

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Шовковий Андрій Ростиславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.9

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Дослідження швидкості вітру для підбору трекеру та основного обладнання

ВЕС

(назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики

(назва освітньої програми)

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Ващишак Ірина Романівна, канд. техн. наук, доцент

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

інформаційно-вимірювальних
технологій

О. Є. Середюк

“ _____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Шовковому Андрію Ростиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження швидкості вітру для підбору трекеру та основного обладнання ВЕС

керівник роботи Ващишак Ірина Романівна, к. т. н., доцент,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “24” квітня 2024 року №271/7

2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Результати інструментального вимірювання вітрових потоків за адресою м. Івано-Франківськ вул. Лучна 27/1

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз потенціалу вітрової енергетики. Принцип роботи ВЕС

Дослідження швидкості вітру для підбору трекеру

Підбір пристроїв вимірювання. Проектування та підбір обладнання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтролер</i>	<i>доцент Яворський А.В.</i>		
<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>доцент Миндюк В.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання “24” квітня 2024р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдання (відповідно до наказу).	24.04.2024	
2	Розроблення 1 розділу: «АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ».	24.04.2024 – 12.05.2024 р.	
3	Розроблення 2 розділу: «ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ ДЛЯ ПІДБОРУ ТРЕКЕРУ».	13.05.2024 – 23.05.2024 р.	
4	Розроблення 3 розділу: «ПРОЄКТУВАННЯ ВЕС ТА ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ».	24.05.2024 – 06.06.2024 р.	
5	Оформлення роботи	07.06.2024 - 14.06.2024 р.	

Студент

(підпис)

Шовковий А.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Ващишак І.Р.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить 62 сторінки, 27 рисунків, 4 таблиці, 16 джерел

Дослідження швидкості вітру для підбору трекеру та основного обладнання ВЕС

Об'єктом бакалаврської роботи є процес генерування електроенергії вітроенергетичними установками.

Мета роботи полягає у аналізі вітрового потенціалу в м. Івано-Франківськ та проєктуванні системи автономного живлення ВЕС.

У ході виконання бакалаврської роботи було розглянуто перспективи використання вітрової енергетики. Проведено аналіз вітрового потенціалу України, зокрема м. Івано-Франківськ. За допомогою анемометру, а також моделюючи систему трекеру вітру, проведено серію експериментальних вимірювань швидкості вітру. Розраховано використання житловим будинком електричної енергії для забезпечення безперебійного електропостачання на весь час автономної роботи (8 годин). Використовуючи отримані дані, спроектовано структурну схему ВЕС, розраховано та підібрано необхідне обладнання для функціоналу системи. Запропоновано підвищення ефективності ВЕС шляхом застосування трекеру вітру. Дане рішення дозволяє збільшити генерацію системи до 10-15%.

ВІТРОВА ЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ, ВІТРОУСТАНОВКА, РОТОР, СХЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ШВИДКІСТЬ ВІТРУ, ТРЕКЕР

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains 62 pages, 27 figures, 4 tables, 16 sources

Research of wind speed for the selection of the tracker and the main equipment of the wind farm

The object of the bachelor's thesis is the process of generating electricity by wind power plants.

The aim of the work is to analyse the wind potential in Ivano-Frankivsk and design an autonomous power supply system for the wind farm.

In the course of the bachelor's thesis, the prospects for the use of wind energy were considered. An analysis of the wind potential of Ukraine, in particular Ivano-Frankivsk, was carried out. A series of experimental measurements of wind speed were carried out using an anemometer and modelling a wind tracker system. The use of electricity by a residential building to ensure uninterrupted power supply for the entire time of autonomous operation (8 hours) was calculated. Using the data obtained, the structural scheme of the wind farm was designed, and the necessary equipment for the system functionality was calculated and selected. It is proposed to increase the efficiency of the wind farm by using a wind tracker. This solution allows increasing the system's generation by up to 10-15%.

**WIND POWER PLANT, WIND TURBINE, ROTOR, POWER SUPPLY SCHEME,
WIND SPEED, TRACKER**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	10
1.1 Потенціал ВЕУ. Переваги та недоліки їх застосування	10
1.2 Принцип роботи ВЕС	12
1.3 Умови роботи та основні типи малопотужних автономних ВЕУ .	13
1.4 Поняття та особливості роботи малопотужних автономних ВЕУ	14
1.5 Вітрогенератори з горизонтальними та вертикальними валами .	18
1.6 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи.....	22
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ ДЛЯ ПІДБОРУ ТРЕКЕРУ	23
2.1 Теоретичні дослідження на території встановлення ВЕС	23
2.2 Засоби вимірювання характеристики вітру	27
2.3 Проведення вимірювань швидкості вітру	33
2.4 Визначення похибки вимірювання швидкості вітру	36
2.5 Визначення енергопотребі будинку	37
Висновки до розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ВЕС ТА ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ.....	39
3.1 Визначення складових та створення схеми підключення ВЕС.....	39
3.2 Підбір вітрогенератора для ВЕС.....	44
3.3 Підбір інвертора для ВЕС.....	50
3.4 Підбір акумуляторної системи накопичення енергії.....	52
3.5 Підбір генератора	56
3.6 Підбір обладнання для моделювання трекеру вітру.....	58
Висновки до розділу 3.....	60
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А.....	66

Перелік умовних скорочень

AC – Alternating Current (змінний струм).

DC – Direct Current (постійний струм).

DOD – Depth of Discharge (максимальна глибина розряду АКБ).

MPPT – Maximum Power Point Tracking (система стеження за точкою максимальної потужності).

