

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ
СИСТЕМ НА БАЗІ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЬОВИХ
ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Виконав(ла): студент 6 курсу, групи ЕТмд
спеціальності 141

«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Пляшевський В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Філюк Я.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мовчан Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Завідувач
кафедри

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра

Електричної інженерії

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«14» жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(НАЗВА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ)

за спеціальністю

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Пляшевському Віталію Віталійовичу

(Прізвище, Ім'я, По Батькові)

1. Тема роботи

Дослідження роботи електроенергетичних систем на базі вертикально-осьових вітроенергетичних установок

Керівник роботи

Філюк Ярослав Олександрович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

- Затверджені наказом ректора від «10» жовтня 2024 року №4/7-985
2. Термін подання студентом завершеної роботи
- грудень 2024 року
3. Вихідні дані до роботи
- Провести аналіз існуючих типів конструкцій вертикально-осьових вітроенергетичних установок. Дослідити ефективність системи за допомогою тестів продуктивності. Виконати порівняльну оцінку основних показників розробленої конструкції вертикально-осьової вітроенергетичної установки карусельного типу.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналітичний розділ
2. Розрахунково-дослідницький розділ
3. Проектно-конструкторський розділ
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці. Безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т. к.т.н., доцент. кафедри ЕІ		

7. Дата видачі завдання 14 жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	20.10.2024	
2	Аналітичний розділ	1.11.2024	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	10.11.2024	
4	Проектно-конструкторський розділ	25.11.2024	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	29.11.2024	
6	Висновки	01.12.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	06.12.2024	
8	Оформлення графічної частини	12.12.2024	

Студент _____
(підпис)

Пляшевський В.В. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Філюк Я.О. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пляшевський В.В. Дослідження роботи електроенергетичних систем на базі вертикально-осьових вітроенергетичних установок.

Стор.67; рис.33; табл.3; креслень - ; джерел -14; додатків - 0.

Метою кваліфікаційної роботи було розробка та моделювання фотоелектричного DC-DC перетворювача, який забезпечить високу ефективність, знизить вартість і забезпечить всі функціональні можливості.

У першому розділі дається огляд літератури та теоретичної бази теми. Це також пояснює деякі концепції розуміння проблеми та деякі очікувані результати.

В другому розділі запропоновано конструкцію вітрової установки багатолопастевого типу, яка дає змогу поліпшити якісні характеристики вітроустановки, такі як стійкість роботи конструкції під час роботи в умовах турбулентності, забезпечення плавності ходу, стійкість під час впливу відцентрової сили, зниження нерівномірності перетворення потоку. Проведено моделювання, яке показали, що вибір співвідношення сторін вітротурбіни з вертикальною віссю для максимального збільшення коефіцієнта потужності доцільно виконувати шляхом аналізу факторів, що впливають на число Рейнольдса, домагаючись збільшення його значення..

У третьому розділі було розроблено експериментальну установку для дослідження статичних моментних характеристик лопатей вертикально-осьових вітроенергетичних установок. Експериментальну установку забезпечує необхідну точність визначення статичних моментних характеристик і характеристик лопатей вертикально-осьових вітроенергетичних установок, врахування впливу нерухомих напрямних лопатей, оптимальних параметрів кута установки напрямних лопастей і лопастей вітроколеса.

Ключові слова: вертикально-осьова вітроенергетична установка, моделювання.

ЗМІСТ

Реферат	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Сучасний стан і проблеми електропостачання споживачів від локальних систем електропостачання	9
1.1.1 Класифікація локальних систем електропостачання з використанням джерел малої генерації	11
1.1.2 Аналіз локальних систем електропостачання на базі ВДЕ	12
1.2 Аналіз вітрогенератора з вертикальною віссю	15
1.3. Висновок до розділу	18
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Аналіз наявних конструкцій ВЕУ багатолопастевого типу	19
2.2 Конструкції вертикально-осьового ВЕУ багатолопастевого типу для локальних джерел електропостачання	23
2.3 Розрахункове та експериментальне дослідження енергетичних характеристик ВЕУ	26
2.4 Імітаційне комп'ютерне моделювання роботи вертикально - осьової вітроенергетичної установки в середовищі MatLab	36
2.4.1 Модель вітру як джерела енергії для ВЕУ в програмному середовищі Simulink/Matlab	38
2.4.2 Моделювання вітротурбіни в Simulink/Matlab.	40
2.4 Висновки до розділу	45
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	46
3.1. Стенда для випробування лопастей вертикально - осьової вітротурбіни	46
3.2 Експериментальні дослідження роботи вертикально осьової вітроенергетичної установки карусельного типу	53
3.3 Висновки до розділу	58

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
59	
4.1 Охорона праці	59
4.1.1. Підвищення стійкості функціонування організації в надзвичайних ситуаціях	60
4.2. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	62
4.2.1. Заходи з електробезпеки	62
4.2.2. Заходи протипожежної безпеки	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Енергетичний сектор є одним із ключових чинників сталого розвитку сучасного суспільства. Зростання попиту на енергоресурси, виснаження традиційних джерел енергії та загроза зміни клімату змушують людство шукати альтернативні способи виробництва енергії. У цьому контексті відновлювані джерела енергії, зокрема вітроенергетика, стають дедалі важливішими. Вітроенергетичні установки (ВЕУ) є одними з найбільш перспективних технологій, які можуть забезпечити як екологічну чистоту, так і енергонезалежність.

Серед різних типів ВЕУ значний інтерес викликають вертикально-осьові вітроенергетичні установки (VOBEУ). Вони мають низку переваг порівняно з горизонтально-осьовими системами: можливість роботи за різних напрямків вітру, простота конструкції, низькі експлуатаційні витрати та можливість розміщення в умовах міського середовища. Крім того, VOBEУ можуть ефективно працювати при низьких швидкостях вітру, що робить їх особливо привабливими для регіонів із помірними вітровими умовами.

Тема також актуальна в контексті інноваційних технологій. Сучасні дослідження зосереджені на вдосконаленні конструкцій VOBEУ, використанні новітніх матеріалів, які зменшують вагу та покращують довговічність, а також застосуванні інформаційних технологій для прогнозування роботи установок. Інтелектуальні системи управління, які враховують змінні параметри середовища, можуть значно підвищити ефективність використання вітрової енергії.

Актуальність досліджень підкреслюється і потребою у розвитку локальних енергосистем, зокрема в сільській місцевості, де централізоване енергопостачання є недостатньо розвиненим. VOBEУ можуть стати основою для створення мікромереж, що забезпечать електроенергією віддалені райони. Такий підхід сприяє вирішенню соціально-економічних проблем та покращенню якості життя.

Таким чином, дослідження роботи електроенергетичних систем на базі вертикально-осьових вітроенергетичних установок є важливим напрямом у сучасній енергетиці. Воно поєднує технічні, економічні та екологічні аспекти, спрямовані на забезпечення сталого розвитку суспільства. Інтеграція таких установок у енергетичну систему, їх оптимізація та впровадження нових технологій мають величезний потенціал для вирішення актуальних викликів, пов'язаних із енергетичною безпекою, екологією та розвитком інфраструктури.

Мета і завдання роботи: є розробка технічних рішень щодо підвищення ефективності вертикально-осьових вітроенергетичних установок

Досягнення мети визначається вирішенням наступних завдань:

1. Провести аналіз існуючих типів конструкцій вертикально-осьових вітроенергетичних установок.
2. Дослідити ефективність системи за допомогою тестів продуктивності.
3. Виконати порівняльну оцінку основних показників розробленої конструкції вертикально-осьової вітроенергетичної установки карусельного типу.

Об'єкт дослідження: є процес функціонування електроенергетичних систем, які використовують вертикально-осьові вітроенергетичні установки для генерації електроенергії

Предмет дослідження: Техніко-енергетичні параметри ефективності функціонування електроенергетичних систем на базі вертикально-осьових вітроенергетичних установок

Наукова новизна отриманих результатів:

- Удосконалена модель вітроенергетичних установок в пакеті Simulink, що дало можливість оцінки різних режимів роботи ВЕУ проводити з урахуванням зміни коефіцієнта співвідношення сторін вітроколеса вітротурбіни
- Доведено ефективність коригування конструкції вітротурбіни, зокрема, шляхом зміни співвідношення сторін ротора та розмірів лопаті з метою збільшення коефіцієнта потужності. Отримано достовірні результати,

що дають змогу розглядати режими роботи в широкому діапазоні зміни швидкості вітрового потоку (від 1 м/с до 30 м/с).

Практична цінність результатів дослідження полягає у розробці ВЕУ з поліпшеними енергетичними показниками і може бути використана при створенні локальних електроенергетичних систем, призначених для експлуатації в заданих умовах віддалених і важкодоступних населених пунктів.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи і її результати доповідалися на XIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2024 р.)

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Сучасний стан і проблеми електропостачання споживачів від локальних систем електропостачання

Локальні системи електропостачання відомі давно, але після появи генерувальних установок великої потужності та їх об'єднань вони поступилися своїм місцем централізованим енергетичним мережам. Хронологію розвитку локальних систем електропостачання у світовому масштабі наведено на рис. 1.1.

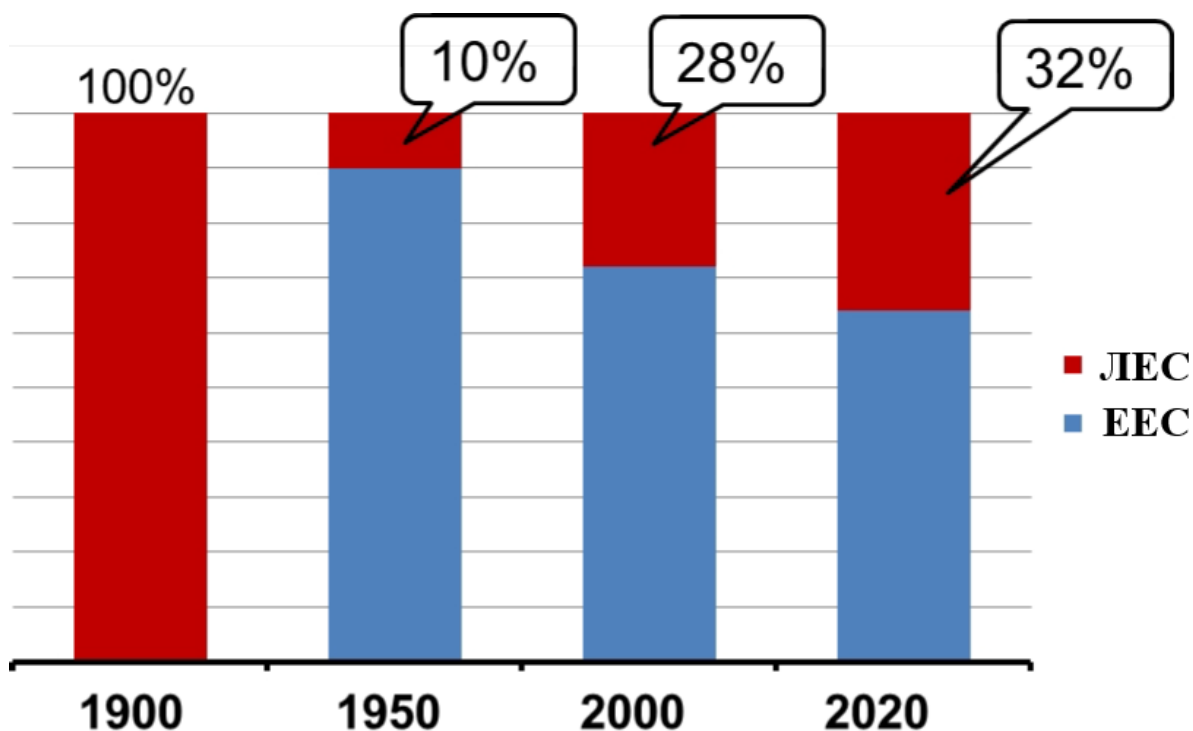


Рисунок 1.1. - Хронологія розвитку локальних систем електропостачання у світовому масштабі: ЛЕС локальна електроенергетична система; ЕЕС - електроенергетична система

Частка локальних систем у Канаді становить 7%, у США - 12%, у країнах ЄС - у середньому 10% [1,2,3] від загальної встановленої потужності [4].

Локальні системи електропостачання (локальні СЕ) зазвичай розглядають як надійні й економічні комплекси, що забезпечують електропостачання на територіях агропромислового сектору, сезонних об'єктах

сільськогосподарського та соціального призначення, спеціальних об'єктах, що рідко обслуговуються, невеликих населених пунктах, а також споживачів в умовах міського середовища [3,4,8,9].

Локальні системи для електропостачання споживачів (малої та середньої потужності) ефективні там, де розширення зони централізованого енергопостачання неможливе через крайню віддаленість або недоцільне через велику капіталомісткість спорудження та експлуатації ліній електропередач.

Системи електропостачання (СЕ) із широким, максимальним використанням безпаливних джерел - клас систем для отримання електро- та інших видів енергії з великою часткою безпаливних, поновлюваних джерел одиничною потужністю не більше ніж 25 МВт, призначених для електропостачання споживачів, які перебувають безпосередньо у точках генерації або на невеликій відстані від них.

Останнім часом технологія створення локальних систем електропостачання (зокрема на базі поновлюваних джерел) знаходять застосування і у великих містах, які відчують дефіцит електроенергії [8,10,11].

Більшість промислово розвинених країн активно впроваджують установки на базі ВДЕ. Застосування установок з використанням ВДЕ вигідні тим, що вони вирізняються компактністю, модульністю конструкції та їхньою масштабованістю. Для локальних систем електропостачання ці характеристики є найприйнятнішими при збільшенні потужності споживачів.

Вимоги, що висуваються до локальних систем електропостачання на базі ВДЕ, здебільшого диктуються їхньою специфікою та споживачами електроенергії, які мають стохастичний характер.

Роботі локальних систем електропостачання властиві такі особливості [8]:

- Віддаленість від пунктів технічного обслуговування.
- Стохастичний характер приходу поновлюваних джерел енергії.
- Експлуатація в складних (екстремальних) умовах.

У зв'язку з вищевказаними особливостями, експлуатація локальних систем електропостачання висуває специфічні вимоги до обладнання.

Доцільність створення та експлуатації локальних систем електропостачання на базі ВДЕ для споживачів малої потужності зумовлено переважно такими причинами [9]:

- низькі втрати через малу віддаленість споживачів від джерела;
- розвантаження наявних ЛЕП;
- підвищення надійності електропостачання внаслідок збільшення кількості джерел;
- нестабільність цін на паливному ринку;
- економічна недоцільність утримання великого парку генерувальних установок, що працюють на привізному паливі.

1.1.1 Класифікація локальних систем електропостачання з використанням джерел малої генерації

Локальні СЕ зазвичай класифікують за сумарною встановленою потужністю та за видом електричної схеми з'єднання, а також призначенням.

В залежно від сумарної встановленої потужності енергоустановок, можна виділити:

мікро ($\sum P_{\text{встан}} < 0,1 \text{ MBt}$);

міні ($\sum P_{\text{встан}} < 1 \text{ MBt}$);

малої потужності ($\sum P_{\text{встан}} < 5 \text{ MBt}$);

середньої потужності ($5 \text{ MBt} < \sum P_{\text{встан}} < 10 \text{ MBt}$);

великі ($\sum P_{\text{встан}} < 30 \text{ MBt}$).

За основними видами схеми з'єднання джерел і споживачів розрізняють:

- Схеми зі скиданням надлишку енергії. Даний спосіб реалізується, наприклад, під'єднанням баластного навантаження та/або використання частини потенціалу: у вітрових енергетичних установок за рахунок зміни кута установки (або довжини) лопаті; у малих ГЕС за рахунок холостих скидів.

- Схеми з накопиченням надлишків енергії. Для накопичення надлишків енергії використовують різні буферні накопичувачі енергії: гідроаккумулявальні системи, маховики, акумуляторні батареї тощо.

- Схеми з регулюванням навантаження. Здійснення регулювання споживаної потужності передбачає, що навантаження споживача складається з чітко заданої та варіативної частини.

Також схеми енергозабезпечення споживачів від локальних СЕ розрізняються за родом струму:

- шини постійного струму ;
- шини змінного струму ;
- шини постійного і змінного струму.

За призначенням локальні СЕ розрізняються таким чином:

- побутові системи, призначені для електропостачання одного або групи побутових споживачів;
- агропромислові, призначені для електропостачання невеликих агропромислових комплексів;
- змішані системи, в склад яких входять побутові і агропромислові споживачі.

За складом енергоджерел:

- системи з одним видом енергоджерела (наприклад, дизель електрична станція (ДЕС) або ВДЕ);
- комбіновані системи (спільне використання ДЕС і ВДЕ, або кілька джерел відновлюваної енергії).

1.1.2 Аналіз локальних систем електропостачання на базі ВДЕ

Структуру локальних систем електропостачання можна представляти у вигляді сукупності трьох взаємопов'язаних підсистем: автономних електростанцій (АЕ), розподільчих електромереж (РЕ) і споживачів електроенергії (СЕ), розташування яких обмежується заданою або ж розглянутої території. Уся підсистема являє собою єдиний електротехнічний комплекс, ефективність роботи якого залежить від оптимізації та узгодження параметрів, характеристик і режимів їхньої роботи між собою.

Проблемою розроблення локальних СЕ є те, що методи і методології, відомі для створення електроенергетичних систем (ЕЕС), не можуть бути застосовані під час їх розроблення. Під час розроблення локальної ЕС

неможливо обмежитися розглядом балансу потужностей, як в ЕЕС, це пов'язано насамперед із характером використовуваного енергоресурсу, режиму споживання електроенергії та ін. чинників, незважаючи на той факт, що в локальних СЕ не так багато елементів, як в ЕЕС. Якщо локальна ЕС створюється на базі ВДЕ, тоді під час розроблення також необхідно враховувати характер приходу поновлюваного енергоресурсу, що ускладнює задачу, розв'язання якої потребує застосування складної математичної моделі.

Питанням розроблення локальних СЕ на базі ВДЕ приділяється велика увага як в Україні, так і в інших країнах [9], тому що під час розгляду питань застосування поновлюваних джерел необхідно розв'язувати задачі, характерні тільки для цього джерела.

У роботах [2,3,4] наводиться приклад розв'язання задачі з розроблення та впровадження локальних ЕС на базі вітро-дизельних електричних станцій. При створенні локальних ЕС на базі вітро-дизельних джерел генерації приділяється велика увага питанням оптимізації роботи дизель-електричної станції та режимів заряд/розряду АБ, але режим роботи вітроустановки не регламентується.

У роботах [5, 6, 7] автори пропонують для розроблення локальної ЕС розгляд використання сонячних фотоелектричних панелей і як резервне джерело використання АБ. У цьому разі вартість локальної ЕС стає високою через високу вартість АБ і необхідність їхньої заміни, перш ніж спливає термін окупності енергокомплексу. Питання включення ВЕУ та СЕС на паралельну роботу з енергосистемою розглянуто в [8]. Зазначено, що в разі порівнянності потужностей ВЕУ (ВЕС) і ЕС виникає необхідність розв'язання задач регулювання негативного впливу ВЕУ на показники якості електричної енергії, завантаження обладнання, струмів КЗ, балансу потужності та енергії.

У роботі [8] наведено аналіз ВЕУ для автономних систем електропостачання з різними генераторами. Однак до питань застосування генераторів на основі постійних магнітів в автономних системах електропостачання не наведено відомостей.

Об'єднання ГЕС і ВЕС або іншого джерела на базі ВДЕ вперше було запропоновано Шефтером, яке отримало свій розвиток у роботах [1-8], а питання акумулювання енергії у складі енергокомплексу у [12]. Ця ідея полягає в тому, що за заданих початкових умов вимагається виконання критерію оптимізації без порушення встановлених обмежень для режимів ГЕС із можливістю перерозподілу та акумулювання гідравлічної енергії.

