

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОЇ
СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ
ВІТРОУСТАНОВКИ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ**

Виконала:

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

_____ **Людмила СОЛОВІЙ**

Керівник: канд. техн. наук, доцент

_____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

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**

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Особливості автономної роботи вітроенергетичних установок	8
1.2 Аналіз систем комбінованого енергопостачання на основі ВЕУ	10
1.3 Класифікація вітрових генераторів	19
1.4 Аналіз дизель-генераторів	20
1.5 Висновки до першого розділу	21
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	23
2.1 Оцінка вітроенергетичного потенціалу Тернопільської області	23
2.2 Розрахунок споживаної потужності	29
2.3 Вибір елементів комбінованої системи електропостачання ВЕУ	32
2.4 Вибір дизель-генераторної установки	39
2.5 Висновки по другому розділу.....	41
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	42
3.1 Моделювання вітроенергетичної установки	42
3.2 Моделювання дизель-генератора	48
3.3 Моделювання акумуляторної батареї	51
3.3.1 Ланки заряду та розряду АКБ	53
3.4 Висновки до третього розділу	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	61
4.1 Захисні міри для роботи з електроустановками напругою 0.38 кВ	61
4.2 Основні принципи та способи захисту працівників та території підприємства при виникненні надзвичайних ситуацій	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70

ВСТУП

Актуальність теми. Децентралізація енергетичних ринків країни призвела до появи споживачів, що орієнтуються на використання систем з відновлювальними джерелами енергії (*ВДЕ*). Основні причини: зростання тарифів на електро- та теплопостачання від централізованих електричних мереж; скорочення субсидій на викопне паливо; зниження цін на елементи *ВДЕ*, через інноваційні технології виробництва та компенсації витрат на будівництво та обладнання [1, 2].

Найбільш перспективним варіантом для домогосподарств малої потужності є автономні комбіновані системи на основі вітрових електроустановок (*BEU*), особливо в умовах швидкого їх впровадження й простої схемної реалізації [3, 4].

Аналіз використання вітрових систем показав невідповідність вказаних технічних параметрів елементам установок при використанні в реальних умовах, де енергетичний потенціал вітру вимагає прийняття різних схемотехнічних рішень для отримання необхідної ефективності генерування електричної енергії. Для забезпечення безперебійної роботи та надійності електропостачання перспективним варіантом є побудова автономних комбінованих систем, з інтеграцією дизельної системи в систему вітрових установок [5].

Але описані системи на основі використання вітрового потенціалу мають суттєвий недолік – низька прогнозованість генерації та неможливість керування процесами з заданою точністю у відповідності з заданими графіками електроспоживання.

Тому, виникає необхідність проведення оцінки стійкості розроблених вітроенергетичних установок при різних режимах роботи на основі побудови імітаційних моделей з можливістю зміни швидкості вітрового потоку та потужності навантаження.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є математичне моделювання комбінованої системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки для дослідження стійкості при різних режимах роботи.

Відповідно до вказаної мети поставлені наступні завдання:

- провести аналіз особливостей автономної роботи вітроенергетичної установки та побудови систем комбінованого енергопостачання на їх основі;
- провести аналіз вітроенергетичного потенціалу Тернопільської області для оцінки діапазону зміни швидкості вітрового потоку;
- на основі проведеного розрахунку навантажень приватного домогосподарства здійснити вибір елементів автономного енергетичного комплексу;
- здійснити побудову математичної моделі та її елементів для дослідження оцінки стійкості при різних режимах роботи;
- провести обчислювальні експерименти роботи комбінованої вітроенергетичної установки при різних значеннях швидкості вітрового потоку та потужності навантаження й здійснити аналіз отриманих результатів моделювання.

Об’єкт дослідження – процеси електричної генерації на основі відновлювальних джерел енергії.

Предмет дослідження – математичне моделювання режимів роботи комбінованої вітроенергетичної установки малої потужності.

Наукова новизна отриманих результатів.