NOCT – Nominal Operating Cell Temperature (номінальна робоча температура комірки).

PWM – Pulse Width Modulation (широтно-імпульсна модуляція).

SOC – State of Charge (рівень заряду АКБ).

STC – Standard Test Conditions (стандартні умови випробувань).

АКБ – Акумуляторна батарея.

ВДЕ – Відновлювані джерела енергії.

КЗ – Коротке замикання (вживається у показнику $I_{КЗ}$).

КЗ – Контролер заряду.

ККД – Коефіцієнт корисної дії.

ВЕС (ВЕУ) – Вітрова електрична станція (установка).

ШІМ – Широтно-імпульсна модуляція.

ВВО – Вертикальна вісь обертання.

ГВО – Горизонтальна вісь обертання.

ВСТУП

Актуальність роботи

Вітрова енергетика в сучасному світі стає ключовим елементом енергетичної стратегії, надаючи важливий внесок у вирішення низки актуальних завдань. Однією з головних сфер, на яку вона впливає, є екологічна стійкість та важливість збереження природних ресурсів. Відновлювана природа вітрової енергії знижує викиди шкідливих речовин і сприяє боротьбі з глобальним потеплінням.

Актуальність роботи полягає, перш за все, у потенційному внеску в енергетичну безпеку регіону. Вітроенергетика може стати важливим додатковим джерелом електроенергії, що допоможе зменшити залежність від імпортованого палива та забезпечити стабільне енергопостачання.

Подальше дослідження можливості застосування вітрових електростанцій на території Івано-Франківської області також може сприяти вирішенню екологічних проблем.

Обрання відновлюваних джерел енергії, зокрема вітрової енергетики, для електрозабезпечення приватного будинку є обґрунтованою та перспективною стратегією, що відкриває широкий спектр переваг і можливостей. Цей підхід відзначається не лише технічною ефективністю, а й враховує соціальні, економічні та екологічні фактори.

Важливою перевагою обрання вітрової енергетики для приватного будинку є його незалежність від традиційних джерел енергії. Виробництво електроенергії з вітрових установок дозволяє господарствам забезпечити свої потреби в електроенергії навіть тоді, коли традиційна мережа недоступна або нестабільна. Це особливо важливо в умовах регіонів з віддаленими місцевостями чи частими перебоями в електропостачанні.

Економічні вигоди вітрової енергетики для приватних будинків включають в себе зниження витрат на електроенергію у середньостроковій та довгостроковій перспективі. Ініціативи з використання власної енергії

зменшують залежність від комерційних постачальників, що дозволяє ефективно управляти ресурсами та раціонально використовувати електроенергію.

Однак, енергетична ефективність вітрової установки суттєво залежить від параметрів вітру та подальшого підбору обладнання ВЕС. Тому дослідження вітрового потенціалу є першим етапом для оцінки доцільності впровадження таких установок. Вирішенню цього завдання і присвячена кваліфікаційна робота.

Мета і задачі дослідження

Мета роботи полягає у аналізі вітрового потенціалу в м. Івано-Франківськ та проектуванні системи автономного живлення ВЕС.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- проаналізувати енергетичний потенціал вітроенергетики;
- дослідити швидкість вітру для підбору трекеру та основного обладнання ВЕС;
- спроектувати вітроенергетичні установки на базі ротора Оніпка та з трекером вітру.

Об'єктом дослідження є процес генерування електроенергії вітроенергетичними установками.

Предметом досліджень є розробка та проектування системи автономного та резервного живлення для приватного будинку на базі ВЕС.

Методи дослідження

Для вирішення поставлених в роботі задач використовувались методи аналізу та оброблення даних з використанням середовища Microsoft Excel.

Практичне значення одержаних результатів полягає у моделюванні вітрової електростанції з ротором Оніпка та підбору основних компонентів і засобів обліку електроенергії. Удосконалення конструкції шляхом застосування трекерів вітру дозволить підвищити вироблення електроенергії до 10%-15%.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

В Україні, так само як і в багатьох інших країнах світу, вітрова енергетика здобуває все більше популярності та визнання як важливий ресурс для забезпечення сталого розвитку та розвитку енергетичного сектору. Потенціал вітрової енергетики в Україні стає об'єктом вивчення та стратегічного планування, враховуючи його важливість для різноманітних сфер економіки та життя суспільства.

Важко переоцінити екологічний аспект в контексті української вітрової енергетики. У країні, де акцент на зменшенні залежності від традиційних видів енергії та боротьбі із забрудненням навколишнього середовища, вітрова енергетика визначається як один із ключових інструментів для забезпечення чистої, ефективної та екологічно стійкої енергії.

Окрім того, встановлення вітрових установок у приватних будинках може сприяти розвитку технологічних навичок власників та підтримці місцевого ринку відновлюваної енергії. Це створює нові можливості для приватних господарств, а також сприяє підтримці сталого розвитку та зменшенню відчуття власного впливу на навколишнє середовище.

1.1 Потенціал ВЕУ. Переваги та недоліки їх застосування

Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд. кВт×год [1].

В умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15÷19% річного об'єму енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м² перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800÷1000 кВт×год/м² за рік [2].

Потенціал вітрової енергетики в Україні не обмежується лише екологічними вигодами. Він відображає стратегічну важливість для

забезпечення енергетичної незалежності, розвитку інноваційних технологій та створення нових робочих місць. Швидкий розвиток вітрової енергетики в Україні може сприяти диверсифікації енергетичного портфеля та зменшенню залежності від імпортованих ресурсів.