Питання автономних систем електропостачання з поновлюваними джерелами енергії та розумною мережею розглянуто в [13]. У роботі [13] наведено результати експериментальних досліджень низькообертового магнітоелектричного генератора, а в [12] розглянуто характеристики електрогенератора вітроустановки з вертикальною віссю обертання. Моделювання генератора на постійних магнітах у [11], а з асинхронним генератором подвійного живлення в [10].

У роботах [8-9] розглянуто імітаційне моделювання ВЕУ в програмі MATLAB/SIMULINK, електричних навантажень та їхній вплив на форму мережевої напруги в автономних системах електропостачання.

Основна увага приділяється питанням, що стосуються надійності, безперебійності, стійкості, пропускної спроможності ЛЕП і зниження втрат (електроенергії, фінансових і палива).

Для всіх видів і типів генерувальних джерел відновлюваної енергії, систем електропостачання на їхній основі та систем керування режимами їхньої роботи запропоновано низку різноманітних математичних моделей, теоретичну та практичну достовірність яких всебічно обґрунтовано, перевірено експериментами та практичними дослідженнями експлуатації.

Є ціла низка комп'ютерних програм для аналізу продуктивності та надійності локальних СЕС - MatLab, SiminTech та ін. з можливістю моделювання процесів виробництва, передачі, споживання, а також різних режимів управління з урахуванням впливу на них, з можливістю моделювання процесів виробництва, передавання, споживання, а також різних режимів управління з урахуванням впливу внутрішніх і зовнішніх факторів. Ці програми дають змогу з достатнім ступенем деталізації описувати всі основні чинники,

необхідні під час аналізу надійності складних багатовузлових ЕС з урахуванням надійності генерувальної та передавальної її частин, визначенням необхідних резервів, можливих обмежень споживачів і заходів для забезпечення необхідної надійності СЕ.

Водночас слід зазначити, що в практиці проектування СЕ застосовують вельми обмежену кількість розроблених математичних моделей: здебільшого найпростіші балансові (оціночні) моделі для формування варіантів локальної СЕ і деякі моделі аналізу технічних умов її функціонування.

Однак розв'язання задач оптимізації локальної СЕ, що складається з ГЕС, накопичувача енергії та ВЕУ за жорсткого дефіциту води, не було розглянуто. Математична модель для опису цієї задачі досить складна, оскільки за математичними мірками має надзвичайно велику розмірність.

Таким чином, потрібні спеціалізовані математичні моделі аналізу окремих факторів або розв'язання окремих, але важливих проблем, пов'язаних з оптимізацією локальних СЕ. Для оцінки ефективності комбінованого використання ВДЕ в даній роботі викладається можливість використання математичної моделі.

1.2 Аналіз вітрогенератора з вертикальною віссю

Зростає усвідомлення нагальної потреби знайти альтернативу обмеженим викопним ресурсам, на яких базуються наші енергетичні та промислові системи. Безперервне зростання попиту на енергію протягом останніх десятиліть, посилене експоненціальним зростанням споживання з боку країн з економікою, що розвивається, змусило уряди та установи втрутитися, стимулюючи технологічний прогрес у галузі відновлюваної енергетики з міркувань охорони навколишнього середовища з метою уповільнення зміни клімату.

Вітроенергетика вважається однією з технологій перетворення відновлюваної енергії, яка демонструє найбільше змін за останні роки, оскільки дослідники та галузі інвестують свої знання в удосконалення та оптимізацію

систем вітрових турбін для оптимального виходу енергії та максимальної продуктивності.

Сучасні вітроенергетичні установки покладаються на складні системи моніторингу та управління, які дозволяють керувати окремими турбінами та відображати детальну інформацію про умови їх роботи. Системи диспетчерського контролю та збору даних (SCADA) встановлюють зв'язок між керівником станції та окремими вітрогенераторами, дозволяючи запускати та зупиняти виробництво електроенергії та збирати відповідну інформацію. Ця інформація зазвичай включає швидкість і напрямок вітру, робочі стани турбіни, індивідуальне виробництво електроенергії, швидкість ротора вітрогенератора, кут тангажу, внутрішні сигнали датчиків, звіти про несправності або запити на технічне обслуговування. Ці дані можуть бути віддалено доступні оператору та проаналізовані в режимі реального часу для оцінки продуктивності турбін шляхом візуалізації кривої потужності та інших параметрів, що дозволяє максимізувати виробництво електроенергії.

Метод максимального вилучення енергії вітру полягає в реалізації змінної частоти обертання ротора за рахунок використання перетворювачів потужності. Статичні перетворювачі, що використовуються як інтерфейс до електричної мережі, дозволяють працювати зі змінною швидкістю, дозволяючи контролювати отриману потужність.

Експериментальні дослідження все більше зосереджуються на вертикально-осьових вітрогенераторах (VOBE). Зважаючи на характер цього проекту, у цьому вступі основна увага приділена саме VOBE. Дослідники вважають, що конструкція VOBE може бути масштабована до більших потужностей (10 МВт) легше, ніж звичайна горизонтальні вітрогенератори (ГВЕ) особливо якщо вона спроектована на плавучій платформі в морі.

Однак до цього часу жоден з типів ГВЕ не був розроблений настільки, щоб його теоретичні переваги переважали практичні недоліки, щоб перевершити зрілу технологію ГВЕ. Той факт, що генератор розташований на основі, обмежує висоту вежі, а це означає, що частина або весь ротор має тенденцію розташовуватися близько до землі в регіоні, де вітер не такий

сильний, як на більшій висоті. Рішенням для подолання цього обмеження є встановлення BOBE на дахах будівель. Потужність, доступна в повітряному потоці, розраховується з рівняння (1.1)

$$P = \frac{1}{2} \rho A U^3 \quad (1.1)$$

Ефективність, з якою вітрогенератор може витягти присутню у вітрі потужність і перетворити її в механічну, кількісно визначається коефіцієнтом потужності C_p , залежним від відношення частоти обертання наконечника λ , і кута тангенса β , що задається формулою (1.2)

$$C_p(\lambda, \beta) = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A U^3} \quad (1.2)$$

В якості короткого зауваження доречно згадати, що проектована площа ротора BOBE розраховується як:

$$A = 2RH \quad (1.3)$$

де R — радіус ротора, а H — висота лопаті.

Швидкість накієчника λ визначається як відношення швидкості накієчника лопаті до швидкості вільного потоку вітру, що визначається за формулою 1.4

$$\lambda = \frac{\Omega R}{U} \quad (1.4)$$

C_p визначає, наскільки ефективним є відбір енергії з вітру. Оскільки C_p залежить від частоти обертання наконечника λ , то для максимізації вихідної механічної потужності існує оптимальне співвідношення між швидкістю обертання ротора і швидкістю вітру. Іншими словами, різні швидкості обертання ротора досягають максимальної ефективності при різних швидкостях вітру.

Системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) є надзвичайно важливими системами управління, які використовуються у великомасштабних

промислових інфраструктурах, таких як електричні мережі, водопостачання та електростанції.

Його функція полягає в управлінні та моніторингу промислових процесів та застосуванні інтелектуальних алгоритмів управління з метою прийняття рішень щодо роботи системи з урахуванням отриманих даних та стану різних компонентів. Важливою функцією є моніторинг сигналів тривоги в системі та застосування заходів безпеки або інформування диспетчерської про детальні умови тривоги.

Час простою турбіни, яка постійно контролюється, значно скорочується, і це сприяє більшій віддачі та кращій економічній життєздатності. Крім того, за рахунок уникнення небезпечних умов експлуатації збільшується термін служби компонентів вітрогенератора. Аналіз продуктивності може значно покращити роботу вітрових турбін та сприяти більшому виходу енергії, дозволяючи негайно вживати заходів у разі виникнення проблем із недостатньою продуктивністю

1.3. Висновок до розділу

У цьому розділі представлено локальних систем електропостачання як надійні й економічні комплекси, що забезпечують електропостачання на територіях агропромислового сектору, сезонних об'єктах сільськогосподарського та соціального призначення, невеликих населених пунктах, наразі успішно розвиваються, досягаючи в окремих країнах 10-12 % від загальної встановленої потужності

Провівши огляд було виділено наступні питання, які потрібно дослідити: Дослідити ефективність системи за допомогою тестів продуктивності. Виконати порівняльну оцінку основних показників розробленої конструкції вертикально-осьової вітроенергетичної установки карусельного типу..

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз наявних конструкцій ВЕУ багатолопастевого типу

Розв'язання задачі оптимізації енергоспоживання від локальної енергосистеми передбачає врахування необмеженої кількості різнохарактерних джерел відновлюваної електричної енергії. До числа таких джерел можна віднести малі гідроелектростанції, вітроустановки, сонячні батареї, біоустановки з накопичувачами різного типу. Кожен пристрій має мати оптимальні характеристики, що задовольняють передбачуваним умовам експлуатації та забезпечують надійне електропостачання.

Для України найбільшу ефективність дає використання СЕС і ВЕУ, оскільки вони мають найбільш високі потенціали. Не менш важливим фактором є здатність установки працювати в умовах різкого перепаду висот і температур. Вирішення зазначеної проблеми може бути досягнуто за рахунок розроблення вітроустановки з оптимальними характеристиками. Особливої актуальності розв'язання цієї задачі набуває для локальної енергосистеми з одним єдиним джерелом, що генерує. Загалом найбільший дефіцит електроенергії у віддалених районах (населених пунктах) спостерігається в зимовий період.

Як показано нижче, основними перевагами вертикально-осьової вітроенергетичної установки карусельного типу є простота конструкції, монтажу, експлуатації, можливість компонування кількох ярусів один над одним, що не потребує виділення нових ділянок, стійкість до поривів вітру та можливість адаптації до будівель і споруд при виборі останніх для монтажу.

Нині існують кілька варіантів вертикально осьових конструкцій ВЕУ багатолопастевого типу, головною відмітною ознакою яких є наявність зовнішнього контуру напрямних лопатей, що одночасно виконують роль захисного. Найбільш популярна конструкція рис. 2.1 передбачає можливість установлення кількох модулів один на одного в кілька ярусів. Аналіз наявних конструкцій вказує на необхідність розроблення багатолопастевих вітроенергетичних установок, що володіють підвищеною надійністю конструкції, що забезпечує працездатність за поривів вітру до 40 м/с.

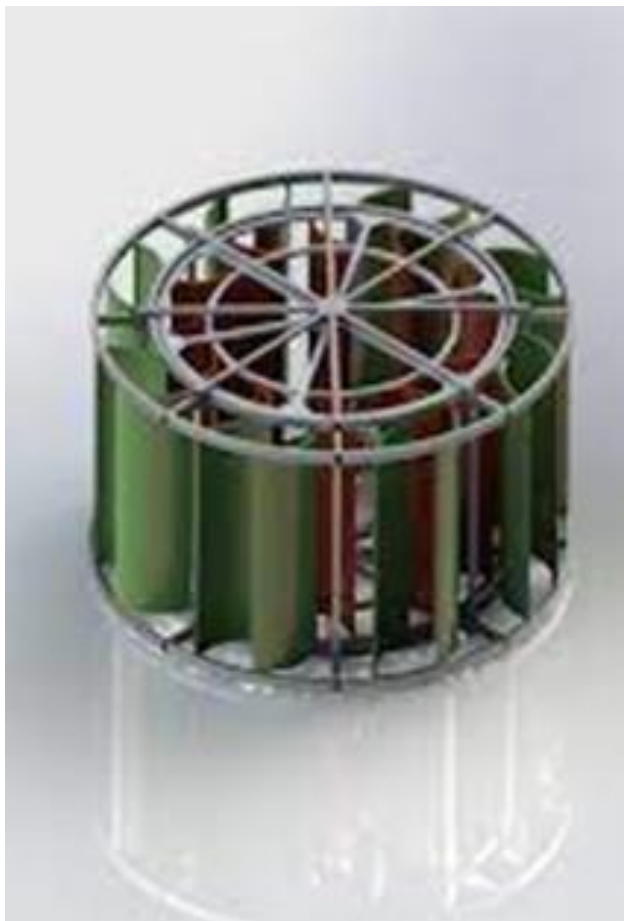


Рисунок 2.1. - Конструкція вертикально-осьової вітроенергетичної установки карусельного типу

З метою проведення аналізу продуктивності ВЕУ методом статистичного аналізу було розглянуто параметри 15 вітроустановок, що серійно випускаються, для побудови середньостатистичної енергетичної характеристики малої ВЕУ (потужністю до 10 кВт). Для яких як система регулювання потужності та частоти обертання використовується баластне навантаження. На рис. 2.2 наведено залежності потужності, що розвивається, у в.о. від швидкості вітру розглянутих ВЕУ, а також середньоарифметичні значення їхніх потужностей (чорна лінія на графіках). При цьому всі дані були розділені на два діапазони щодо розрахункової швидкості вітру.

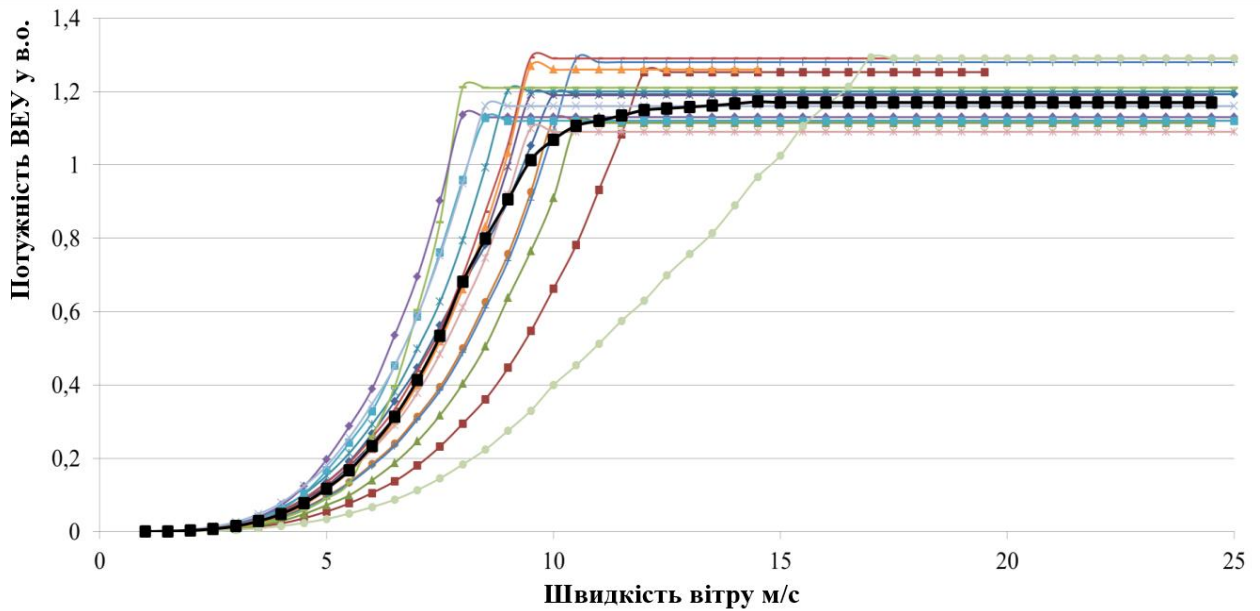
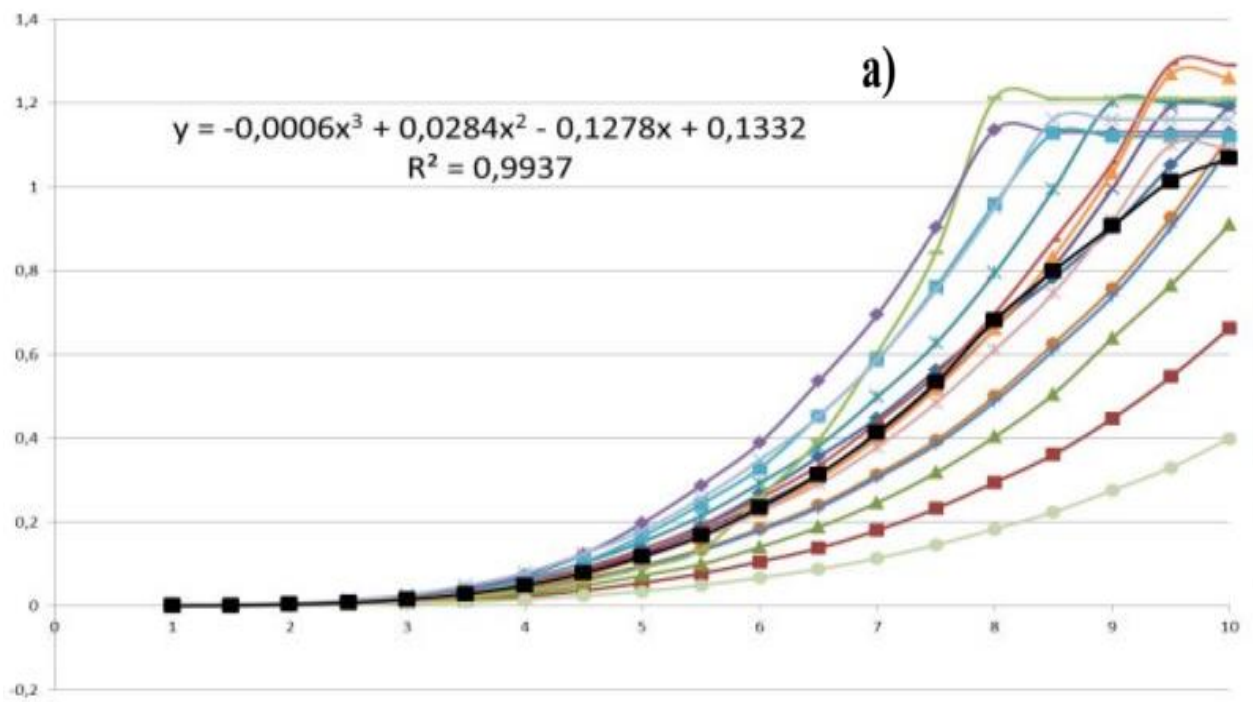


Рисунок 2.2. - Енергетичні характеристики малих ВЕУ з регулюванням потужності завдяки ввімкненню баластного навантаження паралельно мережі



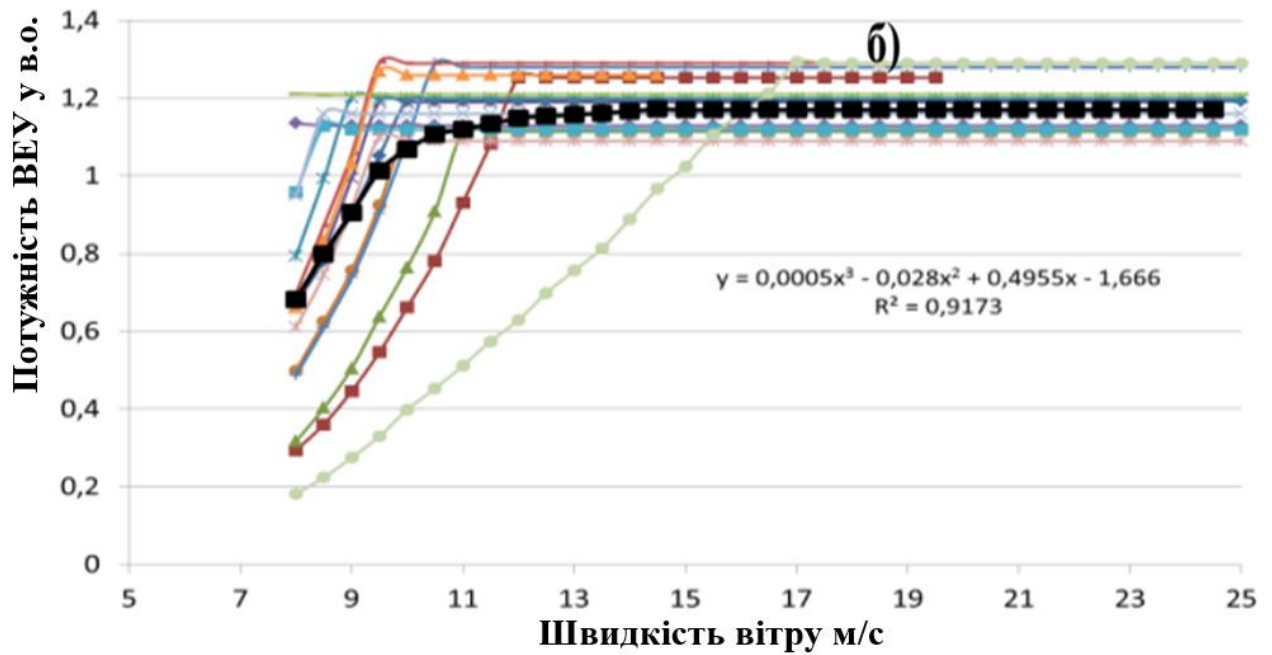


Рисунок 2.3 - Апроксимація середньостатистичної енергетичної характеристик ВЕУ у в.о.: а) - у діапазоні швидкостей вітру від мінімальних до розрахункових; б) - у діапазоні швидкостей вітру від розрахункових до максимальних

