

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВОХРОТОРНОЇ ВІТРОУСТАНОВКИ

Виконав:

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

_____ **Роман МАРУЩАК**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Олександр КОЗАК**

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	6
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Світові тенденції розвитку вітроенергетичних установок.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Перспективи розвитку вітроенергетики в Україні.....	Ошибка! Закладка не определена.
Висновок до розділу 1	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Аналіз вітроенергетичних установок.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Види вітроенергетичних установок	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Порівняльний аналіз енергетичних характеристик ветртикально-осьових і горизонтально-осьових вітроустановок.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.4 Вибір напрямку і завдання дослідження ..	Ошибка! Закладка не определена.
Висновок до розділу 2	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРОВОГО ПОТОКУ ВІТРОКОЛЕСА.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Теоретичне дослідження використання енергії вітрового потоку при обтіканні вітроколеса.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Обґрунтування конструктивних значень двороторної вітроустановки з контр обертанням лопатей	Ошибка! Закладка не определена.
Висновок до розділу 3	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОРОТОРНОЇ ВЕУ З КОНТР ОБЕРТАННЯМ ЛОПАТЕЙ.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.1 Модель двороторної вітроустановки з контр обертанням лопатей ...	Ошибка! Закладка не определена.

4.2 Комп'ютерне моделювання вітроенергоустановки **Ошибка! Закладка не определена.**

4.3 Моделювання в програмному комплексі ANSYS **Ошибка! Закладка не определена.**

Висновок до розділу 4 **Ошибка! Закладка не определена.**

ВИСНОВКИ 8

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ 10

АНОТАЦІЯ

У цій магістерській роботі розглядається питання про можливість збільшення ефективності виробництва електроенергії із застосуванням протилежного обертання лопатей двороторної вітрової установки. Проведений аналіз комп'ютерного моделювання роботи вітрової установки, розрахунок обтікання, основних аеродинамічних сил і моментів тих, що виникають на однороторній і двухротороной вітровій установці при обдуванні її вітровим потоком в програмному комплексі ANSYS.

ANNOTATION

In this master thesis carried out the possibility of increasing the efficiency of electricity generation by using counter - rotating blades two - rotor wind turbine. The analysis of computer simulation of wind turbine procedure was developed and calculations of air flow as well as the basic aerodynamic forces and moments occurring on single rotor and dualrotor wind turbine were made while blowing on it in simulation package ANSYS.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської роботи складається з:

82 стор., 7 табл., 43 рисунків., 21 літературних джерел.

Тема роботи:

«Аналіз енергетичних характеристик двохроторної вітроустановки»

Об'єктом дослідження є модель вітроенергетичної установки малої потужності з горизонтальною віссю обертання, визначається її перспективність вдосконалення, попит на світовому ринку, простотою і надійністю монтажу, експлуатації і ремонту, доступними для споживачів, що не мають доступу до централізованого електропостачання.

Представлена модель двороторної вітрової установки в програмі SolidWorks 2014, може описана як система, що складається з двох вітрових коліс, розділених відповідною відстанню, одне вітроколесо обертається в напрямі за годинниковою стрілкою, а інше проти годинникової стрілки на одній осі.

Розроблена методика комп'ютерного моделювання роботи вітрової установки і розрахунок обтікання, розрахунок основних аеродинамічних сил і моментів, що виникають на однороторній і двухроторною вітровою установці при обдуванні її вітровим потоком в програмному комплексі ANSYS.

Ключові слова: МОДЕЛЮВАННЯ, ОБТІКАННЯ, ГЕНЕРАТОР, ВІТРОУСТАНОВКА, КОНТРОБЕРТАННЯ, КУТОВА ШВИДКІСТЬ, ЛОПАТІ, КОЕФІЦІЄНТ, ШВИДКІСТЬ ВІТРУ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВЕУ	-	вітроелектрина установка
ВД	-	вітродвигун
ПДЕ	-	поновлювані джерела енергії
ВК	-	вітроколесо
ВЕС	-	вітроелектрина станція
Г	-	генератор
$E_{\text{ВЕУ}}$	-	електрорушійна сила, яка виробляється ВЕУ
$K_{\text{ВВВ}(\xi)}$	-	коефіцієнт використання енергії вітру
в.о.	-	відносні одиниці
М	-	щогла
hм	-	висота щогли
D	-	діаметр вітроколеса
Rвк	-	радіус вітроколеса
v	-	швидкість вітру
Z	-	швидкохідність
Nн	-	номінальна потужність ВЕУ

ВСТУП

На сьогодні енергія вітру є одним з найчистіших, найперспективніших поновлюваних джерел енергії. Сучасна вітроенергетика переживає період бурхливого розвитку. У світовій практиці на сучасному етапі існує два підходи до використання енергії вітру. Вітроенергетичні станції великої потужності, працюють паралельно з енергосистемою, а вітростанції малої потужності використовуються автономно для локальної мало енергоємних споживачів, у більшості випадків децентралізованих.

Перспективи використання вітроенергетики визначаються наявністю відповідних вітроенергетичних ресурсів, України виключно багатий вітровими ресурсами. Близько 50% території України має середньорічну швидкість вітру 4-5 м/с, а ряд районів має швидкість вітру 6м/з і більше, що зумовлює дуже хороші перспективи для використання вітроенергетики.

Оскільки, більшість горизонтальних вітроустановок є однороторними, що забезпечують простоту, надійність і довговічність роботи, існують фізичні обмеження на кількість енергії, яка може бути витягнута з повітряного потоку за допомогою однороторної вітрової установки. Однороторна вітрова установка може перетворювати менше 40% енергії вітру в електричну енергію. Таким чином, майже 60% потенційної енергії вітру проходить мимо, не будучи використаним. Дійсно, не використаній енергії вітру за ветроколесом не дуже те і мало, частина цієї енергії може бути витягнута шляхом установки другого вітроколеса в слід за першим.