Особливий інтерес викликає технологічний прогрес у сфері вітрової енергетики, який дозволяє забезпечувати ефективність та конкурентоспроможність цього виду енергії. Здійснення інвестицій у вітрову енергетику може вирішити не лише проблеми енергетичної безпеки, а й стати кроком у напрямку впровадження сучасних технологій та підтримки сталого розвитку.

Переваги:

✓ **Екологічно-чистий вид енергії.** Виробництво електроенергії за допомогою "вітряків" не супроводжується викидами вуглекислого чи будь-якого іншого газу.

✓ **Ергономіка.** Вітрові електростанції займають мало місця і легко вписуються в будь-який ландшафт, а також відмінно поєднуються з іншими видами господарського використання території.

✓ **Відновлювана енергія.** Енергія вітру, на відміну від викопного палива, невичерпна.

✓ **Краще рішення для важкодоступних місць.** Для віддалених місць встановлення вітрових електрогенераторів може бути найкращим і найдешевшим рішенням.

Недоліки:

✓ **Нестабільність.** Нестабільність полягає в відсутності гарантій отримання необхідної кількості електроенергії. На деяких ділянках та в деякий період сили вітру може виявитися недостатньо для вироблення необхідної кількості електроенергії.

✓ **Відносно невисокий вихід електроенергії.** Вітрові генератори значно поступаються у виробленні електроенергії дизельним генераторам, що

призводить до необхідності встановлення відразу декількох турбін. Крім того, вітрові турбіни неефективні в період пікових навантажень.

✓ **Шумове забруднення.** Шум від "вітряків" малої потужності є хоч і не великим, у порівнянні з іншими, але все одно відчутний для людського слуху.

1.2 Принцип роботи ВЕС

Вітрова електрична станція (ВЕС) – електростанція, яка за допомогою вітряної турбіни перетворює механічну енергію вітру на електричну.

Вітер утворюється в результаті нерівномірного нагрівання поверхні Землі Сонцем. Потужність вітрового потоку пропорційна площі, яку пересікає вітровий потік, і швидкості вітру в кубі.

Вітер змушує лопаті вітрогенератора обертатися: вітровий потік протікає через турбіну, що приводить її в рух і вона починає обертатися. Енергія, що генерується на валу турбіни, пропорційна об'єму повітря. Чим сильніший вітер, тим більше енергії виробляється. Потім енергія передається по валу ротора до мультиплікатора (якщо такий є). Зверніть увагу, що обладнання, яке не має мультиплікатора для прискорення обертання вала, є більш продуктивним, оскільки воно не споживає занадто багато енергії, а швидкості вітру достатньо, щоб вітрогенератор працював оптимально. Генератор перетворює механічну енергію в електричну. Потужність вітряка вимірюється площею розгортки турбіни. Чим більше розмір леза, тим більше генерується потужність.

На сьогодні розроблена і використовується значна кількість схем перетворення енергії вітру в електричну енергію постійного чи змінного струму або для виконання механічної роботи.

Схема приєднання системи ВЕС до приватних домогосподарств наведена на рис. 1.1 [11].

Система управління турбіною включає:

- **Генератор** перетворює енергію вітру в електричну;
- **Ланка передачі енергії** (мультиплікатор або сам вал);

- **Випрямляч** (оскільки часто у вітряках використовуються генератори змінного струму для того, щоб правильно зарядити акумулятор або відправити енергію в мережу (побутовий сегмент));
- **Система азимутального приводу або хвіст** (іноді встановлюються машини, у яких прикріплюється до вітряка «хвіст», він орієнтується за вітром самостійно).

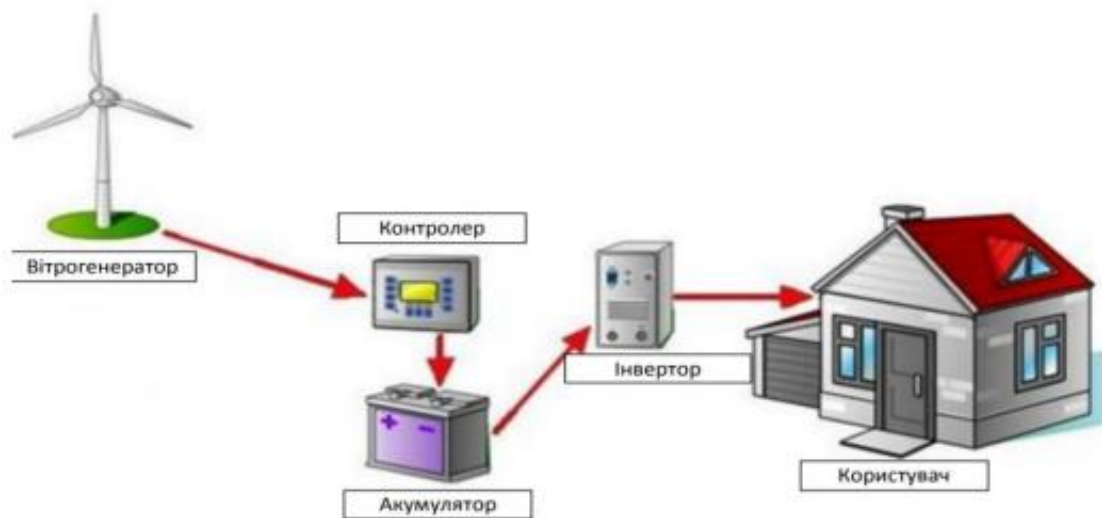


Рисунок 1.1 – Схема приєднання системи ВЕС

1.3 Умови роботи та основні типи малопотужних автономних ВЕУ

На відміну від сильних вітрових турбін, побудованих у місцях з великими ресурсами енергії вітру, автономні вітрогенератори з невеликою потужністю встановлюються окремими користувачами, як правило, на присадибних ділянках, розташованих поблизу енергоємних місць.