Під час аналізу отриманих енергетичних характеристик у в.о., за формулами (2.1) і (2.2) можемо визначити значення стандартного відхилення σ і коефіцієнта варіації v середньоарифметичного значення потужності розглянутих ВЕУ для кожної швидкості вітру з робочого діапазону ВЕУ з кроком 1 м/с. Результати розрахунків наведено в таблицю 2.1.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i^* - P_{cp}^*)^2}{n}} \quad (2.1)$$

де P_i^* - потужність і-ї з розглянутих під час проведення аналізу ВЕУ у в.о. (див. таблицю 2.1) за заданої швидкості вітру з робочого діапазону; P_{cp}^* - середньоарифметичне значення потужності у в.о всіх розглянутих ВЕУ за заданої швидкості вітру; n - кількість робочих характеристик ВЕУ за заданої швидкості вітру, що розглядаються.

$$v = \frac{\sigma}{P_{cp}^*} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

Таблиця 2.1- Стандартне відхилення та коефіцієнт варіації

Швидкість вітру ϑ , м/с.	Стандартне відхилення σ , в.о.	Коефіцієнт варіації v , %	Швидкість вітру ϑ , м/с.	Стандартне відхилення σ , в.о.	Коефіцієнт варіації v , %
2	0,0003	10,1	15	0,08	6,8
3	0,0001	9,4	16	0,079	6,7
4	0,004	9,3	17	0,079	6,8
5	0,01	9,6	18	0,7	6,8
6	0,02	9,4	19	0,07	6,8
7	0,04	9,9	20	0,11	9,5
8	0,073	10,7	21	0,11	9,5
9	0,07	7,7	22	0,11	9,5
10	0,59	5,6	23	0,11	9,5
11	0,047	4,2	24	0,11	9,5
12	0,039	3,4	25	0,13	15,6
13	0,031	2,7			
14	0,024	2,1			

За результатами проведеного аналізу в усьому діапазоні робочих швидкостей вітру коефіцієнт варіації середньоарифметичного значення потужності ВЕУ не перевищує 15%. Таким чином, можна зробити висновок про те, що сукупність представлених на рисунку 2.2. енергетичних характеристик розглянутих ВЕУ є однорідною. Сукупність представлених на рисунку 2.3 паспортних енергетичних характеристик ВЕУ також є однорідною, їхні середні значення для кожної швидкості вітру з робочого діапазону - надійними.

2.2 Конструкції вертикально-осьового ВЕУ багатолопастевого типу для локальних джерел електропостачання

Двоярусну конструкцію вітроколеса забезпечено дванадцятьма лопатями (по 6 лопатей на кожен ярус), кількість яких може бути змінено. Для поліпшення плавності ходу, а також для усунення непродуктивних кутів, лопаті одного ярусу відносно іншого зміщені на половину відстані між ними (рис. 2.4).

Непродуктивні кути з'являються здебільшого на установках з меншим числом лопатей і зі значним діаметром вітроколеса, У цьому разі частина

поток може протікати безперешкодно між лопатями, що призведе до низького показника коефіцієнта використання енергії вітру.

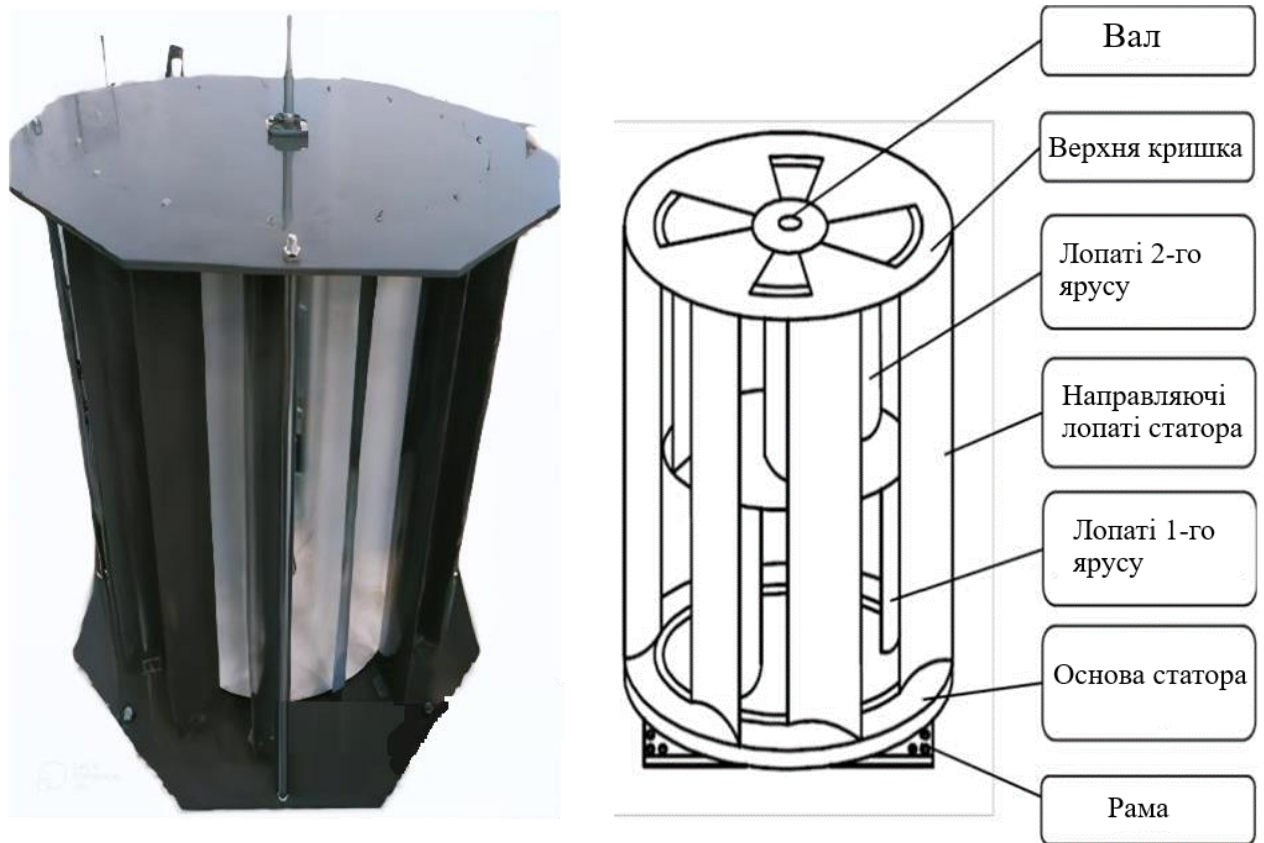


Рисунок 2.4. - Загальний вигляд конструкції двоярусної ВЕУ багатолопастевого типу

Розроблена конструкція ВЕУ має такі основні переваги:

Поділ робочого колеса на яруси знижує нерівномірність перетворення потоку через наявність непродуктивних кутів у міжлопатевих каналах, що спостерігається в одноярусних ВД.

Двоярусна конструкція ротора ВЕУ дає змогу поліпшити стартовий момент за низьких швидкостей вітру, менше ніж 2,5 м/с.

Під час поділу ротора на яруси зменшується довжина лопатей, що призводить до їхньої стійкості під час впливу відцентрової сили.

Спрощується обслуговування ротора, за необхідності можна без залучення вантажопідйомних механізмів замінити лопаті ротора.

Також розроблено конструкцію мобільного виконання, потужність якого може становити від 0,1 кВт до 10 кВт. (рис. 2.5).

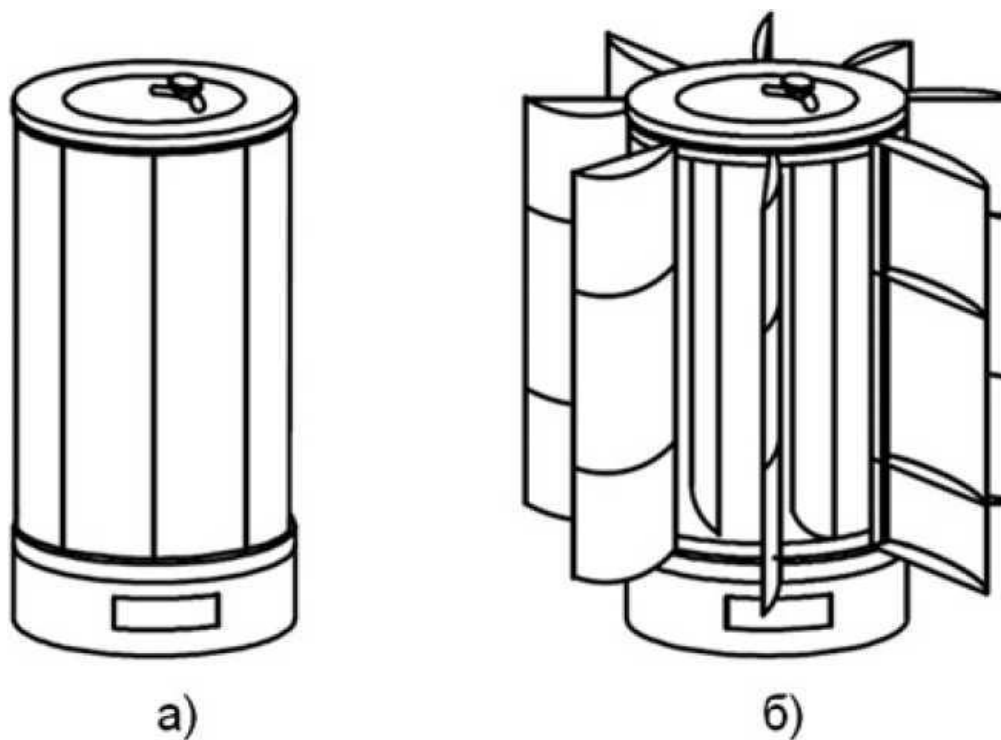


Рисунок 2.5. - Модифікована конструкція мобільної ВЕУ багатолопастевого типу: а) у транспортному положенні (напрямні лопаті згорнуті); б) у робочому положенні (напрямні лопаті розгорнуті)

Розроблена конструкція ВЕУ мобільного виконання (рисунок 2.5.) має такі основні переваги:

Конструкція вітроколеса підвищує ефективність відбору вітрової потужності (вітрової к.к.д.) до 34-37% за різних швидкостей вітру (від 1 м/сек до 15 м/сек).

У транспортному положенні корпус ВЕУ має мінімальний поперечний переріз, тому що напрямні лопатки максимально присунуті до її вертикальної осі (зменшення обсягу до 20%).

Безпека і надійність конструкції в робочому режимі під час експлуатації, а також зниження рівня шуму і відсутність низькочастотних акустичних коливань забезпечується завдяки зовнішньому контуру лопатей, що виконує роль напрямних.

2.3 Розрахункове та експериментальне дослідження енергетичних характеристик ВЕУ

Відомо, що в процесі перетворення енергії вітрового потоку в механічну енергію, основним функціональним блоком вітродвигуна є ротор із лопатями (рис. 2.6). Ефективність ротора оцінюють за значенням КВЕВ (коефіцієнта використання енергії вітру) $C_p(\xi)$. КВЕВ дорівнює відношенню енергії вітрового потоку, сприйнятої і перетвореної лопатями ВД у механічну $E_{ВД}$, до повної енергії вітрового потоку E , що впливає на ротор.

$$C_p(\xi) = \frac{E_{ВД}}{E} \quad (2.3)$$

Кількість і форма лопатей ротора може бути різною. Однак для початку обертання ротора в більшості турбін потрібно, щоб швидкість вітрового потоку становила понад 3,5 м/сек. Це пов'язано з наявністю моменту рушання M_p , спричиненим власною вагою вітроколеса, тертям на підшипниках, а також наявністю кутових положень ротора, за яких $M_{об} < M_p$, які називаються непродуктивними кутами. Якість вихідних параметрів ВЕУ безпосередньо залежить від рівномірного "ходу" вітроколеса, тобто відсутністю непродуктивних кутових положень, які призводять до нерівномірності перетворення двигуном енергії вітрового потоку - до зниження. Цей фактор нерівномірності пояснює, зокрема, нелінійність залежності $M_{об}$ від швидкості $V_{об}$, характерну для вертикально-осьових вітродвигунів, що традиційно використовуються.

Оптимальні робочі характеристики (максимальний коефіцієнт потужності та ін.) залежать від міцності ротора й окружної швидкості обертання лопатей. Міцність ротора $BOBEU$ залежить від кількості лопатей, хорди аеродинамічного профілю та радіуса ротора. Відношення швидкості кінчика лопаті є функцією кутової швидкості ω , швидкості незворушеного вітру v та радіусу ротора R називається швидкохідністю.

$$Z = \frac{\omega R}{v}$$

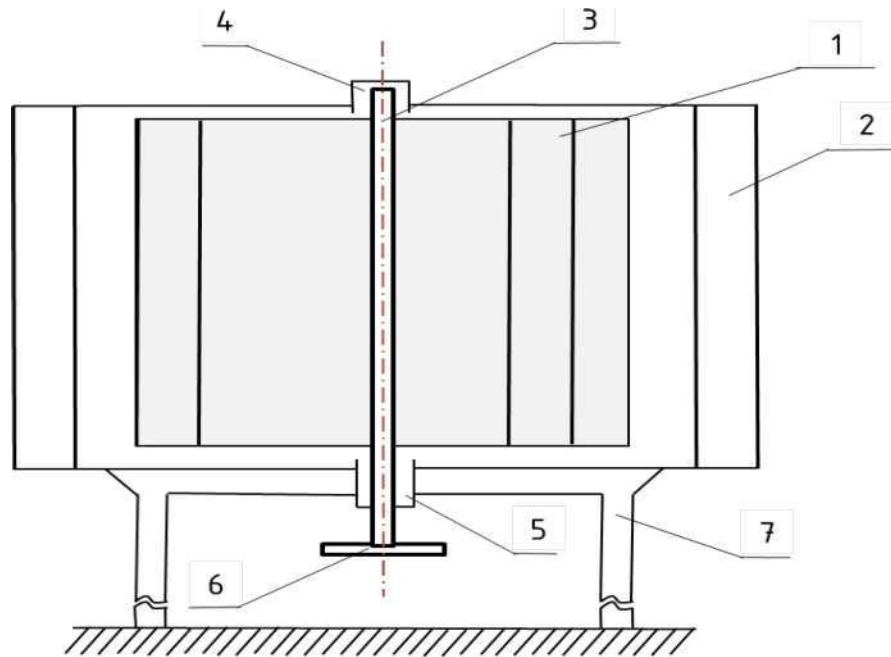


Рисунок 2.6. - Вертикально-осьовий вітроваго двигун багатолопатєвого типу 1 - ротор із лопатями; 2 - напрямляючі лопаті статора; 3 - вал; 4 - підшипниковий вузол, що центрує; 5 - опорний підшипниковий вузол; 6 - з'єднувальна муфта для передавання механічної енергії обертання електрогенератору; 7 - рама (основа)

У процесі проєктування вітроваго турбіни з вертикальною віссю вкрай важливо оптимізувати аеродинамічні характеристики лопатей і вітрокола загалом.

Для фіксованої обмінюваної площі турбіни з метою оптимізації її коефіцієнта потужності можна використовувати різні перетини профілю або ротори з різною щільністю.

Світовий досвід показує, що оптимізацію форми та розмірів лопатей доцільно проводити за допомогою математичного та комп'ютерного моделювання. Це пов'язано з тим, що проведення натурних експериментів потребує значних фінансових і часових витрат.

На рис. 2.7. наведено графіки залежності коефіцієнта потужності C_p від відношення швидкості Z залежно від щільності ротора σ для вертикально-осьової вітроваго турбіни з прямими лопатями, побудовані за допомогою алгоритмів, що ґрунтуються на теорії моделі множин трубок струму (МТС).

Крім того, на рисунку 2.7 показано залежність коефіцієнта потужності для вітрової турбіни з прямими лопатями та аеродинамічним профілем NASA 0018.

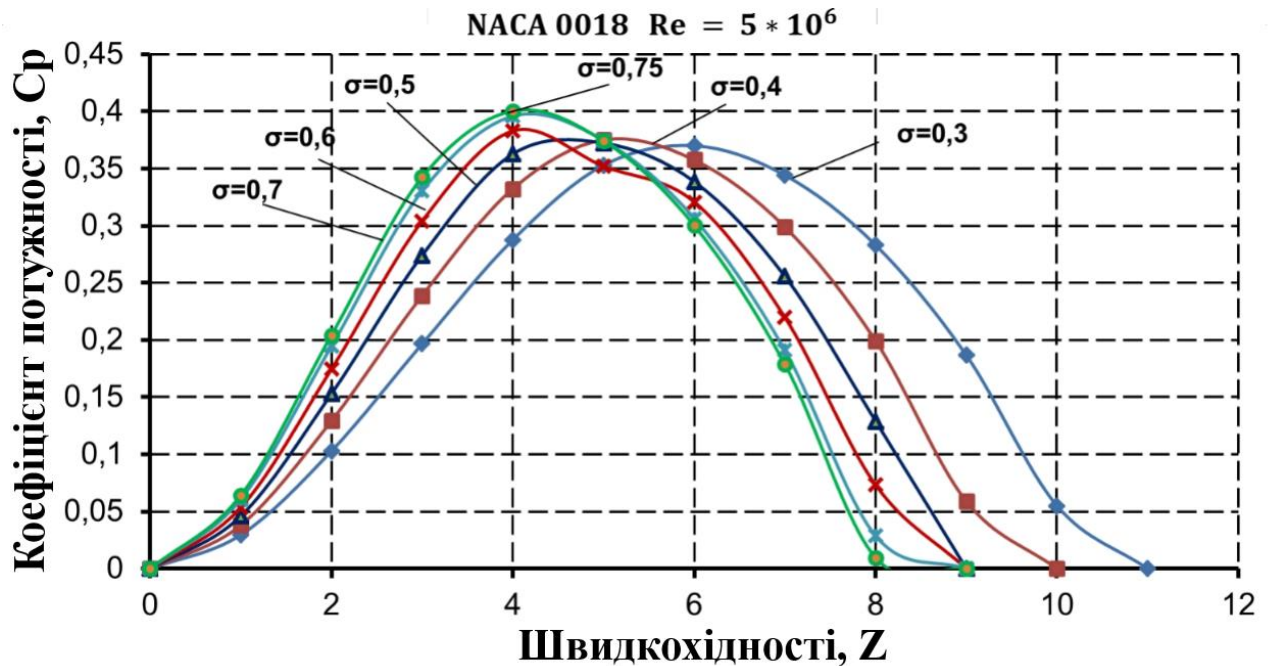


Рисунок 2.7 - Залежності коефіцієнта потужності від швидкохідності та щільності ротора

З графіка на рис.2.7 можна визначити щільність $\sigma = 0,7$, яка максимізує коефіцієнт потужності, що приймає значення $C_{pmax}=0,4$ що відповідає значенню швидкохідності $Z (\lambda) = 4,0$.