- отримало подальший розвиток застосування методів математичного моделювання для оцінки надійності роботи комбінованих систем електропостачання на основі вітроустановки при різних режимах роботи.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані математичні моделі дозволяють проводити оцінку надійності роботи комбінованих вітроустановок при різних значеннях швидкості вітрового потоку та потужності навантаження.

Апробація.

Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на IV Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Ефективне використання енергії: стан і перспективи» 09 листопада 2024 року.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (27 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 73 сторінки, 8 таблиць, 38 рисунків.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено математичне моделювання роботи комбінованої системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки для забезпечення дослідження стійкості при різних режимах роботи.

1. Проведений аналіз розробок комбінованих систем на основі традиційних та відновлюваних джерел енергії.

2. На основі аналізу вітрового потенціалу Тернопільської області проведено вибір діапазону швидкостей вітру в зоні локації вітроенергетичної установки.

3. На основі проведеного розрахунку навантажень приватного домогосподарства здійснено вибір елементів автономного енергетичного комплексу для побудови математичної моделі: вітроенергетичної установки на синхронного генератора на постійних магнітах потужністю 8 кВт ; дизель-генератор зі змінною швидкістю обертання потужністю 6 кВт ; інвертора; акумуляторної батареї.

4. Розроблена імітаційна комп'ютерна модель в середовищі *MatLab Simulink*, де передбачено зміна швидкості вітрового потоку від 0 до 16 м/с та потужності навантаження від 0 до 7 кВт .

5. На основі результатів експериментів розроблений алгоритм керування потужністю вітроенергетичної установки, що дозволяє забезпечити високу продуктивність при роботі в широкому діапазоні швидкостей вітру:

- а) споживач отримує електричну енергію від *BEU* при $S_{BEU} \geq S_{нав}$:
- якщо $S_{BEU} > S_{нав}$, надлишок потужності витрачається на зарядження *АКБ*;
 - якщо $S_{BEU} > S_{нав}$ та заряд *АКБ* максимальний, то невикористана потужність розсіюється на баластному навантаженні.

б) Електропостачання споживача здійснюється від ДГУ, при цьому $S_{BEU} = 0$ (BEU відімкнена або штиль).

в) BEU та ДГУ працюють паралельно на навантаження при нестачі потужності BEU $S_{BEU} \leq S_{нав}$: якщо $S_{BEU} = S_{нав}$ та заряд АКБ нижче мінімального значення, ДГУ вмикається для заряду АКБ.

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувачка вищої освіти _____ Людмила СОЛОВІЙ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. [Електронний ресурс]: [веб-сайт]. Разумков центр, 2022. Режим доступу: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>.
2. Чернюк А.М., Кирисов І.Н., Черевик Ю.О. Аналіз перспектив розвитку систем розподіленої генерації електроенергії в Україні. [Електронний ресурс]. / А.М. Чернюк, І.Н. Кирисов, Ю.О. Черевик // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки: Енергетика. – Том 32 (71) № 3, 2021, С. 239-246. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.3/36>.
3. Розподілена генерація електроенергії – глобальні тенденції розвитку. URL: <http://uare.com.ua/novyny/453-rozpodilena-generatsiya-elektroenergiji-globalni-tendentsiji-rozvitku.html>.
4. Сегеда М.С., Дудурич О.Б. Основні аспекти інтеграції вітрових електричних станцій в енергосистемі. // М. С. Сегеда, О. Б. Вісник/ Львів. політехн. - Львів: Львівська політехніка, 2016. - № 840: Електроенергетичні та електромеханічні системи. - С. 119-125.
5. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / Кириленко О. В., Павловський В. В., Лук'яненко Л. М. // Технічна електродинаміка. Електроенергетичні системи та установки. – 2011. – № 1. С. 46–53.
6. Типи вітрогенераторів [Електронний ресурс] // atmosfera.ua – Режим доступу до ресурсу: <https://www.atmosfera.ua/uk/vitryani-elektrostantsii/tipivitro-generatoriv/>.
7. Камінський Ю. Вітрогенератори для дому: види, приблизні ціни, виготовлення своїми руками [Електронний ресурс] / Ю. Камінський. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/4e7twAi>.
8. Куц Т. Горизонтальний або вертикальний вітрогенератор? За і проти [Електронний ресурс] / Т. Куц // Компанія "Концепція Енергозбереження". –

2016. Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/Ge7tnGf>.