Окремим підтипом малих вітрогенераторів є вітряки, які встановлюються на даху будинків, в тому числі і в містах. У науковій літературі цю сферу енергії вітру називають міськими вітрогенераторами. Як і більшість країн світу, в Україні середньорічна швидкість вітру в міських районах переважно низька. Тому, наприклад, для Львівської області значення становить від 3,0 до 4,5 м/с.

Там, де вітрових турбін на прибудинковій території відносно мало, дерева та навколишні будівлі можуть спричинити часті зміни напрямку та інтенсивності вітру, що може призвести до турбулентності та вимагати зовсім іншого підходу до побудови ефективних конструкцій вітрогенераторів.

Серед вітрогенераторів мікроенергії (до 0,5 кВт) є багато вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання. Через їх невеликі розміри їх легко встановити. Наприклад, їх можна встановити на стовпах інженерних мереж або рекламних щитах для забезпечення електрикою місцевого освітлення. Завдяки хвостовому стабілізатору, цей тип мікровітрових турбін легко саморегулюється під напрям вітру і майже не видає шуму. Для невеликих вітряних турбін потужністю більше 2 кВт для регулювання напрямку вітру необхідні система гондольного електроприводу та система управління. У разі швидких змін напрямку вітру такі вітрогенератори втраять значну частину енергії вітру та електроенергії, виробленої для реконфігурації. Крім того, вітрогенератор через змінну довжину лінійної швидкості лопаті створює значний шум, який є шкідливим для живих організмів, а також починає працювати лише при помірній швидкості вітру.

Ці результати показують, що, незважаючи на нижчі аеродинамічні характеристики, за вищевказаних умов вітрові турбіни з ВВО мають багато переваг перед вітровими турбінами з ГВО, серед яких:

- сприймання вітру з будь-якого напрямку, що позбавляє потреби в механізмах та пристроях для напрямку вітру;
- краща продуктивність при вітрах з низькою швидкістю та високою турбулентністю;
- низька швидкість вітру;
- конструкція ВР зменшує аеродинамічні вимоги, спрощуючи тим самим виробництво ВР і зменшуючи витрати;
- під час роботи практично немає шуму.

Вітрові турбіни, що відрізняються від ГВО, будуються за традиційною схемою. Основна відмінність полягає в кількості лопатей, тоді як вітрогенератори ВВО мають різноманітну конструкцію.

1.4 Поняття та особливості роботи малопотужних автономних ВЕУ

Відповідно до відомих класифікацій, вітрові турбіни малої потужності – це турбіни з номінальною потужністю до 100 кВт (включаючи 100 кВт).

Автономні вітрогенератори – це вітрогенератори, які постачають електроенергію окремим користувачам і не є частиною всієї енергосистеми.

Для автономних вітряних турбін енергопотреба користувача суворо регулюється і не повинна перевищувати номінальну потужність вітрогенератора. Оскільки основними споживачами цих вентиляторів є мешканці сільської місцевості, замських будинків, власники малого бізнесу, ферм тощо, до вентиляторів малої потужності застосовуються такі основні вимоги:

1. Вартість одиниці встановленої потужності 1 кВт порівняно низька, тобто ціна доступна.
2. Виробляти електроенергію при певній середньорічній швидкості вітру в зоні відселення.
3. Якість виробленої потужності повинна відповідати вимогам діючих стандартів.
4. Легко встановлювати та обслуговувати під час роботи.
5. Відносно невелика житлова площа.
6. Шумовий вплив вітрогенераторів на навколишнє середовище не повинен перевищувати значення, визначеного чинними нормами житлового будівництва.
7. Можливість використовувати вітрогенератори разом з іншим електричним обладнанням для розширення функціональних можливостей та забезпечення безперебійного живлення споживачів енергії.

На рисунку 1.2 показана класична конструкція вітрової турбіни малої потужності. Відмінною особливістю малопотужних вітряних турбін є відсутність потужної гондоли, в якій насправді знаходиться лише генератор. Флюгер використовується для забезпечення установки вітрогенераторів на вітрі.