Оскільки щільність σ дорівнює:

$$\sigma = \frac{N_b c}{R} \quad (2.4)$$

то хорда c може бути виражена як функція густини, радіуса ротора R і числа лопатей N_b :

$$c = \frac{\sigma_{cpmax}}{N_b} R$$

Співвідношення сторін. У процесі проектування ВЕУ з вертикальною віссю слід враховувати, що значення коефіцієнта потужності (ККД

вітротурбіни) також залежить від вибору співвідношення сторін вітротурбіни. Зазвичай на практиці цей параметр (тобто співвідношення сторін) часто вибирають емпірично на основі досвіду розробника, а не на основі наукових міркувань. Математично потужність вітротурбіни з вертикальною віссю обертання (рис.2.8) визначається за виразом (2.5),

$$P = \frac{1}{2} \rho V_0^3 2RhC_p \quad (2.5)$$

де R - радіус вітроколеса ВЕУ, м;

h - висота вітроколеса ВЕУ, м.

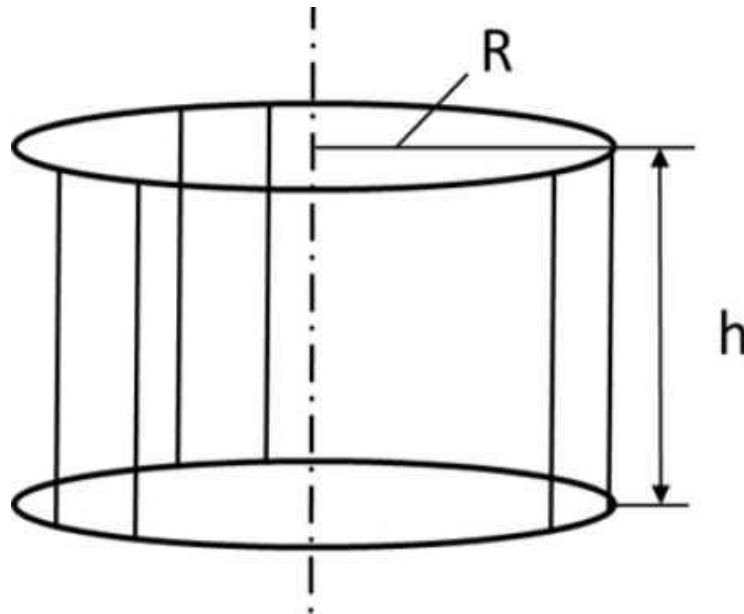


Рисунок 2.8 - Вітроколеса ВЕУ з вертикальною віссю обертання

Визначивши співвідношення сторін турбіни (AR) як відношення висоти лопаті до радіуса ротора ($AR = h / R$), радіус ротора можна отримати з формули 2.6

$$R = \sqrt{\frac{P}{\rho V_0^3 AR C_p}} \quad (2.6)$$

де потужність P і швидкість вітру V_0 є розрахунковими даними ρ - густина повітря, кг/м^3 - значення якого залежить від температури та висоти розташування над рівнем моря

Аналіз вищенаведених співвідношень показує, що радіус R збільшується при зменшенні відношення AR , що призводить до зменшення кутової швидкості обертання ω :

$$\omega = \frac{\lambda_{cp\max} V_0}{R} \quad (2.7)$$

Так, щоб максимально збільшити коефіцієнт потужності C_p , співвідношення сторін вітроколеса має бути якомога меншим. У міру зменшення співвідношення сторін досягається дві переваги: число Рейнольдса зростає і одночасно швидкість обертання зменшується. Вплив співвідношення сторін ротора на число Рейнольдса і швидкість обертання показано на рис. 2.9 для дволопатевої турбіни потужністю 1 кВт зі швидкістю вітру 10 м/с.

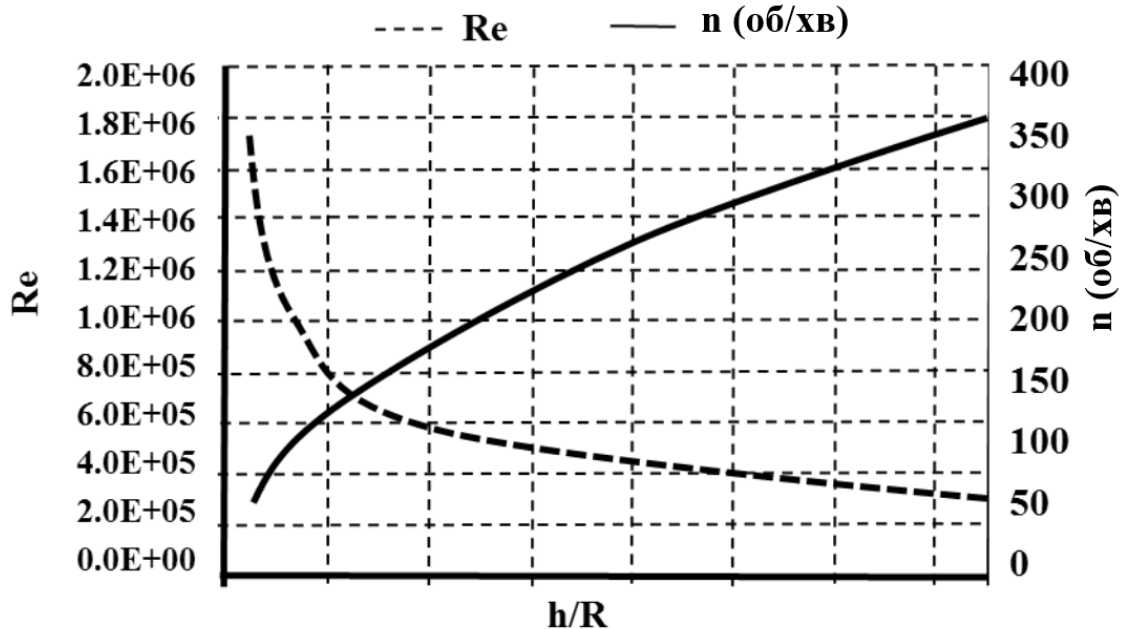


Рисунок 2.9 - Вплив співвідношення сторін ротора на число Рейнольдса і швидкість обертання показано

Аналіз прямого впливу AR на показники продуктивності $BOBEU$ карусельного типу виконано за умови припущення, що установки, які розглядаються, перевіряються в однакових експлуатаційних умовах. З рис. 2.9,

видно, що низький AR дає високе число Рейнольдса, і це може поліпшити показники вітротурбіни. Таким чином у процесі проектування конструкції, рекомендується вибір низького значення коефіцієнта співвідношення сторін AR.

Як приклад буде представлено порівняння двох вітротурбін, сконструйованих із двома різними значеннями AR ($AR=2$ і $AR=0.4$), рисунок 2.10.

Як відомо з раніше сказаного турбіна з найменшою AR матиме найбільший коефіцієнт потужності та найменшу швидкість обертання. Дана турбіна матиме ще дві переваги: по-перше, структурну (більш товсті лопаті стійкіші до збурень), а по-друге, стабільність (тобто великий момент інерції роторів).

Для простоти припустимо, що ми хочемо спроектувати ВЕУ з номінальною потужністю 1 кВт, що має шість прямих лопатей із симетричним аеродинамічним профілем (NACA 0018). Місце передбачуваної установки характеризується середньою швидкістю вітру 10 м/с. Розроблений алгоритм розрахунку наведено на рис. 2.10. Тут показано блок-схему визначення оптимального числа Рейнольдса. Під час застосування цієї методики, насамперед, передбачається, що число Рейнольдса відоме або попередньо задано, і називатимемо її: "перша спроба числа Рейнольдса".

За числа Рейнольдса, що дорівнює 5×10^6 , з графіка на рис. 2.7 визначаємо максимальне значення коефіцієнта потужності ($C_{pmax} = 0.41$) за максимальних значень коефіцієнта заповнення ротора і швидкохідності відповідно: $\sigma_{срmax}=0.7$ і $Z_{срmax} = 4.0$. Для співвідношення сторін 2 ($h/R=2$), за формулою (2.4) радіус ротора $R = 0,904$ м ($\rho=1,2$ кг/м³). Далі за наведеними формулами, отримуємо хорду $c = 0,136$ м, і швидкість обертання $n = 320$ об/хв. За необхідності нове число Рейнольдса (друга спроба) можна визначити за формулою (2.7): $Re=2.8 \cdot 10^5$

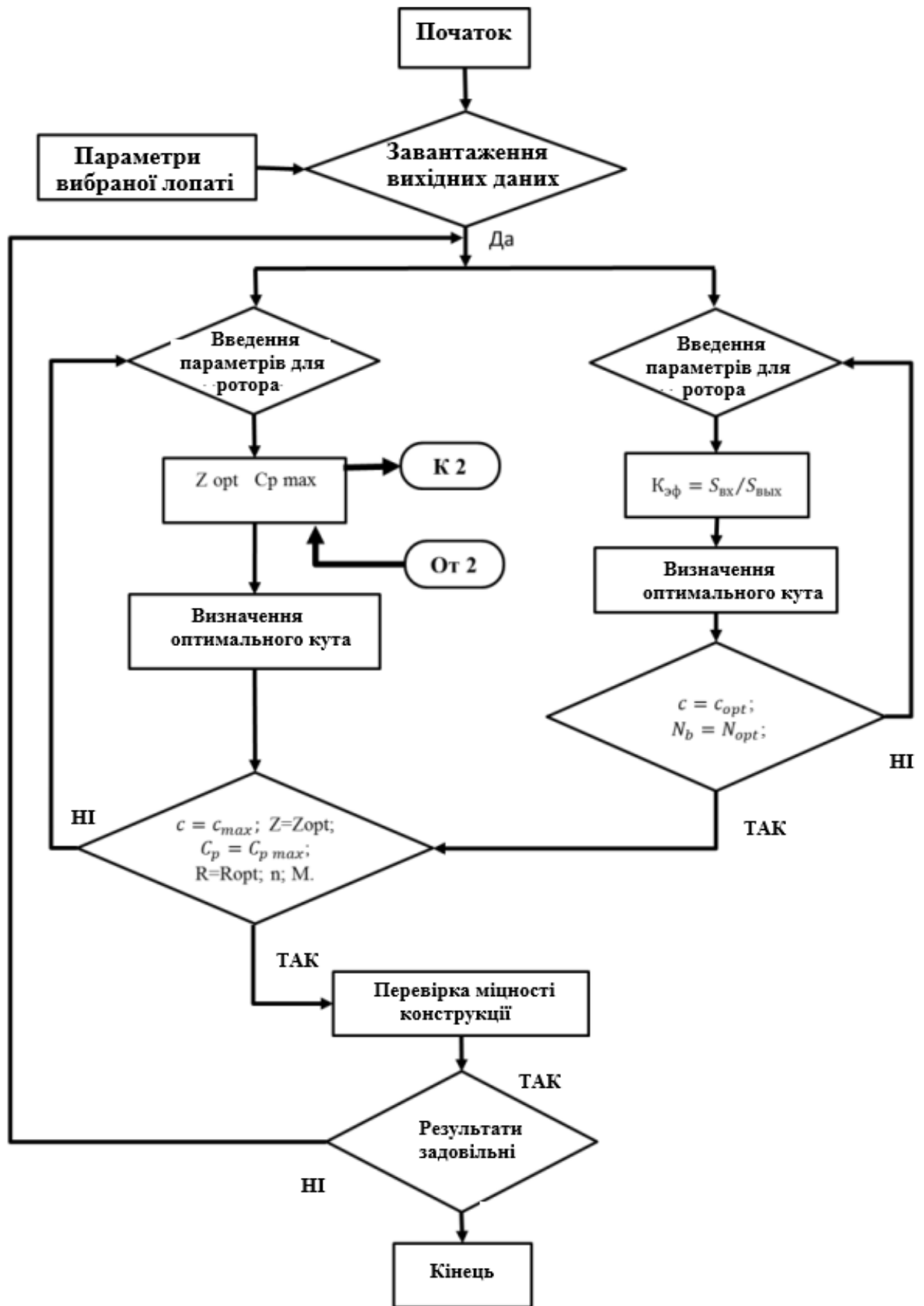


Рисунок 2.10 - Алгоритм розрахунку параметрів ВЕУ з вертикальною віссю обертання

Тепер можна процедуру проектування повторити з новим значенням числа Рейнольдса. Таке число Рейнольдса називатиметься: "друга спроба числа Рейнольдса". З урахуванням рис. 2.7, ми отримаємо нові геометричні значення для вітротурбіни. Ці значення наведено в таблиці 2.1. Процедура проектування закінчиться, тоді коли число Рейнольдса не зміниться значущим чином. Порядок і послідовність проектування переходить до чисельної збіжності тільки з двома ітераціями.

Таблиця 2.2 - Методика проектування вертикально - осьової ВЕУ з різним коефіцієнтом AR

	h/R = 2		h/R = 0,4	
	Перша спроба	Друга спроба	Перша спроба	Друга спроба
Потужність (кВ)	1	1	1	1
Профіль лопаті	NACA 0018	NACA 0018	NACA 0018	NACA 0018
Швидкість вітру, м/с	10	10	10	10
Атмосферний тиск, кг/м ³	1,2	1,2	1,2	1,2
Кінематична в'язкість повітря, м /с ²	1,46 x 10 ⁵	1,46 x 10 ⁵	1,46 x 10 ⁵	1,46 x 10 ⁵
Співвідношення сторін h/R	2	2	0,4	0,4
Кількість лопатей, шт	6	6	6	6
Перша спроба числа Рейнольдса	5x10 ⁶	2,8x10 ⁵	5x10 ⁶	6,2x10 ⁵
Радіус ротора, м	0,904	0,947	2,02	2,09
Хорда лопаті, м	0,136	0,189	0,303	0,314
Швидкість обертання, об/хв	320	301	140	135
Друга спроба числа Рейнольдса	2,8x10 ⁵	3,8x10 ⁵	6,2x10 ⁵	6,5x10 ⁵
Наступний крок	Друга ітерація	Кінець	Друга ітерація	Кінець

З даних, наведених у таблиці 2.1 для $h/R = 2$, порядок розрахунку дає коефіцієнт потужності 0,464. Повторюючи описану вище процедуру для $h/R=0,4$, отримаємо вищу ефективність: $C_{pmax} = 0,475$ (див. табл. 2.2).

На рисунок 2.11 представлено два варіанти виконання вітроколів турбін і його залежності від AR , на рис. 2.11 (а) з низькою ефективністю і на рис. 2.11 (б) з високою ефективністю.

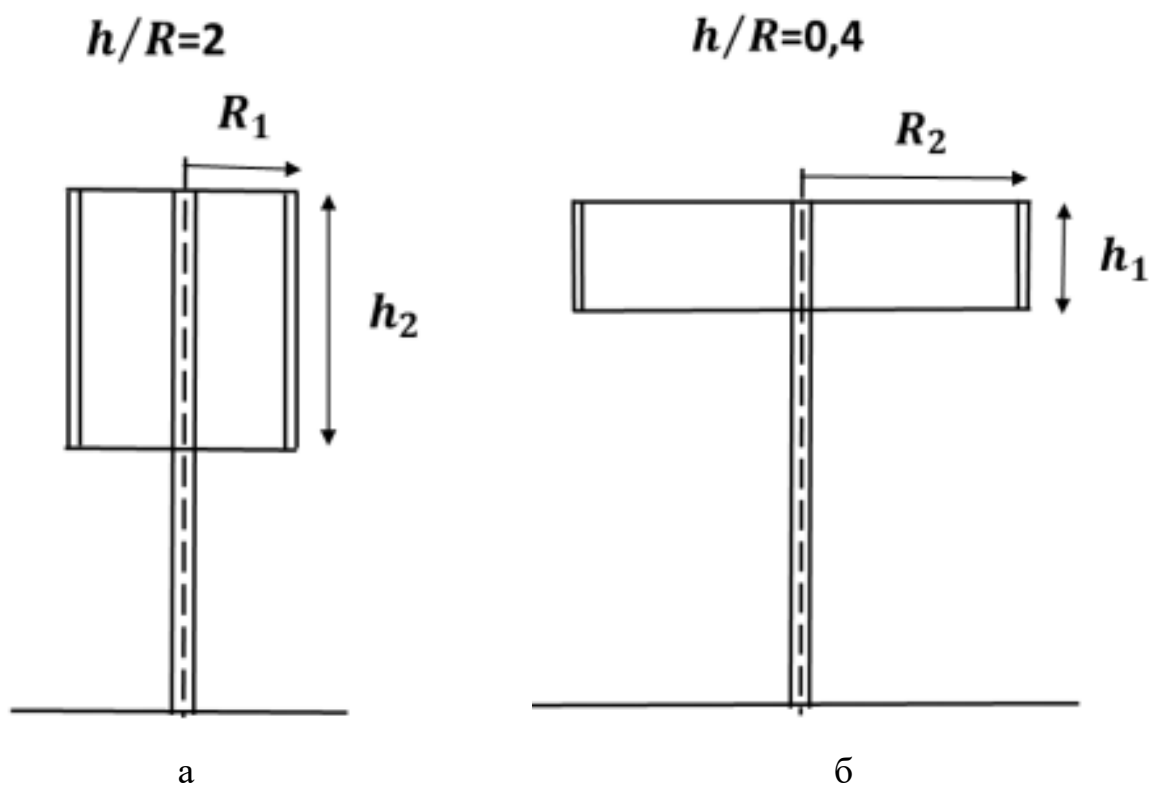


Рисунок 2.11 - Варіанти виконання вітроколів турбін і його залежності від AR : а) Низька ефективність; б) Высокая эффективность

На рис. 2.12 показано ті самі графіки, що й на рис. 2.9 але параметризований для різних потужностей турбіни. Аналіз показує, що турбіни з найбільшою потужністю мають більше число Рейнольдса і меншу швидкість обертання.

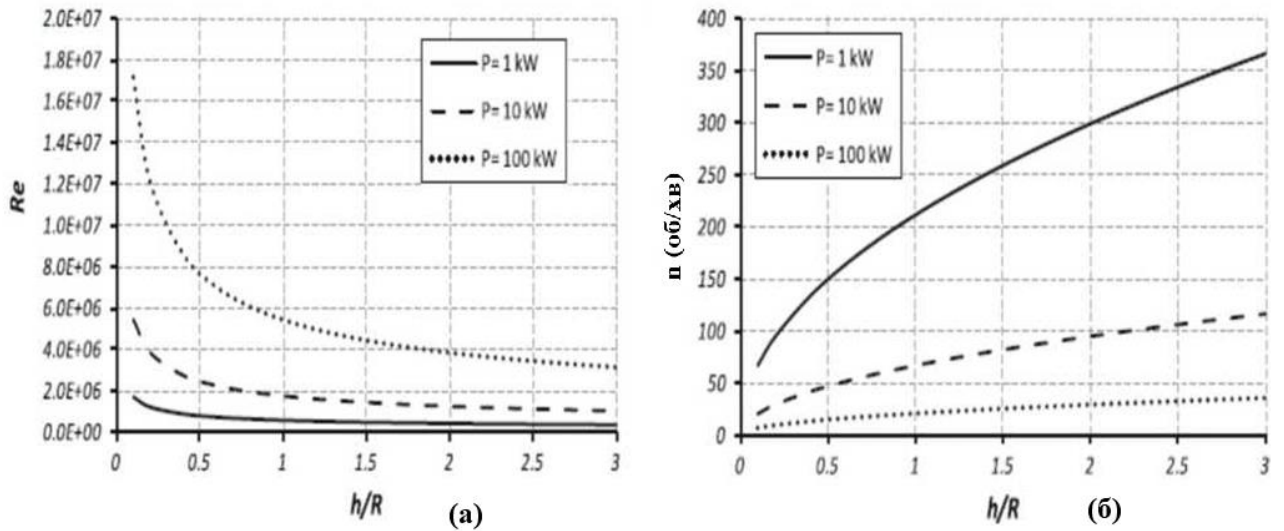
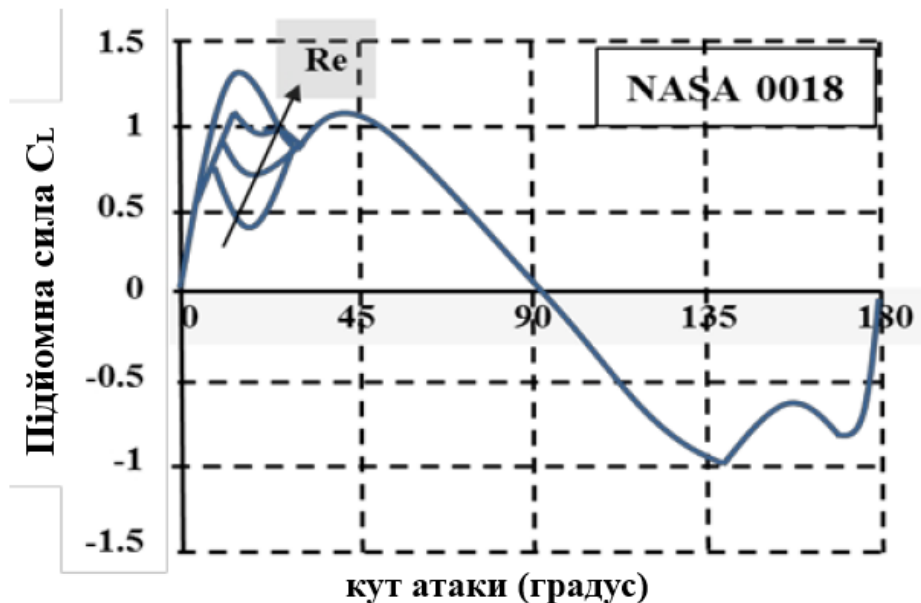


Рисунок 2.12 - Залежності числа Рейнольдса і швидкості обертання від співвідношення сторін

Звідси можна зробити висновок, що $VOBEU$ залежить від числа Рейнольдса його лопатей. Чим вище воно, тим краща продуктивність турбіни. Це відбувається тому, що зі збільшенням числа Рейнольдса підвищується коефіцієнт підйомної сили лопаті і зменшуються коефіцієнти опору (рис. 2.13a,b) у такий спосіб, що забезпечує більший обертальний момент.