Метою роботи є: Аналіз конструкції вітроелектричної установки малої потужності з горизонтальною віссю і контробробтанням двох вітрових коліс, що має підвищену енергоефективність.

Багато завдань, з якими доводиться нині стикатися дослідникам і інженерам, не піддаються аналітичному рішенню або вимагають величезних витрат на експериментальну реалізацію. Частенько єдиною можливістю

експресного аналізу інженерної проблеми є комп'ютерне математичне моделювання.

Запропонована методики аналізу комп'ютерного моделювання роботи вітрової установки і розрахунок обтікання, розрахунок основних аеродинамічних сил і моментів, що виникають на однороторній і двухротороюї вітроустановці при обдуванні її вітровим потоком в програмному комплексі ANSYS.

ВИСНОВКИ

Актуальність вибору в якості об'єкту дослідження моделі вітроенергетичних установок малої потужності з горизонтальною віссю обертання, визначається їх перспективністю вдосконалення в силу найбільшого попиту на світовому ринку, достатнім коефіцієнтом використання енергії вітру, простотою і надійністю монтажу, експлуатації і ремонту, доступними для споживачів, що не мають доступу до централізованого електропостачання. Не використаній потенційній енергії вітру за вітроколесом однороторної ВЕУ не так те і мало, частина цієї енергії може бути витягнута шляхом установки другого колеса в слід за першим (двороторна вітрова установка з контр обертанням).

Представлена модель двороторної вітрової установки в програмі SolidWorks 2014, може бути описана як система, що складається з двох вітрових коліс, розділених відповідною відстанню, одне вітроколесо обертається в напрямі за годинниковою стрілкою, а інше проти годинникової стрілки на одній осі.

Розроблена методика комп'ютерного моделювання роботи вітрової установки і розрахунок обтікання, розрахунок основних аеродинамічних сил і моментів, що виникають на однороторній і двухроторною вітровою установці при обдуванні її вітровим потоком в програмному комплексі ANSYS.

При комп'ютерному моделюванні ВЕУ розглянуті декілька варіантів моделювання : а) традиційна ВЕУ з одним ротором; б) двороторна ВЕУ перше вітроколесо однакове по діаметру з другим вітроколесом; в) двороторна ВЕУ з різними по діаметру вітроколесами.

За результатами моделювання в програмному комплексі ANSYS, проведено зіставлення отриманих даних однороторної вітрової установки і двороторною вітровою установкою з контр обертанням. Як показало порівняння, вклад другого колеса в $K_{ВЕУ}$ згідно моделі з однаковими вітроколесами складає 13,1%. Теоретична оцінка вкладу в $K_{ВЕУ}$ з двома

вітроколесами, отримані відповідно до теорій ідеального і реального вітряка Г. Х. Сабініна складає 4,8% і 12,4.

Така модель починає ефективно працювати при низьких швидкостях вітру, що дозволяє розширити рентабельність ВЕА для електропостачання будинків, ферм або громадських господарств, що знаходяться у видаленні від існуючих високовольтних ліній електропередачі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. – К.: ТОВ «ВіолаПрінт», 2008. – 55 с.
2. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії /О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен та ін. За заг. ред. О.І. Солов'я. – Черкаси: Вид. ЧДТУ, 2007.
3. ВР. Прогноз розвитку світової енергетики до 2030 року [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: <http://www.bp.com>
4. Der Strommix in Deutschland im Jahr 2012. AGEV [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: <http://www.unendlich-viel-energie.de>
5. Größte Windkraftanlage der Welt – die E-126 [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: <http://www.energieblog24.de/e126/>
6. GWEC. Global Wind Report 2012126 [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: <http://www.gwec.net>
7. [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4415-il>
8. [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: http://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html
9. Жовтянський В.А. Стан виконання Комплексної державної програми енергозбереження та перспективи її послідовної реалізації /Проблеми загальної енергетики. – 2000. – № 1. – С. 36 – 41.
10. [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: <http://www.enercon.de> 38. [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: <http://en.wind-turbinemodels.com/turbines/26-tacke-tw-600>
11. [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/wind-power/>
12. [Електронний ресурс] – режим доступу до даних: <http://www.fuhrlander.com.ua/>

13. [Электронный ресурс] – режим доступа до даних:
<http://www.gamesacorp.com/en/products-and-services/wind-turbines/g9x-20-mw-en.html>

14. [Электронный ресурс] – режим доступа до даних:
<http://www.nordexonline.com/en/produkte-service/wind-turbines/n117-30-mw.html>

15. [Электронный ресурс] – режим доступа до даних:
<http://www.windkraftjournal.de>

16. Paska J. (2005). Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. [Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej], Warszawa. – 240 p.

17. Ivanov, O.B., Shkrabets, F.P., Zawilak, Jan. (2011). "Electrical generators driven by renewable energy systems", Wroclaw University of Technology, Wroclaw – 169 p. 47. Status der Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2012. DEWI GmbH [Электронный ресурс] – режим доступа до даних:
<http://www.dewi.de>.

18. Chmielniak, T. (2008). Technologie energetyczne. [Wydawnictwa NaukowoTechniczne], Warszawa. – 564 p.

19. Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E. (2001), Wind energy. Handbook. / [West Sussex], England, 643 p.

20. Chiras D., (2010). Wind Power Basics. / [New Society Publishers], Gabriola Island, Canada. – 179 p.

21. Wind Power For Dummies (2009). [Published by Wiley Publishing], Inc. Indianapolis. – 387 p.