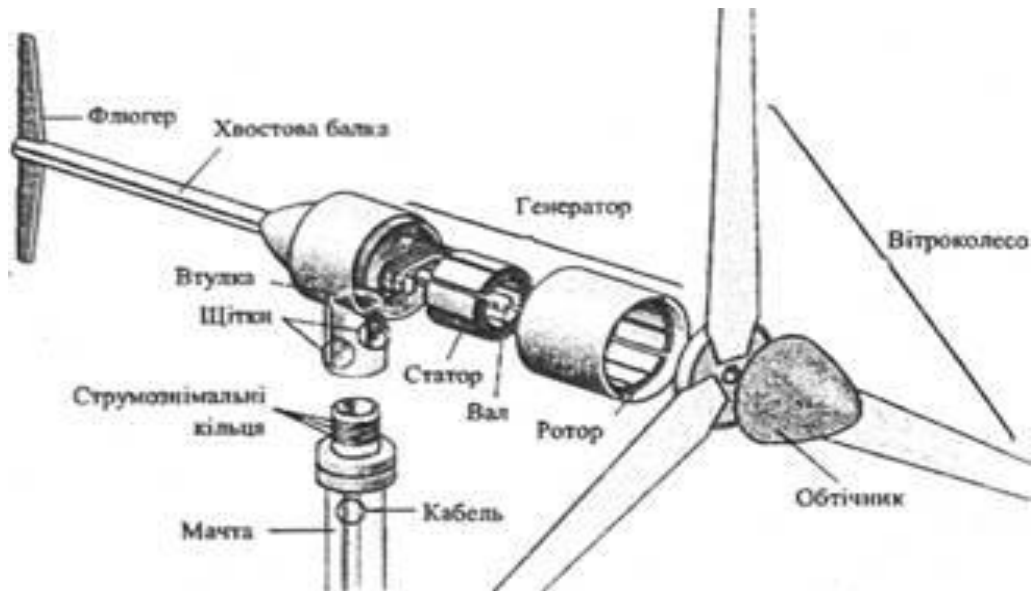


Рисунок 1.2 – Компонування вітроустановки малої потужності

Дуже малі вітрові турбіни (до 5 кВт), зазвичай, мають генератор змінного струму з постійними магнітами, а енергія, вироблена змінним струмом, перетворюється в постійний струм через випрямляч. У таких вітрогенераторах швидкість обертання і, отже, частота на виході генератора, можуть сильно відрізнятися, вони не містять редуктора. Як правило, такі вітрові турбіни використовуються для заряджання батарей постійною напругою 12 або 24 В шляхом підключення електричних приладів. Також широко використовуються генератори постійного струму з вихідною напругою 12 або 24 В[17].

Хвостова лопать використовується для визначення напрямку вітру майже всіх таких вітрогенераторів. У багатьох з них потужність передається від генератора, розташованого у верхній частині гондоли, до випрямляча, розташованого внизу, через кабель, розташований в контактному кільці між щітковим пристроєм. Таким чином, коли напрямок вітру змінюється, гондоли

можуть обертатися будь-яку кількість разів навколо вертикальної осі. Однак контактне кільце - досить ненадійний елемент[17].

Вітрові турбіни потужністю 5 кВт або більше, зазвичай, використовують трифазні генератори змінного струму, вітрові турбіни мають механічні регулятори, що забезпечують постійність швидкості вітру та частоту струму для задоволення вимог автономних джерел живлення. Цей тип вітрогенераторів може бути додатково оснащений дизель-генераторами або бензиновими генераторами, які вводяться в експлуатацію, коли немає вітру або вітру недостатньо для покриття навантаження. Однак лише завдяки спеціальній системі управління вітрогенератори та навіть невеликі дизель-генератори можуть працювати паралельно.

Вітрові турбіни малої потужності можуть використовуватися як незалежне джерело живлення для віддалених об'єктів або як інші джерела енергії.

В Україні поступово розробляються вітрогенератори малої потужності. Отже, з періоду незалежності до початку 2010 року на українській території було встановлено 1170 вітряних турбін потужністю від 0,3 до 20 кВт, 270 вітрових турбін у 2010 році та приблизно 120 вітрових турбін у 2011 році. На кінець 2011 року загальна встановлена потужність вітрогенераторів малої потужності становила 12500 кВт, що становить 8,3% від загальної встановленої потужності вітрогенераторів України.

До складу малої вітрогенератора зазвичай входять такі конструктивні елементи та пристрої: ротор з лопатями, щогла. Крім того, також можна використовувати контролери заряду, акумулятори, інвертори, витяжні системи сильного вітру тощо.

1.5 Вітрогенератори з горизонтальними та вертикальними валами

Вітрогенератори мають горизонтальні або вертикальні вали. Сучасні вітрогенератори з горизонтальними осями є більш поширеними, мають вищу ефективність (майже втричі більшу), їх легко регулювати та застосовувати штормовий захист, а також дешевші (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Вітрогенератор з горизонтальними осями

У той же час, вітрогенератор з низькою потужністю до 1 кВт з вертикальною віссю має переваги в роботі при слабкому вітрі в усіх напрямках, з простою конструкцією і майже без шуму (рисунок 1.4). Хоча вартість набагато вища, але цей тип вітрогенераторів знайшов застосування. Однак в основному використовуються горизонтальні вітрогенератори, які можуть генерувати 95% вітру.



Рисунок 1.4 – Вітрогенератор з вертикальними осями

У більшості областей України середньорічна швидкість вітру становить 3-5 м/с. У цьому випадку економічно доцільно використовувати вітрогенератори. Логічним кроком для створення повністю автономної вітряної електростанції є використання додаткових сонячних модулів для збільшення виробництва енергії протягом безвітряних місяців. Підбір обладнання вітряних електростанцій вимагає попереднього аналізу вимог до складності енергії та ретельного вибору місця розташування вітрових турбін [11].

Загальна ефективність вертикальних (20-30%) та горизонтальних (25-35%) вітрогенераторів приблизно однакова. Хоча вітрогенератори з вертикально обертовими валами мають вищу ефективність та меншу швидкість, вони майже компенсуються коефіцієнтом використання енергії вітру, який дещо вищий у горизонтальних вітряних млинах. Щоб досягти більш високого співвідношення у вертикальних вітрогенераторах враховують наступне: вертикальний вітряк завжди «за вітром» і не потребує повороту при зміні напрямку вітру, а

горизонтальний вітряк потрібно повернути. У той момент, коли горизонтальний вітряк змінює свій напрямок, продуктивність падає в міру ослаблення вітру.

Деякі компанії використовують постійні магніти (неодимові магніти) замість підшипників для виробництва вертикальних вітряків. Це дозволяє збільшити продуктивність системи до 15%. Тобто загальна продуктивність цього типу вітрогенераторів лише збільшує 3-5% загальної ефективності. Однак, на відміну від вітрогенераторів з підшипниками, ціна вертикальних вітрогенераторів з постійними магнітами зростає.

Класифікація вітряних турбін з горизонтальною віссю:

1. Однолопатевої.