(a)

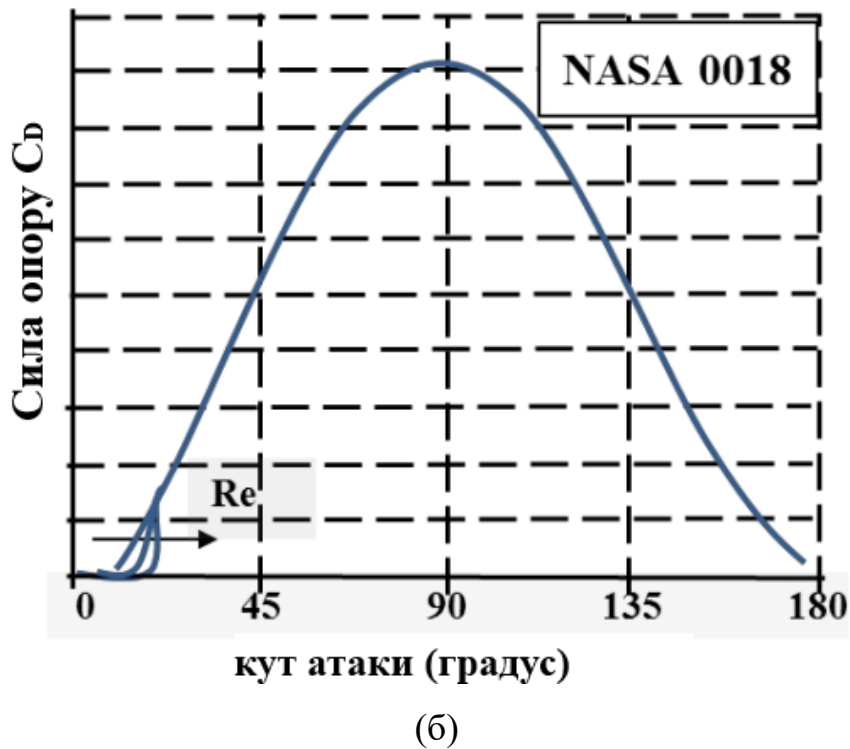


Рисунок 2.13 - Залежності коефіцієнтів підйомної сили (а) і сили опору (б) від кута атаки вітрового потоку

2.4 Імітаційне комп'ютерне моделювання роботи вертикально - осьової вітроенергетичної установки в середовищі MatLab

Останнім часом дедалі більшого поширення набули цифрові системи керування. Водночас удосконалюються й розвиваються різноманітні засоби розроблення та аналізу як математичні апарати так і мови високого рівня для математичного моделювання та чисельного аналізу.

Застосування методів імітаційного моделювання на початкових етапах проектування складних систем або конструкції та управління сприяють істотному скороченню витрат на дослідження, розробку, випробування, а також зменшенню часу розробки самого виробу.

Для досягнення підвищення ефективності процесу розроблення BOBEY обрано пакет програм MATLAB/Simulink. Для проведення дослідження в системі комп'ютерного моделювання MATLAB/Simulink створено математичну модель з урахуванням алгоритму розрахунку, розглянутого в цьому розділі. Розроблена модель відрізняється від наявної стандартної моделі в пакеті Simulink тим, що імітація різних режимів роботи BEY проводиться з

урахуванням зміни коефіцієнта співвідношення сторін (AR) вітроколеса вітротурбіни. Імітаційну математичну модель вертикально осьової ВЕУ з різними коефіцієнтом AR представлено на рисунку 2.14.

Комп'ютерна модель ВЕУ була розроблена із заданим коефіцієнтом використання енергії вітру КВЕВ і площі з можливістю зміни коефіцієнта співвідношення сторін (AR) вітроколеса вітротурбіни. Функціональна схема моделі наведена на рисунку 2.14.

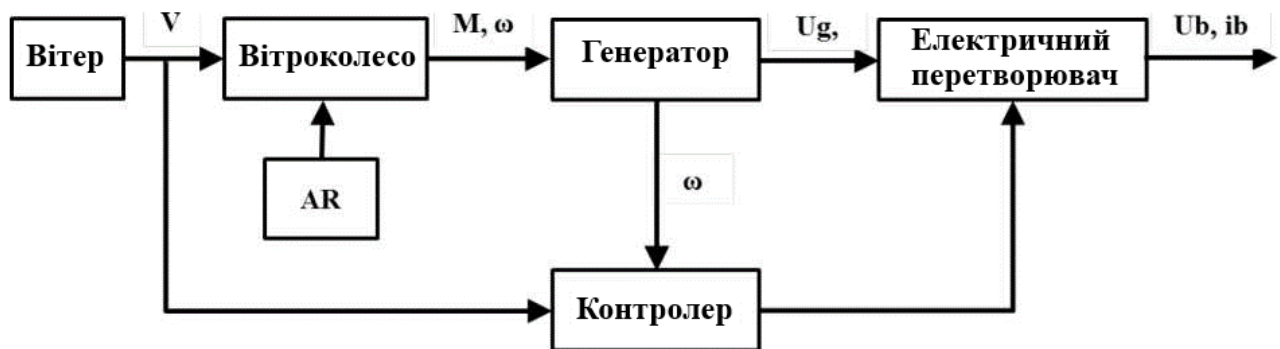


Рисунок 2.14 - Функціональна схема імітаційної моделі ВЕУ

Особливістю пропонованої моделі є модуль коефіцієнта співвідношення сторін (AR) вітроколеса вітротурбіни, що працює за заданим користувачем алгоритмом.

Метою моделювання є визначення продуктивності ВЕУ за різних зовнішніх впливів для вибору оптимального розміру конструкції під час розроблення та досліджень, а також розроблення ВЕУ для натурних випробувань у реальних умовах.

Імітаційна модель дослідження режимів роботи вертикально осьової ВЕУ, наведена на рисунку 2.15, дає змогу розглядати режими роботи в широкому діапазоні зміни швидкості вітрового потоку (від 1 м/с до 30 м/с).

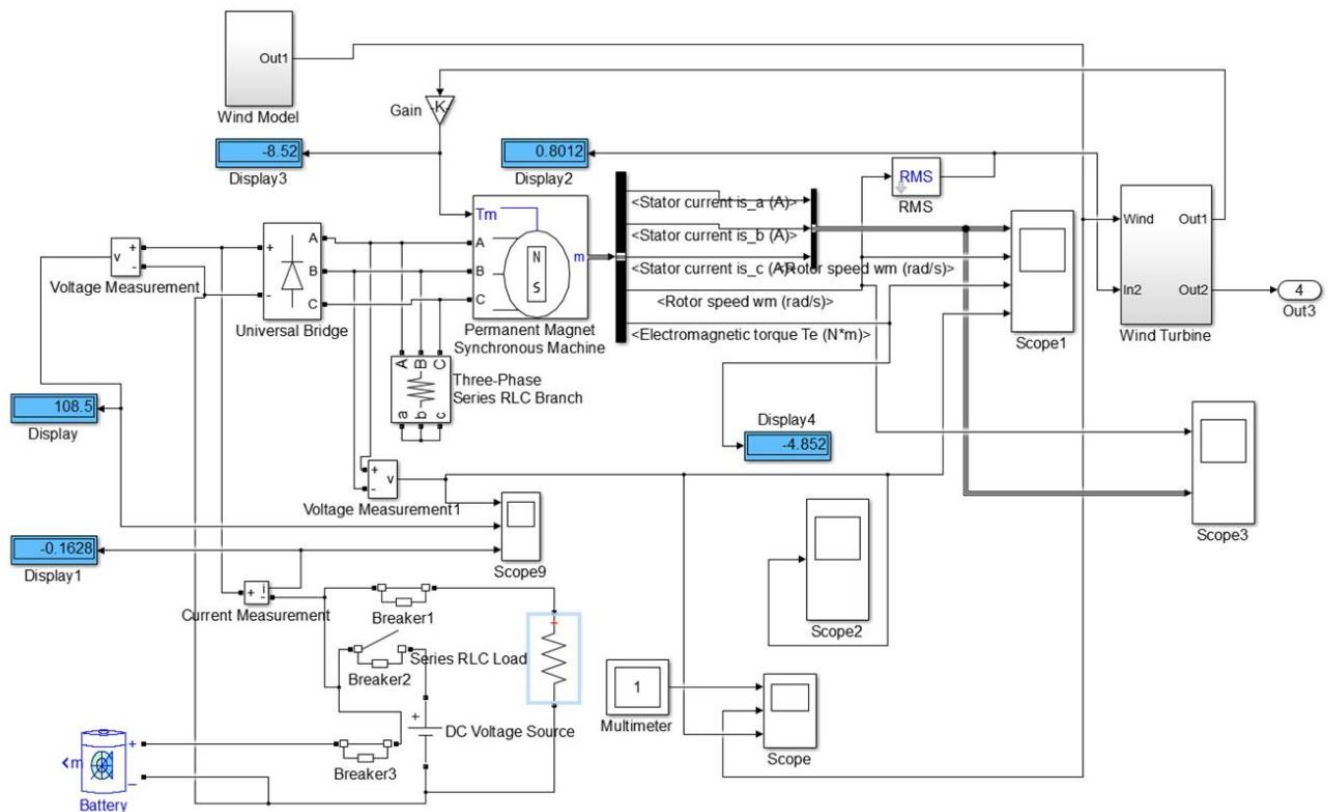


Рисунок 2.15 - Імітаційна модель вертикально - осьового БЕУ з різним коефіцієнтом AR у пакеті програм MATLAB/Simulink

2.4.1 Модель вітру як джерела енергії для БЕУ в програмному середовищі Simulink/Matlab

Моделювання вітру є невід'ємною частиною розв'язання задач щодо застосування БЕУ в електроенергетиці. Нині відомі різні варіанти моделювання вітру, які відрізняються ступенем урахування характеристик вітрового потоку. Далі для представлення результатів прийнято модель вітру, що складається з чотирьох компонентів.

$$V = V_b + V_s + V_g + V_f$$

де V_b - постійного складової, що дорівнює середньорічній швидкості вітру;

V_s - синусоїдальна складова швидкість вітру;

V_g - наростаюча складова швидкість вітру;

V_f - загасаюча складова швидкість вітру.

Прийнята модель вітру, виконана в Simulink/Matlab, і сумарний графік його швидкості наведено на рисунках 2.16, 2.17.

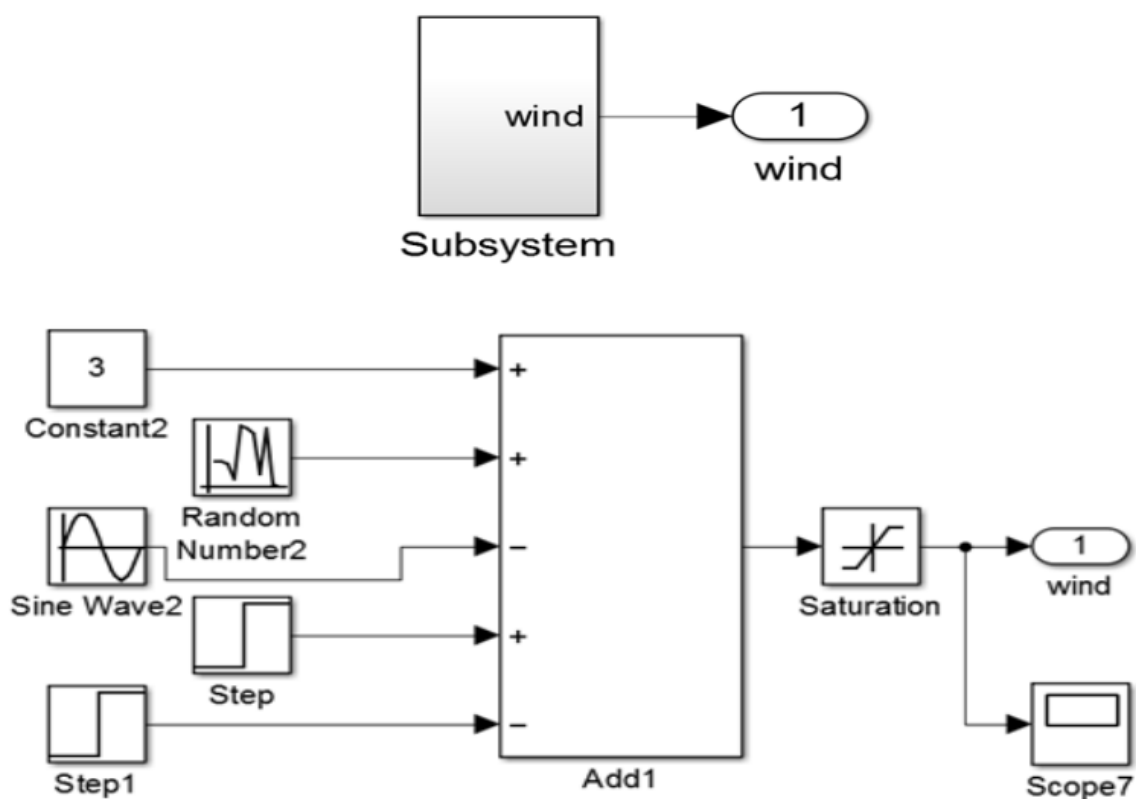


Рисунок 2.16 - Блок моделі вітру в Simulink/Matlab

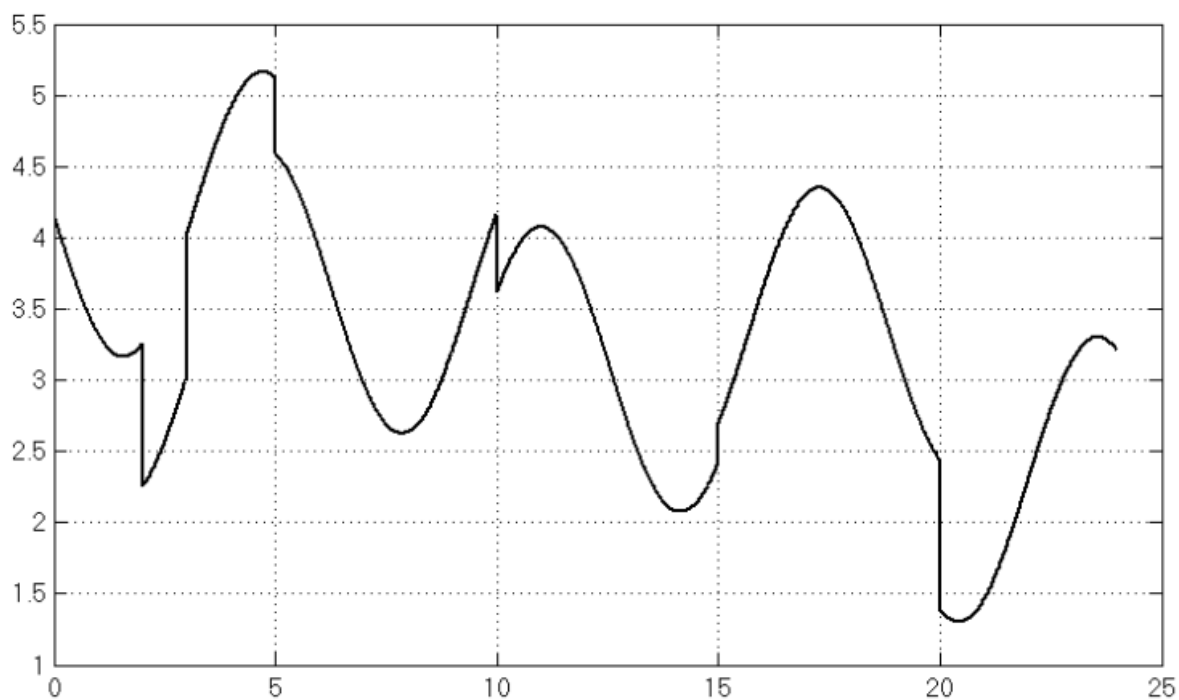


Рисунок 2.17. Добовий сумарний графік моделі швидкості вітру

2.4.2 Моделювання вітротурбіни в Simulink/Matlab.

Потужність, що розвивається вітродвигуном за заданих параметрів вітроколеса і залежно від зміни швидкості вітрового потоку, визначають згідно з виразом:

$$P_{\text{вітру}} = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho V^3 C_p(\xi) 10^{-3}$$

де $P_{\text{вітру}}$ - потужність, що розвивається вітродвигуном, кВт;

R - радіус вітроколеса, м;

ρ - густина повітря, кг/м³ (прийнята в розрахунку за нормальних умов $\rho = 1,225$ кг/м³);

v - швидкість вітрового потоку, м/с;

$C_p(\xi)$ - КВЕВ (коефіцієнт використання енергії вітру)

Математично потужність вітротурбіни з вертикальною віссю обертання визначається за виразом:

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 2Rh C_p(\xi) 10^{-3}$$

де R - радіус вітроколеса ВЕУ, м;

h - висота вітроколеса ВЕУ, м.

Практика використання вітроустановок, а також численні дослідження показують, що КВЕВ $C_p(\xi)$ визначається типом вітроколеса і не залежить від його габаритів.

Аеродинамічні характеристики вітродвигунів з вертикальною віссю обертання, отримані емпіричним шляхом, мають форму, що подана на рисунку 2.18, і можуть бути апроксимовані за допомогою двох парабол - квадратичної та кубічної.

Для апроксимації правої гілки характеристики використовується $C_p(\xi) = f(Z)$ - квадратична парабола з вершиною в точці А (рис. 2.18), яка визначає чисельні значення C_p у межах швидкохідності від нормальної Z_n до синхронної Z_0 ($Z_n < Z < Z_0$):

$$C_p = C_{p_{\max}} - \frac{C_{p_{\max}}}{(Z_0 - Z_n)^2} (Z_0 - Z_n)^2 \quad (2.8)$$

де $C_{p\max}$ - максимальний коефіцієнт використання енергії вітру.

