26. Астахов Ю. Н. Використання критеріального методу в електроенергетиці / Ю. Н. Астахов, П. Д. Лежнюк – К.:УМК ВО, 1989. – 140с.
27. Лежнюк П. Д. Методи оптимізації в електроенергетиці. Критеріальний метод: навч. посібник / П. Д. Лежнюк, С. В. Бевз. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 177 с.
28. Лежнюк П. Оптимальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з урахуванням планового значення технічних втрат потужності / Петро Лежнюк, Олена Рубаненко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №1. – С.86-90.
29. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 року № 145 «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року».
30. Райхенбах Т. М. Європейський досвід у використанні потенціалу сільського господарства для виробництва відновлювальної енергії / Т. М. Райхенбах // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Вип. 132. Технічні системи і технології тваринництва. – ХНТУСГ. – Х., 2013. – С. 530–535.
31. Методи розрахунку нормативних характеристик технічних втрат електроенергії Клендій П.Б., Струк В.З. Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції «Сталий розвиток аграрної сфери: інженерноекономічне забезпечення» . - Бережани, 2020 – С.218-220.
32. Методичні рекомендації щодо виконання та оформлення кваліфікаційної роботи магістра / Т.Д.Гуцол, Л.М.Михайлова, І.Д.Гарасимчук, В.М.Дубік, О.В.Ткач, П.В.Потапський. (За загальною редакцією Михайлової Л. М.) – ПДАТУ, 2019. – 30 с.
33. Система дистанційного навчання Moodle 2.7. – «ЗВО «ПДУ»». Режим доступу: <http://pdatu.net.ua/>.– Назва з екрана.