Вітрогенератор з однією лопаттю має лопать та противагу як механізм балансування. У порівнянні з багатолопатевою ротором, перевага однолопатевого ротора полягає в тому, що він має вищу швидкість завдяки меншому моменту інерції. Це дозволяє використовувати синхронні генератори прямої дії, розроблені для більш високих швидкостей у своїх ланцюгах, що призводить до менших розмірів і ваги. Крім того, ротор цієї конструкції має меншу вартість за рахунок зменшення кількості лопатей [11].

2. Дволопатевої.

У порівнянні з вітровими турбінами з трьома і більше лопатями, дволопатевої вітрогенератори мають ті ж переваги, що і однолопатевої вітрогенератори. Ще однією безумовною перевагою цих вітрогенераторів є рівновага ротора при будь-якому кутовому положенні лопаті, завдяки парній кількості лопатей. Ця перевага використовується для підйомних вітряних турбін малого та середнього діапазону потужності. Піднімаючи або опускаючи з землі на землю, площина ротора піднятої дволопатевої вітряної турбіни прагне зайняти горизонтальне положення при будь-якому кутовому положенні лопаток, що значно спрощує техніку підйому або опускання цих вітрогенераторів.

3. Трилопатевої.

Трилопатева горизонтальна вісь вітрогенератор є найпоширенішою вітряною турбіною на ринку. Їх номінальна потужність коливається від

декількох ват до 7 мегават. Все потужне обладнання вітроенергетики (500 кВт і вище) – це трилопатеві горизонтальні вісні турбіни. На сьогодні вітрогенератором з найбільшою номінальною потужністю є трилопатевий Enercon E-126 номінальною потужністю 7 МВт [11].

4. Багатолопатеві.

Багатолопатеві вітрогенератори мають велику кількість лопатей, в деяких моделях до 50 лопатей. Ротор цих вітрогенераторів має великий момент інерції, тому швидкість є низькою, але в той же час вона створює високий крутний момент. Ця особливість є перевагою при роботі в системах повітряних насосів, і вона займає нішу ринку в промисловому застосуванні.

Вітрові турбіни малої потужності встановлюються безпосередньо біля користувача, де основними характеристиками вітру є низька середня швидкість, часті пориви, зміна напрямку та висока турбулентність. Особливість розташування та специфічні характеристики вітру призводять до значної різниці між конструкцією вітрогенераторів малої потужності та традиційними потужними вітрогенераторами, особливо використання вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання. Ці вітрові турбіни можуть ефективно протистояти сильним вітрам, постійно відчувати вітер з різних напрямків і запускатись із низькою швидкістю вітру завдяки прямій безредукторній передачі низькошвидкісних багатополюсних синхронних генераторів з постійними магнітами. Вартість одиниці (одиниці потужності) вітрової турбіни малої потужності з ВВО набагато вища, ніж вартості потужної вітряної турбіни.

Тому, щоб зменшити термін окупності вітрових турбін малої потужності, слід звернути особливу увагу на забезпечення їх максимальної енергоефективності у всіх режимах роботи (особливо при низьких швидкостях вітру). У цих режимах роботи ці вітрогенератори проводять більшу частину часу. Створення якісної та ефективної системи автоматичного управління вітрогенераторами з ВВО вимагає достатнього математичного опису процесу в різних режимах роботи.

1.6 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи

З вищезазначеного можна зробити висновок, що вітрова енергетика в Україні має великі перспективи для розвитку. Проведений аналіз чинників, що впливають на роботу вітроенергетичних установок, показав, що найбільш важливими є швидкість і напрямок вітру, тоді як менш значущими є температура повітря, атмосферний тиск і стан земної поверхні.

Потрібно звернути увагу, що моделювання системи ВЕС буде відбуватись з використанням трекеру вітру, що дозволить збільшити генерацію до 15%. Використання різних роторів для вітроенергетичних установок також має свої особливості та недоліки, серед яких основними є вузькі діапазони швидкостей вітру для їх роботи, різні коефіцієнти перетворення енергії вітру та швидкохідність.

Для оцінки енергетичної ефективності вітрової електростанції при енергозабезпеченні житлового будинку необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз споживання електричної енергії в будинку;
- розрахувати параметри вітроенергетичної установки;
- здійснити підбір необхідного обладнання;
- підібрати автономний трекер вітру;
- скласти схему приєднання всіх компонентів ВЕС.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ ДЛЯ ПІДБОРУ ТРЕКЕРУ

Україна має досить високий кліматичний потенціал вітрової енергії, який забезпечує продуктивну роботу не лише автономних вузлів живлення, але й потужних вітроелектростанцій. Зростає необхідність у виявленні найперспективніших місць використання вітрової енергії, базуючись на її кліматичному потенціалі та показниках його можливої утилізації.

Згідно з даними Global wind energy council близько 40% територій придатні до генерування енергії з вітру. В середньотерміновій перспективі можна розвинути потужності в близько 5,000 МВт енергії вітру, тобто 20-30% всього споживання електроенергії в країні.

2.1 Теоретичні дослідження на території встановлення ВЕС

Районування території України за потенціалом вітрової енергії проводилось на основі кліматичного узагальнення цих показників (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Потенціал вітрової енергетики на території України

Вибір здійснювався за принципом їх показовості як характеристик багаторічного режиму вітрової енергії та її просторово-часової структури. Для районування території застосовано комплекс показників:

- середня річна швидкість вітру (дає загальне уявлення про кліматичний вітроенергетичний потенціал будь-якого району) та її мінливість;
- питома потужність та сумарні потенційні вітроенергоресурси і утилізована вітрова енергія;
- тривалість енергоактивної швидкості вітру та енергетичного штилю;
- безперервна тривалість робочої швидкості (як критерій стабільності функціонування вітроагрегатів).