Для лівої гілки аеродинамічної характеристики, що відповідає значенням швидкохідності $Z < Z_n$, і може бути апроксимована кубічною параболою:

$$C_p = C_{p\max} \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^2 \left[3 - 2 \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right] \quad (2.9)$$

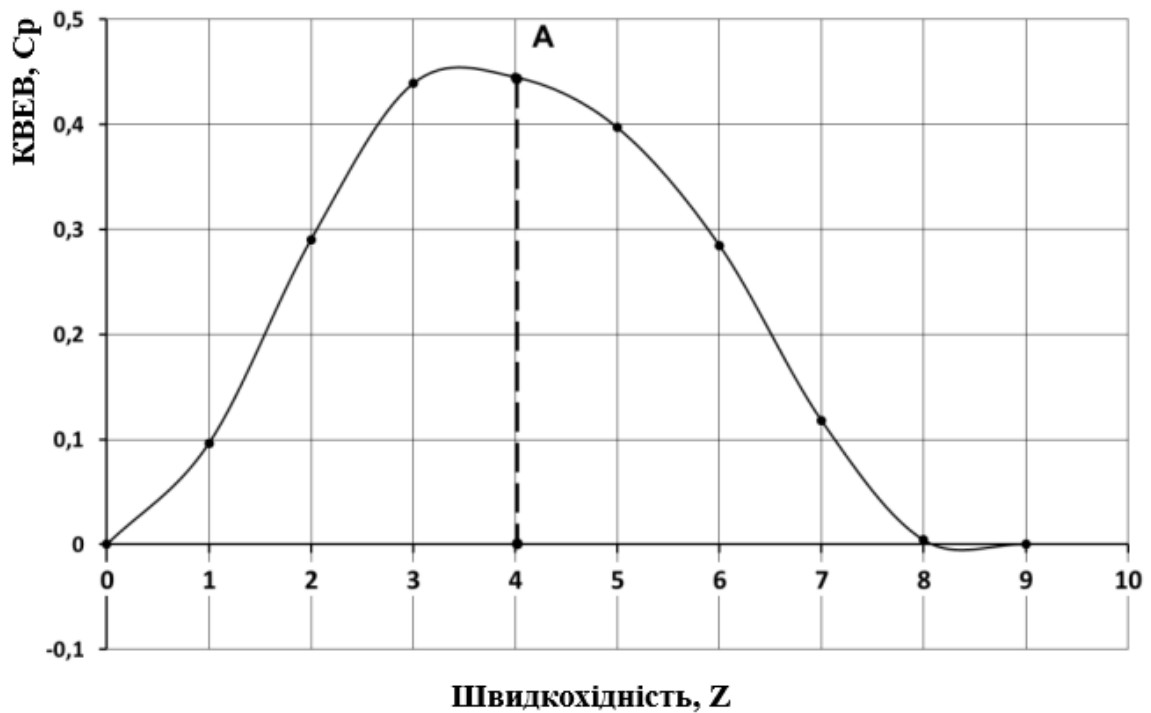


Рисунок 2.18 - Аеродинамічна характеристика вітрової турбіни (залежність КВЕВ $C_p(\xi)$ від швидкохідності Z)

Значення коефіцієнта використання енергії вітру C_p і швидкохідності Z залежать від щільності ротора σ , яке визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{N_b c}{R} \quad (2.10)$$

де N_b - кількість лопатей, шт.; c - хорда лопатей, м.

Тут, хорда c може бути виражена як функція густини, радіуса ротора R і числа лопатей N_b , за формулою:

$$c = \frac{\sigma_{cp\max}}{N_b} R \quad (2.11)$$

Частота обертання вітроколеса $n_{\text{вітр}}$ пов'язані зі швидкохідністю Z і швидкістю вітру v співвідношенням

$$n_{BEV} = \frac{30ZV}{\pi R} \quad (2.12)$$

$$\omega_{BEV} = \frac{ZV}{R} \quad (2.13)$$

де Z - швидкохідність вітроколеса (число модулів);

v - швидкість вітрового потоку, м/с;

R - радіус вітроколеса ВЕУ, м;

n_{BEV} - частота обертання вітродвигуна (вітроколеса), об/хв;

ω_{BEV} - частота обертання вітродвигуна (вітроколеса), рад/с.

Крутний момент що розвивається вітродвигуном визначається за формулою:

$$M_{BEV} = \frac{1}{2} \bar{M} \rho V_0^2 2Rh$$

де M_{BEV} - крутний момент, що розвивається вітродвигуном, Н·м;

$\bar{M}$ - аеродинамічний момент вітродвигуна у в.о;

Початковими параметрами для моделювання вітротурбіни є швидкість вітрового потоку, що подається на вхід 2, швидкість обертання вітроколеса, з'єднаного з електрогенератором, що подається на вхід 1, і значення коефіцієнта співвідношення сторін, яке подається на вхід 3 (див. рис. 2.19).

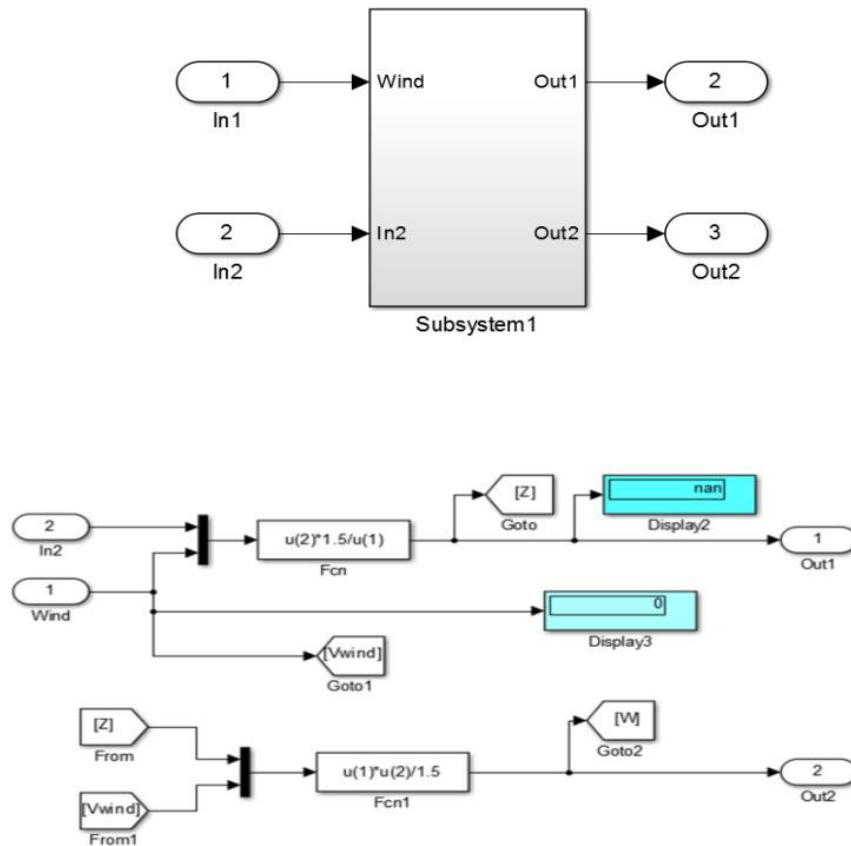


Рисунок 2.19 - Модель ВЕУ в пакеті MATLAB/Simulink

За допомогою моделі побудовано графіки, що характеризують залежність потужності вітрогенератора від частоти його обертання, для різних коефіцієнтів співвідношення сторін AR, що представлено на рисунку 2.20.

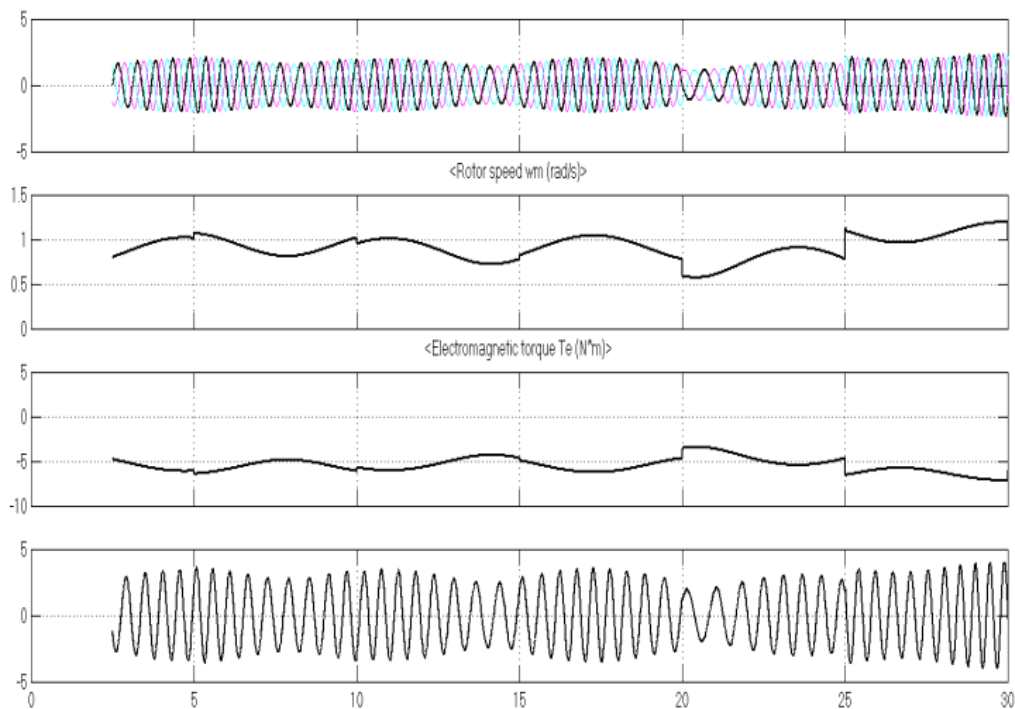


Рисунок 2.20 - Фрагмент графіка залежності потужності вітрогенератора від частоти його обертання та зміни швидкості вітру

На малюнку 3.20 наведено результат моделювання роботи вітрогенератора за співвідношення сторін AR, що дорівнює 2, і роботи на навантаження 5А.

- Верхній графік показує електричну потужність генератора на постійних магнітах.

- Другий графік зверху показує залежності швидкості обертання ротора вітрогенератора від швидкості вітрового потоку.

- Третій графік зверху показує оцінку струму навантаження за допомогою усереднення миттєвих значень потужності вітрогенератора і швидкості вітрового потоку.

- Четвертий графік зверху показує оцінку зміни якості вихідної напруги залежно від зміни швидкості вітрового потоку і швидкості обертання вітрогенератора.

Аналізуючи отримані графіки видно, що зміна швидкості вітрового потоку безпосередньо впливає на вихідних параметрів вітрогенератора і на якість електроенергії, що постачається.

Нині на практиці для ВЕУ як генератори застосовують синхронні електрогенератори з електромагнітним збудженням і синхронні генератори на постійних магнітах. Для тихохідних малопотужних вітроустановок перевагу віддають синхронним генераторам на постійних магнітах, тому що електричну схему спрощують за рахунок відсутності системи збуджень.

Пакет програми MATLAB/Simulink має блок синхронного генератора на постійних магнітах, що показано на рисунку 2.21.

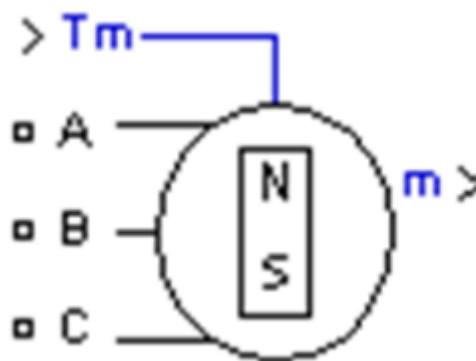


Рисунок 2.21 - Блок синхронного генератора на постійних магнітах у MATLAB/Simulink

2.4 Висновки до розділу

Одними з найефективніших конструкцій вітрових установок є вітроенергетичні генератори карусельного типу, які володіють такими перевагами, як простота конструкції, монтажу, експлуатації, можливість компонування кількох ярусів один над одним, що не вимагає виділення нових ділянок, стійкість до поривів вітру і можливість адаптації до будівель і споруд.

Розроблена конструкція вітрової установки багатолопатевого типу дає змогу поліпшити якісні характеристики вітроустановки, такі як стійкість роботи конструкції під час роботи в умовах турбулентності, забезпечення плавності ходу, стійкість під час впливу відцентрової сили, зниження нерівномірності перетворення потоку. Крім того, зростають значення таких показників, як:

- стартовий момент - на 5 %,
- коефіцієнт використання вітру - на 2 %,
- зниження витрат на обслуговування - на 15%.
- зменшити довжину лопатей - на 8 %.

Дослідження за допомогою моделювання показали, що вибір співвідношення сторін вітротурбіни з вертикальною віссю для максимального збільшення коефіцієнта потужності доцільно виконувати шляхом аналізу факторів, що впливають на число Рейнольдса, домагаючись збільшення його значення. Першочергове значення при цьому має співвідношення висоти лопаті та радіуса ротора (коефіцієнт AR).

Основними перевагами турбін з низьким коефіцієнтом AR (близько 0,4) є такі: високий коефіцієнт потужності, стійкість конструкції завдяки більш товстим лопатям (низької висоти і великої хорди), більша стабільність у роботі, що забезпечується завдяки великому моменту інерції ротора турбіни

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Стенда для випробування лопастей вертикально - осьової вітротурбіни

Вітрова енергетична установка з вертикальною віссю обертання (ВЕУ ВО) карусельного типу є одним із численних різновидів відомих і використовуваних у даний час вітроенергетичних установок. Для кожного конкретного типу конструкції необхідно з урахуванням його специфіки визначати характеристики в передбачених робочих режимах для виконання вимог, що висуваються до них. Однак на сьогоднішній момент складно знайти методику, яку можна було б застосувати до більшості типів ВЕУ ВО. З цієї причини виникає необхідність створення експериментальної установки для дослідження характеристик ВЕУ ВО карусельного типу. Визначення співвідношення сторін вітроколеса і кута установки лопатей направляючого апарату необхідне для визначення та оптимізації продуктивності ВЕУ ВО карусельного типу за рахунок підвищення його чутливості на низьких значеннях швидкостей вітрового потоку.

Існують різні методи вимірювання моменту вітроколеса, яке є частиною типових випробувань (визначення ККД, механічних характеристик), що відрізняються один від одного обсягом одержуваних показників і ступенем точності одержуваних результатів.

Проведення натурних випробуванні ВЕУ є трудомісткою роботою, що вимагає створення (або наявності) ідеальних умов, близьких до експлуатаційних. Організація таких випробувань, природно, вимагає великих капітальних і часових витрат.

У різних роботах проводяться аналітичні дослідження параметрів вітроустановок з вертикальними напівциліндричними лопатями для визначення залежності обертального моменту, потужності та ККД установки. Для адекватності отриманих результатів розроблено експериментально-демонстраційну установку. Порядок і умови проведення експерименту не

наводиться і не описується методика, за якою проводиться порівняння отриманих результатів. Слід зазначити, що пропонована методика розрахунку не може бути застосована для ВЕУ ВО карусельного типу, оскільки не враховується взаємовплив напрямних лопаток на вітроколесо турбіни.

Виробники ВЕУ ВО карусельного типу рідко публікують матеріали, де можна знайти інформацію про порядок вибору кута встановлення напрямних лопатей, а також врахування їхніх показників у різні робочі режими. У даній роботі для дослідження сил, що діють на лопаті, та передачі моменту на валу, що дає змогу підвищити ефективність роботи вітрогенератора, та вибір оптимальної конструкції розроблено стенд для випробування вертикальних лопатей.

Основним завданням стенду полягає забезпечення можливості його використання для дослідження статичних моментних характеристик лопатей вертикально-осьових вітроенергетичних установок.

Стенд забезпечує необхідну точність визначення статичних моментних характеристик і характеристик лопатей вертикально-осьових вітроенергетичних установок, врахування впливу нерухомих напрямних лопатей, оптимальних параметрів кута установки напрямних лопатей і лопатей вітроколеса.

Для оцінки ефективності конструкції вертикально-осьової ВЕУ сила, що діє на вітроколесо, визначається за формулою:

$$M = \frac{\pi R^3}{2Z} V^2 C_p(V) \quad (3.1)$$

де: M - момент на валу;

R - радіус вітроколеса;

ρ - густина повітря;

V - швидкість потоку повітря;

Z - швидкохідність вітроколеса;

$C_p(V)$ - коефіцієнт використання енергії вітру.

Коефіцієнт $C_p(V)$ залежить від форми тіла лопаті (рис.3.1).

Якщо лопать нерухома, то корисна потужність дорівнює нулю. Якщо лопать рухається зі швидкістю, що дорівнює швидкості потоку, то вона не відчуває тиску вітру і потужність теж дорівнює нулю. Швидкість обертання вітроустановки з вертикальною віссю менша як наслідок втрати потужності, тому що потужність дорівнює добутку сили на швидкість ($N = F \cdot V^3$)

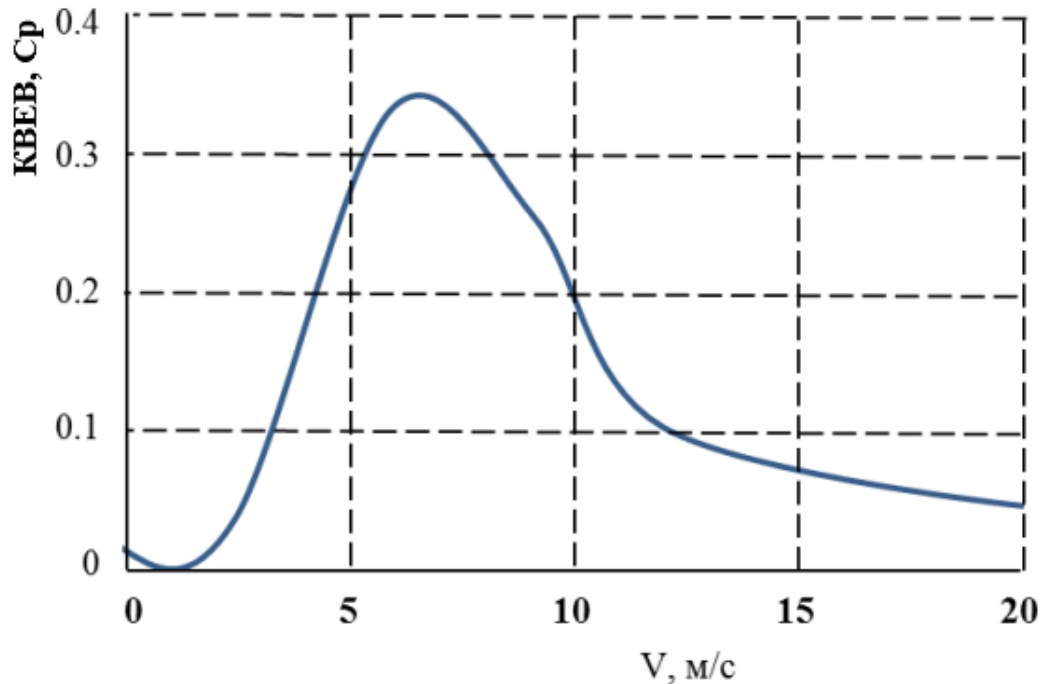


Рисунок 3.1 - Залежність коефіцієнта використання енергії вітру від вітрового потоку $C_p(V)$

Характеристики вітротурбіни залежать не тільки від діаметра вітроколеса (рис. 3.2), а й від форми лопатей. Чим лопать ширша, тим чутливішою стає конструкція до слабкого потоку. Але така лопать потребує більшої енергії на обертання навколо своєї осі, посилення механізму обертання. Вузька лопать має кращу аеродинаміку, дає змогу спростити механізм обертання навколо своєї осі, потребує меншої енергії на обертання. Вузькі лопаті більш ефективно використовують підйомну силу вітру, що в сукупності, з вищезазначеним призводить до збільшення (наростання) швидкості обертання вітротурбіни і як наслідок до збільшення потужності.