9. Kling W.L., J. G. Slootweg. Wind Turbines as Power Plants. URL: https://www.researchgate.net/publication/228488368_Wind_turbines_as_power_plants.

10. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О. Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн.ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

11. Кузьо І. В. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності / І. В. Кузьо, В. М. Корендій // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка»: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – № 679. – Львів: Вид-во Націон. ун-ту «Львівська політехніка», 2010. – С. 61–68.

12. Головки В.М., Коханевич В.П., Шихайлов М.О. Дослідження процесів перетворення вітру в локальних енергосистемах. Альтернативна енергетика і екологія. - Київ, 2011. № 8. - С. 44-49.

13. Кузнецов М.П. Можливості короткотермінового прогнозування швидкості вітру на українських ВЕС. Відроджена енергетика. Київ, 2010. № 4. С. 40–47.

14. Лозинський А. О. Система керування вітроустановкою на базі нечіткого регулятора з врахуванням зміни аеродинамічних параметрів вітроротора / А. О. Лозинський, В. І. Щур // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Вип. 3/2015 (31). – Кременчук: Кременч. націон.ун-т ім. М. Остроградського, 2015. – С. 10–21.

15. Осадчий В.І., Скриник О.Я., Ошурок Д.О., Скриник О.А. Вітрові ресурси Тернопільської області // В.І. Осадчий, О.Я. Скриник, Д.О. Ошурок, О.А. Скриник / GEOINFORMATIKA, 2017, № 4 (64). С. 50-61 Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/322594266_Wind_resources_of_the_Ternopil_region.

16. Кудря С.А., Пермінов Ю.М., Буденний І.В. Особливості проектування вітрогенераторів. Відновлювальна енергетика. - Київ, 2014. № 3. - С. 54-57.

17. Відновлювані джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

18. Романчук А.О., Теребійчук С., д.т.н., проф. Толочко О.І., «Особливості віртуального фізичного моделювання механічних об'єктів з використанням блоків бібліотеки SimMechanics». Міжнародний науково- 2 технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики"- НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» - 2016.

19. MATLAB, Simulink, Simpowersystem. Основи програмування: лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з дисципліни «Пакети прикладних програм», ч. І, спеціалізація "Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії" / О. І. Толочко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8241 кБ). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 226 с.

20. Гурко О.Г., Єрьоменко І.Ф. Г 95 Аналіз та синтез систем автоматичного керування в MATLAB. Навчальний посібник/ О.Г. Гурко, І.Ф.Єрьоменко. – Харків: ХНАДУ, 2011. –286 с.

21. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. . Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258] // М-во палива та енергетики України. – Х.: Індустрія : Енергетичні рішення. – 2012. – 318 с.

22. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник [Електронний ресурс] / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулую, 2022.–150 с. Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39424>.

23. 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.

24. Конспект лекцій з дисципліни “Основи електропостачання ” (скорочений курс лекцій, частина 1) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Микола ВУСАТИЙ, Павло ПОТАПСЬКИЙ, Ігор ГАРАСИМЧУК (За загальною редакцією Павла ПОТАПСЬКОГО). – Кам'янець – Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023. – 127с.

25. Система дистанційного навчання Moodle 2.7. – «ЗВО «ПДУ»». Режим доступу: <http://pdatu.net.ua/>.– Назва з екрана.

26. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення курсових робіт з навчальної дисципліни «Основи електропостачання» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти / М.В. Вусатий, І.Д. Гарасимчук, П.В. Потапський. (За загальною редакцією М.В. Вусатого) – ПДАТУ, 2021.- 68с.

27. Конспект лекцій з дисципліни “Основи електропостачання ” (скорочений курс лекцій, частина 2) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Павло ПОТАПСЬКИЙ, Микола ВУСАТИЙ, Ігор ГАРАСИМЧУК (За загальною редакцією Павла ПОТАПСЬКОГО). – Кам'янець – Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024. – 100с.