Отже, комплекс показників вітрової енергії дозволяє оцінити енергетичні можливості кожного району та розробити рекомендації щодо її раціонального використання.

Найвищим вітроенергетичним потенціалом відзначаються узбережжя Чорного та Азовського морів, Південний берег Криму, вершини Українських Карпат, Кримських гір, також область Донбасу.

Умови вітровикористання оптимальні протягом усього року. Будівництво вітроелектростанцій треба розгортати у цих регіонах, враховуючи значний дефіцит власних генеруючих потужностей. Можливе ефективне розміщення як потужних вітроелектростанцій, так і автономних. Слід надавати перевагу будівництву вітроелектростанцій на прилеглих водних акваторіях, що мають особливо високий вітроенергетичний потенціал [2].

На території Івано-Франківської області середня швидкість вітру на висоті 10 м коливається від 1,7 до 3,5 м/с (рисунок 2.2). Щодо річного ходу швидкостей, то максимум на території Івано-Франківської області припадає на холодну пору року і співпадає з сезонним піком споживання теплової та електричної енергії, мінімум спостерігається у серпні. Різниця між зимовим максимумом та літнім мінімумом швидкостей на різних метеостанціях коливається від 0,7 (Яремча) до 2,6 м/с (Пожижевська) [2].

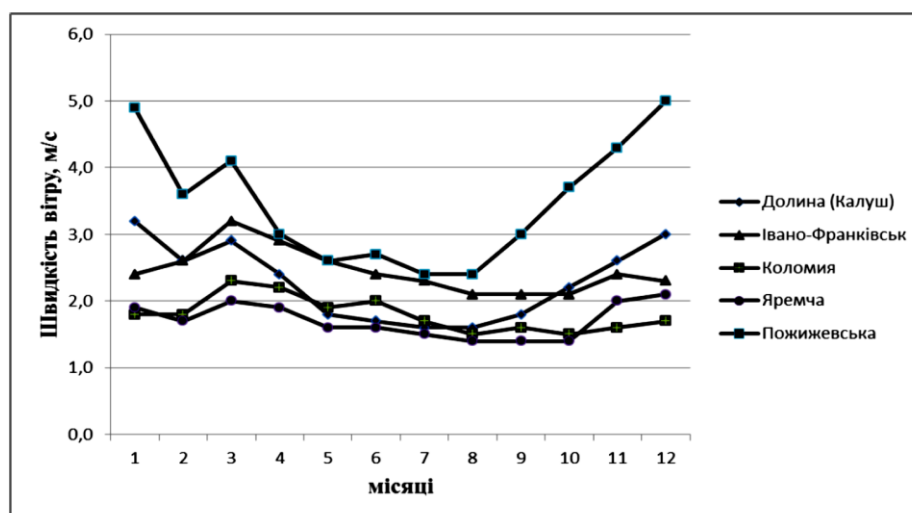


Рисунок 2.2 – Графік швидкості вітру Івано-Франківського регіону

Визначення оптимального розташування ВЕУ на певній території залежить від правильності врахування напрямку вітру.

Для потреб вітроенергетики велике значення має розподіл швидкості вітру, оскільки беручи до уваги тільки значення середньої швидкості вітру можна припуститись хибних висновків при визначенні вітроенергетичного потенціалу місцевості (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Роза вітрів м. Івано-Франківська

Крім того, враховуємо класифікацію перспективності швидкостей, а саме:

- $V < 2$ м/с безперспективні для будь-яких типів ВЕУ;
- $2 \leq V < 3$ м/с малоперспективні, стартова швидкість для малих ВЕУ,

– $3 \leq V < 4$ м/с перспективні для малих ВЕУ, стартова швидкість для великих ВЕУ;

– $4 \leq V < 5,5$ м/с перспективні для ВЕУ малої та середньої потужності;

– $5,5 \leq V$ м/с перспективні для будь-яких ВЕУ.

Ще однією важливою характеристикою є технічний потенціал вітрової енергії – тобто сумарна електрична енергія, яка може бути отримана від використання питомого вітроенергетичного потенціалу при сучасному рівні розвитку технічних засобів і дотриманні екологічних норм. Вітроенергетичні характеристики на метеостанціях області подано в табл. 2.1 [2].

Таблиця 2.1 - Вітроенергетичні характеристики на метеостанціях

№ п/п	Метеостанція	Питома потужність вітру $P_{пит}$, Вт/м ²	Питомий вітроенергетичний потенціал $W_{пит10}$, кВт год /м ² рік
1	Долина	42	364
2	Івано-Франківськ	39	340
3	Коломия	19	163
4	Яремча	32	281
5	Пожижевська	182	1592

Отже, аналіз даних з таблиці 2.1 свідчить, що найсприятливіші кліматичні умови для промислової вітроенергетики є у гірських районах Українських Карпат. ВЕУ середньої потужності доцільно розташовувати також на Передкарпатті, Опіллі, Подільській височині. Щодо малих ВЕУ, то сприятливими вітровими умовами характеризується більша частина Івано-Франківської області.

Однак, при проектуванні встановлення ВЕУ у кожному конкретному місці є потреба у додаткових польових спостереженнях за швидкістю вітру, оскільки дані отримані навіть з найближчих метеостанцій можуть відрізнятися через місцеві особливості.

2.2 Засоби вимірювання характеристики вітру

Розглянемо засоби вимірювальної техніки, якими, зазвичай, користуються при вимірюванні характеристик вітру.