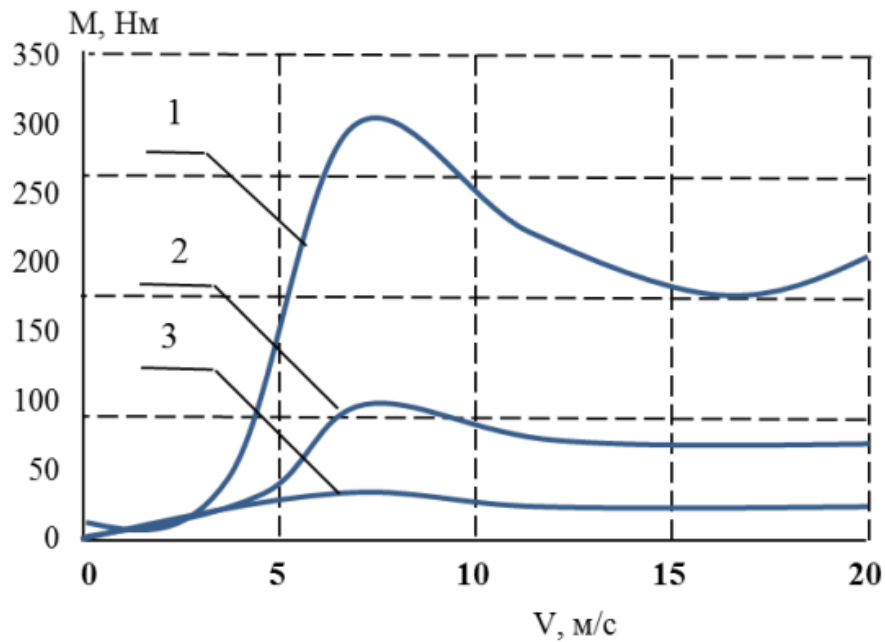


Рисунок 3.2 - Момент на валу вітроколеса залежно від швидкості вітру: 1 - для діаметра вітроколеса 7м; 2 - для діаметра вітроколеса 5м; 3 - для діаметра вітроколеса 3 м.

Механічні характеристики вітротурбін можна представити як функціональні залежності вихідної механічної потужності P_m і моменту M_m від швидкості обертання вітроколеса n за різних швидкостей вітрового потоку V . Ці параметри дають змогу проводити дослідження її робочих режимів у статиці. Доповнивши їх рівнянням руху вітроколеса, отримуємо повну динамічну модель вітротурбіни, математичний запис якої можна подати в такому вигляді:

$$P_m = f(V, n); M_m = \frac{P_m}{\omega}; J \frac{d\omega}{dt} = M_m - M_{ген} \quad (3.2)$$

де ω - кутова частота обертання вітроколеса;

J - момент інерції вітродвигуна;

$M_{ген}$ - механічний момент вітрогенератора.

Для дослідження вертикально осьових вітротурбін на кафедрі електричної інженерії розроблено стенд з вимірювання моменту обертання ($M_{об}$) лопатей вітротурбіни, спрощену схему якого наведено на рис. 3.3. Стенд складається з платформи (1), на якій розміщується досліджувана лопать або

конфігурація лопатей (3). Лопаті спрямовувального апарата за необхідності можуть кріпитися в спеціально передбаченому місці на платформі. Платформи, де кріпляться досліджувані лопаті, мають можливість дискретно змінювати кут установки. Вимірювання значенні відбуватиметься в такому порядку: під дією вітрового потоку створюється обертальний момент лопаті ($M_{об}$) відносно осі обертання (2), що діє та (розтягує або стискає пружину). Динамометр, який забезпечений вимірювальною лінійкою (6), встановлений у кінці пружини, фіксує значення моменту на валу.

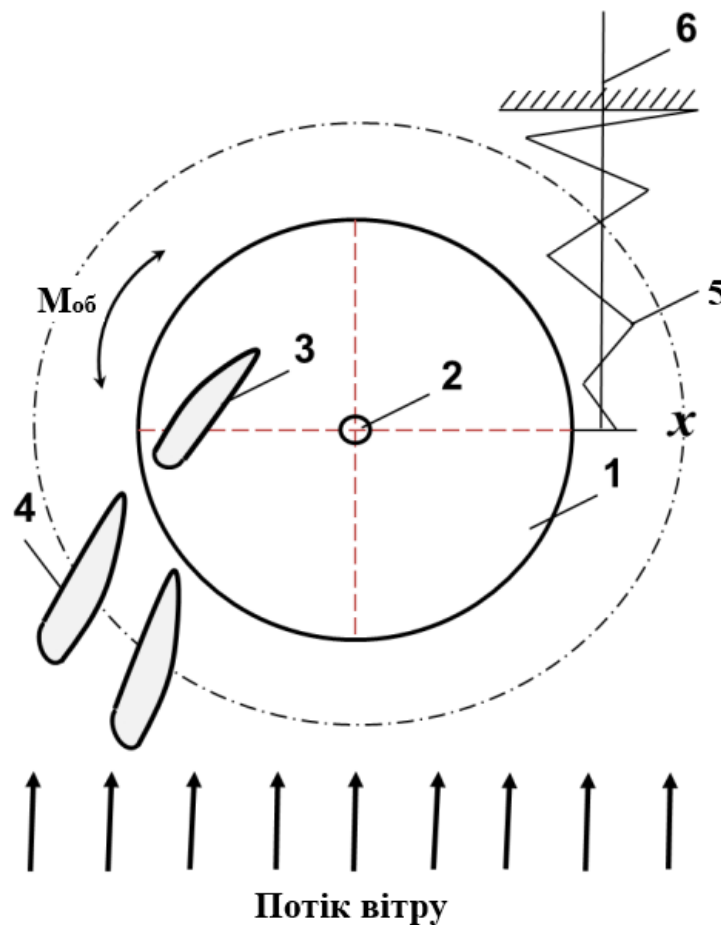


Рисунок 3.3 - Спрощена схема експериментального стенда для дослідження основних характеристик і визначення $M_{об}$ лопаті вертикальної вітрогенераторної установки: 1 - платформа; 2 - вісь обертання; 3 - досліджувана лопать; 4 - лопаті спрямовуючого апарату; 5 - пружина динамометра; 6 - вимірювач

Стенд дає змогу моделювати і досліджувати механічні характеристики вітрогенераторної установки за заданих швидкостей вітру і хорд досліджуваних зразків

лопате́й. Природно при моделюванні та дослідженні процесів взаємодії лопате́й з вітровим потоком в даному стенді враховуються критерії подібності, так як натурне випробування дає можливість всебічного вивчення всіх факторів взаємодії.

Проте для скорочення трудовитрат і фінансових коштів застосування стаціонарного методу дослідження лопате́й дає змогу підібрати найбільш ефективні типи лопате́й для конкретних випадків і типорозмірів турбін.

Як приклад було досліджено три зразки лопате́й з довжинами хорд: $c_1=6$ см; $c_2 = 9$ см; $c_3 = 11$ см. За отриманими даними було визначено момент на валу M , використовуючи формулу (3.3).

$$M = F \cdot l \quad (3.3)$$

де F - сила тяги вітру;

l - плече.

Розрахунки і побудови механічних характеристик відображені у таблиці 3.1 і рисунок 3.4 відповідно.

Таблиця 3.1 - Значення механічних характеристик лопате́й з довжинами хорд: M_1 ($c_1=6$ см); M_2 ($c_2 = 9$ см); M_3 ($c_3 = 11$ см)

Швидкість, вітру V , м/с	Момент на валу, Н*м		
	M_1	M_2	M_3
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0,02254	0,0147	0,01323
4	0,03381	0,0294	0,02646
5	0,050715	0,0392	0,03969
6	0,06762	0,049	0,055125
7	0,107065	0,0833	0,0882
8	0,1324225	0,0882	0,11466
9	0,163415	0,1127	0,14994
10	0,1831375	0,1372	0,17199

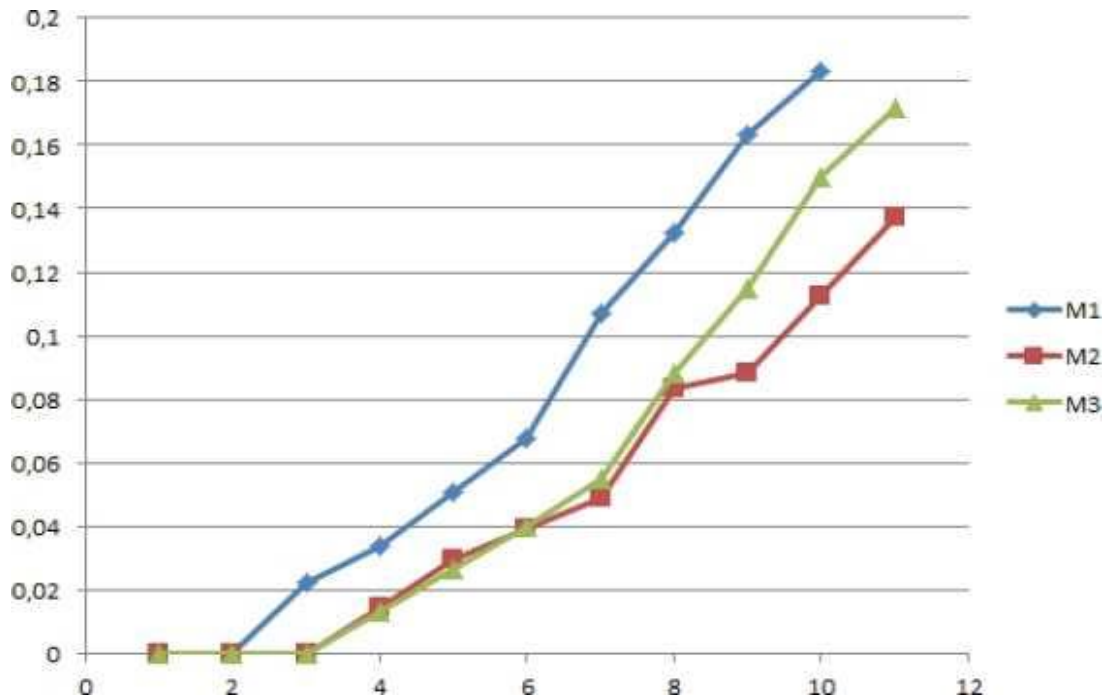


Рисунок 3.4 - Графіки залежності моменту на валу M від ширини лопаті

Крім моделювання моменту на валу, використовуваний стенд також дає змогу дослідити такі характеристики, як потужність, яку розвиває вітроколесо РК і його швидкохідність Z .

$$P_K = \rho_e V^3 \frac{\pi R^2}{2} C_p \quad (3.4)$$

де ρ_e - густина повітря за нормальних умов;

R - радіус вітроколеса;

V - швидкість вітру;

C_p - коефіцієнт використання енергії вітру (для реальних вітродвигунів

$C_p = 0,1 - 0,5$).

$$Z = \frac{\omega R}{V} \quad (3.5)$$

де ω - кутова швидкість обертання вітроколеса.

Таким чином, розроблений стенд дає змогу проводити широкий спектр досліджень з оптимізації конструктивних і геометричних особливостей модельованих вітродвигунів, що вигідно відрізняє його від відомих аналогів.

3.2 Експериментальні дослідження роботи вертикально осьової вітроенергетичної установки карусельного типу

Для підтвердження теоретичних результатів було розроблено та виготовлено ВЕУ багатолопатевого типу потужністю 3 кВт. Потужність обрано з міркувань того, що протягом місяця ВЕУ може виробити електроенергії в обсязі 300-500 кВт*год на місяць, достатньої для забезпечення енергією сім'ї з чотирьох осіб.

Щоб перевірити адекватність розробленої комп'ютерної моделі, на базі діючого об'єкта було створено локальну електроенергетичну систему. Для цього було виготовлено ВЕУ карусельного типу діаметром вітроколеса - 2,4 м, з електрогенератором на постійних магнітах потужністю 5 кВт, вихідна напруга 48 В за швидкості обертання 180 об/хв.

Для виключення впливу близько розташованих перешкод на величину однорідності повітряного потоку ВЕУ встановлено на даху (рис.3.5, а). Висота від даху до осі ВЕУ становить 2 метри, а загальна висота від поверхні землі становить 7 м. Також встановлено десять фотоелектричних панелей (ФЕП) загальною потужністю 2,5 кВт, орієнтованих на Південь під кутом 43 градуси.

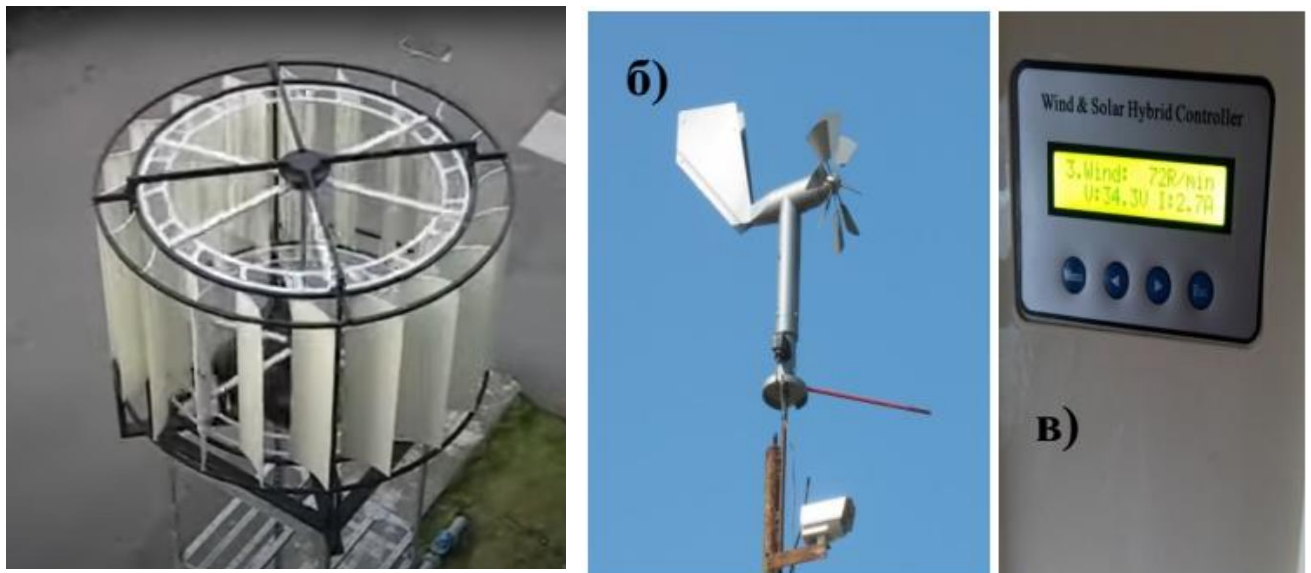


Рисунок 3.5 - ВЕУ багатолопатевого типу встановлений на даху: а - загальний вигляд розташування; б - датчик швидкості та напрямку вітру; в - гібридний контролер

Для зняття метеоданих на експериментальній ділянці організовано постійне спостереження і встановлено вимірювальні датчики. З метою отримання статистичних даних про швидкість і напрямок вітрового потоку на ділянці встановлено датчик вітру, для реєстрації метеоданих рис. 3.5,б. Крім реєстрації величин напрямку і швидкості вітру також ведеться постійне спостереження, накопичення і передача даних про змінах температури та сонячної радіації. Для забезпечення цілорічної реєстрації даних, а також зниження впливу зовнішніх чинників основне обладнання системи накопичення і передавання даних розміщене в спеціальній "термоізолювальній" шафі. Вміст шафи з позначеннями розміщених у ній компонентів системи подано на рис.3.6



Рисунок 3.6 - Компоненти системи управління, реєстрації та передачі даних: 1 - електронний реєстратор даних, 2 і 3 - контролери заряду АКБ ФЕМ, 4 і 5 - АКБ, 6 - вимірювальна плата, 7 - запобіжні автомати, 8 - мережевий комутатор, 9 - роутер із підтримкою 3G. модему, 10 - пристрій узгодження сигналу датчика вітру, 11 - блок безперебійного живлення, 12 - диск; 13 – 3G. модем; 14 - блок живлення пристрою узгодження сигналу датчика вітру.

Для забезпечення віддаленого доступу до системи збору даних і передавання накопиченої інформації на централізований сервер здійснено

під'єднання системи до мережі Internet через web-сервер з обмеженою кількістю користувачів (вхід за логіном/паролем).

Спрощену схему проведення вимірювання та підключення основних компонентів електротехнічного комплексу представлено на рисунку 3.7.

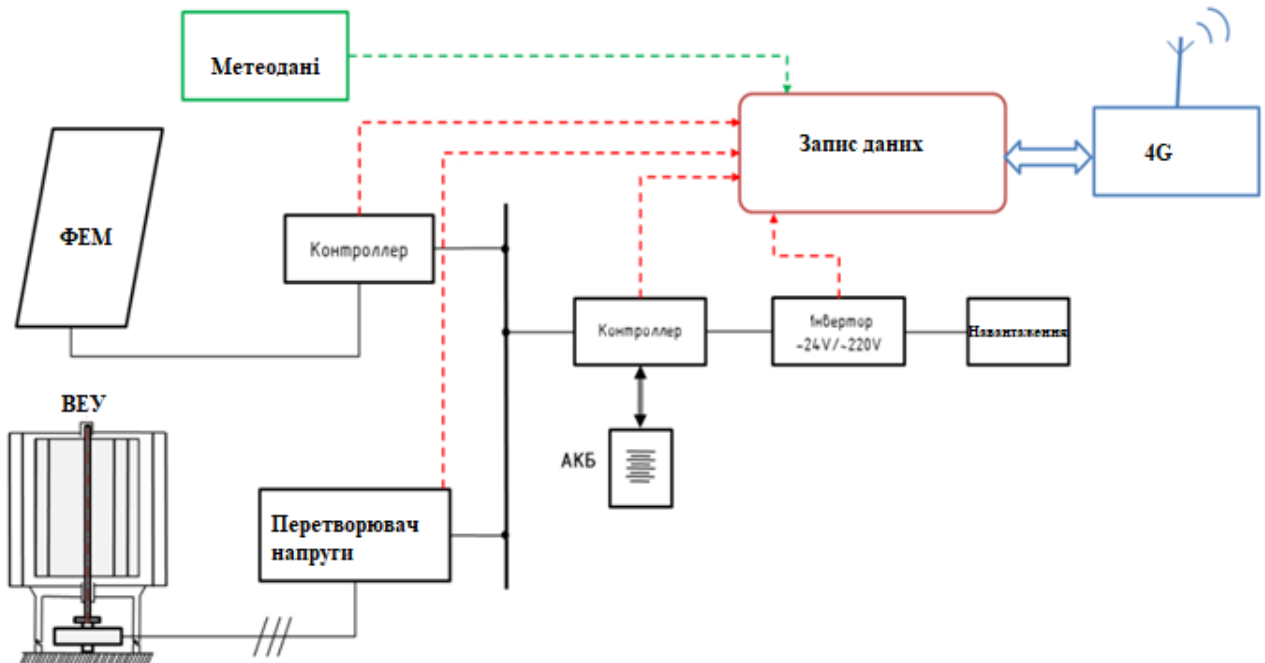


Рисунок 3.7 - Спрощена схема проведення вимірювання та підключення основних компонентів електротехнічного комплексу

Чорним кольором позначені силові компоненти, червоним - компоненти системи реєстрації даних, синім - комунікаційної системи, зеленим - системи реєстрації метеоданих. Також у системі використовуються датчики температури (на рисунку не показані) для реєстрації температури задніх поверхонь ФЕМ і навколишнього середовища.

На рисунку 3.8 представлено графік порівняння експериментальних даних з середньостатистичними даними зміни вихідної потужності ВЕУ у в.о від зміни швидкості вітру

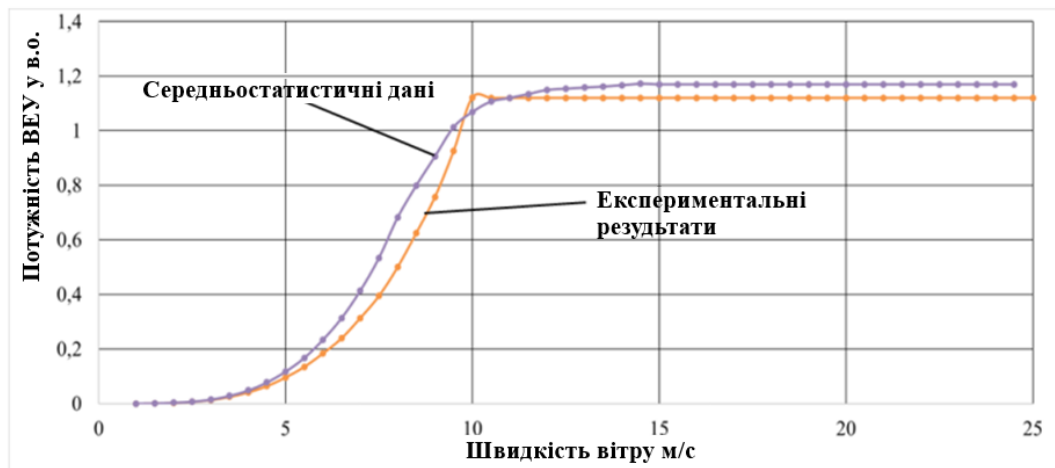


Рисунок 3.8 - Графік порівняння експериментальних даних з середньостатистичними даними зміни вихідної потужності ВЕУ у в.о від зміни швидкості вітру

Аналіз отриманих даних на вході експерименту дозволили отримати залежності вихідної потужності ВО ВЕУ карусельного типу від зміни швидкості вітру при зміні потужності навантаження P_{load} . Як навантаження (постійно заданого) $P_{const.}$ використовували акумулятори свинцево-кислотні (необслуговувані) загальною місткістю 450 А.год, а як варіативну частину $P_{var.}$ використовували систему освітлення об'єкта потужністю 2 кВт. Для системи освітлення об'єкта передбачено можливість перемикання на резервне джерело живлення через АВР (спрацювання відбуватиметься при отриманні відповідного сигналу) див. на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 - Схема перемикання на резервне джерело живлення через АВР: ліворуч - показано АКБ і контролери ВЕУ та ФЕП; праворуч – АВР

Отримання залежності на вході експериментального дослідження наведено на рисунку 3.10, які можна порівнювати з осцилограмами отриманих на вході імітаційного комп'ютерного моделювання (див. рис. 3.10).

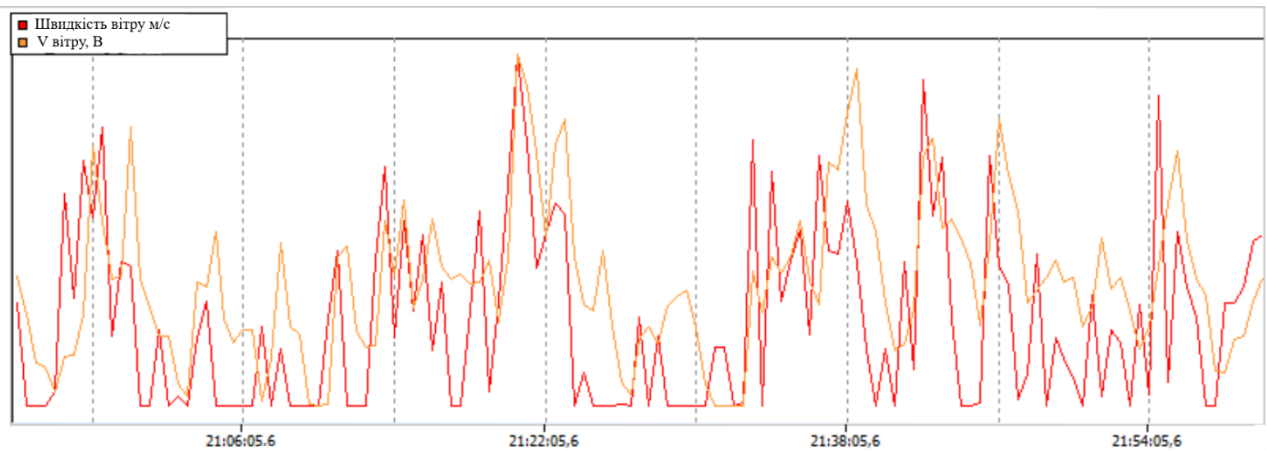


Рисунок 3.10 - Осцилограма залежності вихідної потужності ВО ВЕУ карусельного типу від зміни швидкості вітру при зміні потужності навантаження P_{load}

Отримані залежність розвиненої потужності ВО ВЕУ карусельного типу за різних значень P_{load} зображено на рисунку 3.11. Під час порівняння отриманих результатів імітаційного комп'ютерного моделювання з експериментальними даними їхня збіжність склала 92%.

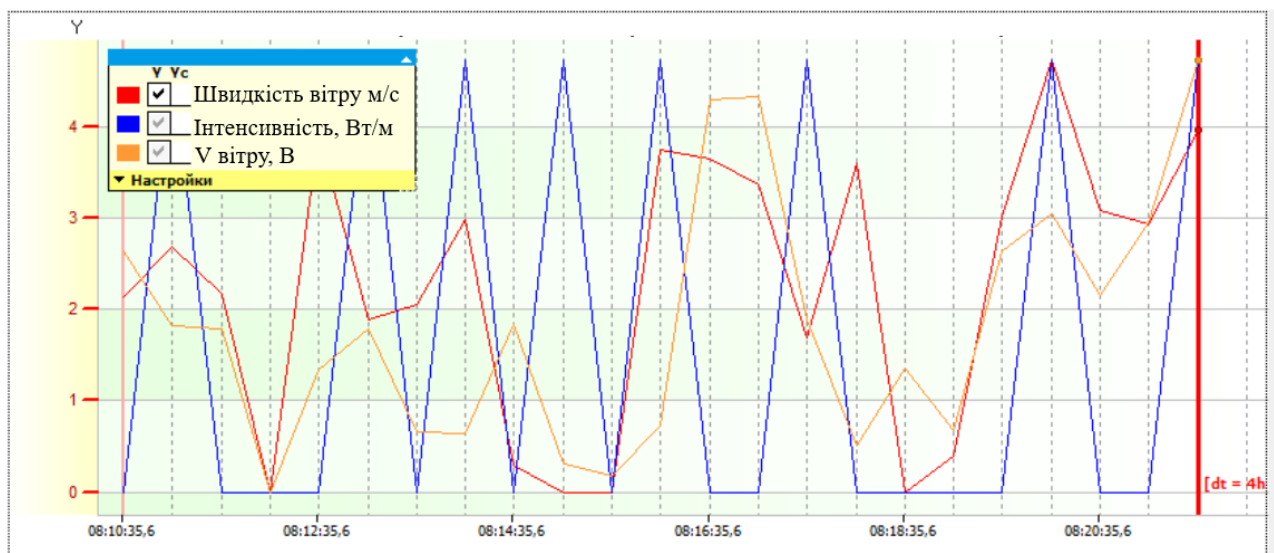


Рисунок 3.11 - Вихідні енергетичні характеристики ВЕУ у в.о. з врахуванням варіації потужності навантаження.

3.3 Висновки до розділу

У цьому розділі було розроблено експериментальну установку для дослідження статичних моментних характеристик лопатей вертикально-осьових вітроенергетичних установок. Стенд забезпечує необхідну точність визначення статичних моментних характеристик і характеристик лопатей вертикально-осьових вітроенергетичних установок, врахування впливу нерухомих напрямних лопатей, оптимальних параметрів кута установки напрямних лопастей і лопастей вітроколеса. Було досліджено три зразки лопатей з довжинами хорд: $c_1=6$ см; $c_2 = 9$ см; $c_3 = 11$ см.

Досліджено вплив вітроенергетичної установки на режим роботи локальної електроенергетичної системи в умовах зміни конфігурації графіків навантаження споживачів активної потужності з за допомогою методів математичного моделювання. У результаті розроблено рекомендації щодо практичного застосування ВЕУ.

З проведеного експерименту було отримано залежності вихідної потужності ВОВЕУ карусельного типу від зміни швидкості вітру при зміні потужності навантаження. Під час порівняння отриманих результатів імітаційного комп'ютерного моделювання з експериментальними даними їхня збіжність склала 92%.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів, що забезпечують захист людей від небезпечної і шкідливої дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля, статичної електрики [14].

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику;
- пристрої електроенергії з безпечними величинами напруги;
- усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;
- пристрої індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом.

Недоступність струмопровідних частин для випадкового дотику досягається ізоляцією їх струмонепровідними матеріалами. Провідники електричного струму повинні мати робочу ізоляцію. Передбачено пристрої в деяких випадках додаткової, підсиленої чи лінійної ізоляції.

Недоступність розташування струмопровідних частин досягається розміщенням їх на висоті, під підлогою чи приховано в стінах. Незахищені струмопровідні частини, до яких можливий дотик людей, надійно огорожують у всіх випадках, якщо напруга перевищує:

- 65 В – в приміщеннях без підвищеної небезпеки;
- 42 В – в приміщеннях з підвищеною небезпекою;
- 12 В – в приміщеннях особливо небезпечних.

У випадку напруги понад 250 В огорожують не тільки незахищені, але й ізольовані струмопровідні частини.

Пристрої малих напруг – дуже ефективний захист від ураження електричним струмом. Для живлення кіл керування технологічним обладнанням, встановленим в особливо небезпечних приміщеннях і

приміщеннях з підвищеною небезпекою; кіл керування пересувного устаткування і для живлення ручного інструменту використовують напругу не вище 42 В. На шафах і пультах керування обладнанням розміщують штепсельні розетки з напругою не вище 12 В для включення переносних світильників, які використовуються під час періодичних оглядів наявних в них важкодоступних місць.

Захисне заземлення, занулення і відключення – основні заходи захисту людей від ураження електричним струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування.

4.1.1. Підвищення стійкості функціонування організації в надзвичайних ситуаціях

Стійкість роботи організації в надзвичайних ситуаціях - це її здатність випускати встановлені види продукції в заданих обсягах і номенклатурі, або точно виконувати свої функціональні обов'язки.

Підвищення стійкості роботи починається з організації та проведення дослідження стійкості роботи організації. Головна мета дослідження - виявлення слабких місць у роботі і вироблення комплексу заходів щодо їх усунення.

Дослідження включає три етапи:

- організаційний етап;
- оцінку стійкості роботи організації;
- розробку заходів щодо підвищення стійкості роботи організації.

Оцінка стійкості роботи організації включає в себе оцінку:

- ймовірності виникнення зовнішніх і внутрішніх НС природного, техногенного, воєнного характеру та їх вплив на життєдіяльність організації;
- надійності системи захисту працівників організації від вражаючих факторів НС військового, техногенного та природного характеру;
- фізичної стійкості будівель, споруд, що забезпечують систем;
- стійкості матеріально-технічного постачання і виробничих зв'язків;
- стійкості системи керування, зв'язку та оповіщення;

- підготовленості організації до відновлення порушеної функції.

Заходи щодо підвищення стійкості роботи поділяють на: організаційні, інженерно-технічні та спеціальні.

Організаційні заходи включають в себе:

- прогнозування наслідків можливих надзвичайних ситуацій та розробку планів дій на мирний і воєнний час;
- підготовку керівного складу до роботи у надзвичайних ситуаціях;
- навчання працівників організації дотримання заходів безпеки і способам дій при виникненні надзвичайної ситуації;
- розробку інструкцій щодо зниження небезпеки виникнення аварійних ситуацій в організації, а також по безаварійної зупинки виробництва, локалізації аварій, ліквідації їх наслідків та організації відновлення порушеного виробництва;
- створення і організацію роботи комісії з підвищення стійкості роботи організації та чергово-диспетчерської служби організації;
- підготовку сил і засобів організації для проведення заходів з ліквідації наслідків аварійних ситуацій і відновлення виробничої діяльності;
- встановлення розмірів небезпечних зон навколо потенційно небезпечних об'єктів організації;
- підготовку до проведення евакуації працівників організації, населення, сільськогосподарських тварин з небезпечних зон;
- створення і підтримка в постійній готовності систем оповіщення та керування при надзвичайних ситуаціях та ін.

Інженерно-технічні заходи спрямовані на підвищення фізичної стійкості будівель, споруд, технологічного обладнання, інженерних комунікацій, а також на створення умов для швидкого проведення відновлювальних робіт, підвищення захищеності працівників, сільськогосподарських тварин, рослин і продуктів сільськогосподарського виробництва.

Спеціальні заходи спрямовані на створення умов для переведення роботи організації на аварійний режим і на забезпечення захисту працівників у надзвичайних ситуаціях і на швидку ліквідацію наслідків цих ситуацій.

4.2. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.2.1. Заходи з електробезпеки

До технічних засобів і заходів захисту від ураження електричним струмом належать:

- пристрої малих напруг;
- ізоляція струмоведучих частин (робоча, додаткова, посилена, подвійна);
- забезпечення недосяжності неізованих струмоведучих частин;
- захисне заземлення;
- занулення, захисне відключення;
- вирівнювання потенціалів;
- електричне розділення мереж;
- компенсація струмів замикання на землю;
- огорожувальні улаштування;
- попереджуюча сигналізація;
- блокування; знаки безпеки;
- засоби захисту і запобіжні пристосування та ін.

Мала напруга – це номінальна напруга, яка не перевищує 42 В і застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. Нормативними документами передбачається у виробничих умовах застосовувати два значення малих напруг – 12 В і 42 В. У приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних напруга для світильників місцевого, ремонтного освітлення і ручного інструменту не повинна перевищувати 42 В. Крім того, в особливо небезпечних приміщеннях, за несприятливих умов (наприклад, робота сидячи або лежачи на струмопровідній підлозі) для живлення ручних переносних ламп потрібна ще більш низька напруга – 12 В.

4.2.2. Заходи протипожежної безпеки

В приміщеннях встановити наступний протипожежний режим, яким передбачено:

- порядок паління цигарок. Паління в будинках і приміщеннях заборонено. Для паління на територіях об'єктів обладнані спеціальні місця, які позначені знаками пожежної безпеки або написами - "Місце для паління" та обладнані урнами для недопалків. На території об'єктів заборонено пристрої відкритого вогню (розігрівання замерзлих труб опалення, спалювання відходів виробництва, сміття, сухого листа, тощо);

- порядок користування електронагрівальними приладами. Приготування кип'ятку, розігрівання та приготування їжі здійснюється в спеціально обладнаних для цих цілей місцях із пристроєм електрочайників з автоматичними пристроями відключення електронагрівальних елементів;

- порядок роботи з електроприладами. Забороняється залишати без нагляду увімкнені в електромережу електроприлади та оргтехніку - персональні ЕОМ, оргтехніку, радіоприймачі, електронагрівальні прилади, вентилятори, кондиціонери;

- порядок виконання вогнебезпечних робіт. Проведення вогневих та інших пожеже небезпечних робіт (газоелектрозварювальних, газорізальних, розігрів бітумів та смоли) дозволяється проводити після підготовки місця проведення цих робіт, узгодження з інженером з пожежної безпеки та виконання усіх передбачених заходів з пожежної безпеки; перевірка робочих місць та приміщень у кінці робочого дня. Перед закінченням роботи та закриттям приміщень особа, відповідальна за протипожежний стан приміщення, (працівник) зобов'язана перевірити протипожежний стан приміщень, відключити напругу з усіх електроустановок та електроприладів (вимірювальних, електронно-обчислювальних, паяльників, кондиціонерів, вентиляторів, радіоприймачів, комп'ютерів тощо), а також з мереж їх живлення. Закрити вікна, кватирки. Виявлені порушення правил пожежної безпеки необхідно усунути до закриття приміщень.

Заходи пожежної безпеки в процесі роботи:

Дії персоналу в разі загрози винищення пожежі чи аварії. Правила вимкнення установок та агрегатів, порядок зняття напруги з електроустановок, виклику аварійної допомоги тощо.

Заходи пожежної безпеки, яких необхідно дотримуватися, приступаючи до роботи, у процесі роботи та після її закінчення з метою запобігання виникненню пожежі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблена конструкція вітрової установки багатолопастевого типу дає змогу поліпшити якісні характеристики вітроустановки, такі як стійкість роботи конструкції під час роботи в умовах турбулентності, забезпечення плавності ходу, стійкість під час впливу відцентрової сили, зниження нерівномірності перетворення вітрового потоку. Крім того, зростають значення таких показників, як: стартовий момент - на 5 %, коефіцієнт використання вітру - на 2 %, зниження витрат на обслуговування - на 15%, зменшити довжину лопатей - на 8 %.

Дослідження за допомогою моделювання показали, що вибір співвідношення сторін вітротурбіни з вертикальною віссю для максимального збільшення коефіцієнта потужності доцільно виконувати шляхом аналізу факторів, що впливають на число Рейнольдса, домагаючись збільшення його значення. Першочергове значення при цьому має співвідношення висоти лопаті та радіуса ротора (коефіцієнт AR). Основними перевагами турбін з низьким коефіцієнтом AR (близько 0,4) є такі: високий коефіцієнт потужності, стійкість конструкції завдяки більш товстим лопатям, більша стабільність у роботі, що забезпечується завдяки великому моменту інерції ротора турбіни

Розроблено експериментальну установку для дослідження статичних моментних характеристик лопатей вертикально-осьових вітроенергетичних установок. Експериментальну установку забезпечує необхідну точність визначення статичних моментних характеристик і характеристик лопатей вертикально-осьових вітроенергетичних установок, врахування впливу нерухомих напрямних лопатей, оптимальних параметрів кута установки напрямних лопастей і лопастей вітроколеса. Було досліджено три зразки лопатей з довжинами хорд: $c_1=6$ см; $c_2 = 9$ см; $c_3 = 11$ см.

З проведеного експерименту було отримано залежності вихідної потужності ВОВЕУ карусельного типу від зміни швидкості вітру при зміні потужності навантаження. Під час порівняння отриманих результатів імітаційного комп'ютерного моделювання з експериментальними даними їхня збіжність склала 92%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fazelpour, F., Tarashkar, N., Rosen, M.A.: Short-term wind speed forecasting using artificial neural networks for Tehran. Iran. Int. J. Energy Environ. Eng. 7, 377–390 (2016).
2. Ghosh, A., Biswas, A., Sharma, K.K., Gupta, R.: Computational analysis of flow physics of a combined three bladed Darrieus Savonius wind rotor. J. Energy Inst. 88, 425–437 (2015).
3. Ackermann, T., Soeder, L.: Wind energy technology and current status: review. Renew. Sustain. Energy Rev. 4, 315–374 (2000)
4. Andriychuk, V., & Filyuk, Y. (2017). RESEARCH OF ENERGY POTENTIAL OF SOLAR RADIATION IN TERNOPIL. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, (1), 85.
5. Andreychuk, V., & Filyuk, Y. (2017). Analysis of the energy potential of solar light of the western region of ukraine with the account of climatic conditions. EUREKA: Physics and Engineering, (4), 25-32.
6. Андрійчук, В. А., & Філюк, Я. О. (2017). Дослідження енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в Тернополі. Вісник Тернопільського національного технічного університету, 85(1), 95-100.
7. Коваль, В. П., Оробчук, Б., Осадца, Я., & Костик, Л. (2022). Автоматизована вимірвальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів. Вісник Хмельницького національного університету, (5), 168-173.
8. Філюк, Я. О., Андрійчук, В. А., Лисий, А. М., & Кваковський, Д. І. (2022). Системи керування автономною фотоелектричною установкою для віддалених споживачів. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 97-97.
9. Філюк, Я. О. (2019). Світлотехнічні установки з автономним живленням (Doctoral dissertation, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя).
10. Андрійчук, В. А., & Філюк, Я. О. (2018, January). Системи

автономного живлення зовнішнього освітлення населених пунктів на території України. In VI Міжнародна науково-технічна конференція „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи “ (рр. 13-14). ФОП Паляниця ВА.

11. Filyuk, Y., & Andriychuk, V. ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ МЕТЕОСЛУЖБ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції, 8-9 червня 2017 року: збірник тез доповідей.—Тернопіль: ФОП Паляниця ВА, 2017.—244 с., 233.

12. Філюк, Я. О., Колівошко, А. М., Соловко, Д. Ю. (2023). Електрична мережа з розподіленими відновлювальними джерелами енергії. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 262-262.

13. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.

14. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.