Анемометр – це прилад для вимірювання швидкості та напрямку вітру. Він широко використовується в метеорології, а також в різних галузях, де важливо знати швидкість вітру, наприклад, в аеродинамічних дослідженнях, будівництві, мореплаванні та вітроенергетиці.

Анемометр – пристрій портативний, тобто переносний. Він працює автономно і не прив'язаний до джерела енергії. Виходячи з цієї особливості, анемометр можна використовувати скрізь – усередині приміщення, на вулиці, в лісі і в полі.

За своєю суттю – це маленька метеостанція. Її основні елементи – крильчатка та лопаті. Лопаті у різних видів анемометрів мають різну форму. Вони можуть бути напівсферичними, як чашка або плоскими, так званого пропелерного типу. Лопатей буває три або чотири (у бюджетних чашкових пристроях) і 5-6 і більше у крильчатих приладах. Чашкові лопаті ловлять повітряні маси самостійно. Вони підлаштовуються під нього як флюгер на даху будинку. Крильчатка під впливом повітряного потоку починає обертатися. Число її обертів фіксується лічильником або іншою мірною шкалою. У такий спосіб у ньому відбивається швидкість руху вітру та інших мас повітря. Показник на шкалі – це не остаточний результат. Остаточний параметр обчислюють з огляду на приладовий коефіцієнт [5].

Якщо лопаті у анемометра пропелерного типу, повітряний потік ловить безпосередньо крильчатка, яка розташована на роторній осі. Крильчатка дуже чутлива навіть до слабкого руху повітря чи газу. Вона легко «учує» тягу в димарі, протяг у кімнаті, невеликий витік газу. Її обертання передається на лічильник за допомогою редуктора черв'ячного типу. Таким чином, крім лопатей, анемометр включає ротор, шкалу вимірювань (лічильник), і фіксує гвинт для кріплення. У сучасних анемометрах замість крильчатки

використовують ультразвуковий датчик. Він відповідає за виявлення повітряного потоку, тобто виконує ту ж функцію, що й крильчатка.

Анемометр - агрегат дуже специфічний та професійний. Швидкість вітру вимірюють двома його варіантами:

Аналоговим. Це механічний варіант анемометра. Він на сьогоднішній день вважається морально застарілим, проте часто використовується завдяки своїй невисокій вартості та простоті у використанні.

Цифровий анемометр. Це сучасний, просунутий девайс.

Аналоговий варіант анемометра оснащений вертикальною виносною шкалою. Це надає йому певної громіздкості. До того ж, з механічним аналоговим анемометром доводиться вести обчислення показника, враховуючи пройдену відстань повітряного потоку і час, за який вона пройдена.

Цифрові прилади виконані вкрай компактно. Їхні вимірювальні елементи вмонтовані всередині. Цифровий індикатор автоматично вимірює всі параметри повітряного потоку. Обчислень проводити не потрібно. Показники відбиваються на невеликому яскравому дисплеї.

За типом конструкції анемометри ділять на три види:

- ✓ Чашка;
- ✓ Крильчатка;
- ✓ Термодатчик.

Чашковий анемометр має напівсферичні лопаті. Таке конструктивне виконання нагадує звичайні чашки, що, власне, і стало підставою для його назви. Історично, це найдавніший вимірник вітру. Він придуманий ще 1846 року вченим Джоном Робінсоном і за майже двісті років існування не змінився. А тому нині вважається трохи примітивним. Його головний недолік у тому, що міряє він лише рух вітру горизонталлю. Тобто, впіймавши потік повітря, пристрій визначає його швидкість у горизонтальній площині. Незважаючи на обмеженість вимірів, чашковий анемометр часто використовують метеологи. Він простий, надійний та успішно знаходить своє застосування на вузькоспеціалізованих метеостанціях [5].

Крильчастий анемометр оснащений лопатями стандартного пропелерного типу. Зовні він має схожість із комп'ютерним кулером - також крутиться, вловивши повітряний потік. При цьому повітряні маси цей прилад вловлює в різних площинах та напрямках.

Термодатчиковий прилад для вимірювання повітряних потоків - найуніверсальніший та мультизадачний. За фактом, він може, як виміряти швидкість вітру, так і всі параметри повітряних мас у будь-якому напрямку. Виявлення повітряного потоку відбувається з допомогою телескопічного датчика. Вбудований датчик спрацьовує, використовуючи ультразвук. Це акустичний спосіб виміру параметрів повітряних мас. Датчик визначає швидкість та інші показники повітряного потоку, а цифрова плата усередині обробляє цю інформацію та виводить її на екран.

Цифровий анемометр з вбудованим ультразвуковим датчиком буває трьох видів:

- ✓ Двовимірний;
- ✓ Тривимірний;
- ✓ Температурний.

Перший варіант - найпростіший, він показує швидкість та напрямок вітру. Тривимірний анемометр може прорахувати не два, а кілька параметрів. До них відносяться:

- ✓ Швидкість руху повітря.
- ✓ Його напрямок.
- ✓ Атмосферний тиск.
- ✓ Витрата (час проходження та обсяг повітря).

Враховуючи широкий спектр і можливості використання анемометра, він буде слугувати для даного бакалаврського дослідження основним приладом для отримання експериментальних вимірювань.

Вимірювання даних відбувався за допомогою анемометра Eurotron Mini Air Pro –LV50 (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 - Анемометр Eurotron Mini Air Pro – LV50

Даний анемометр складається з двох частин.

Основна система з електронним дисплеєм та кнопка керування (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 - Основна частина анемометра

На основний дисплей в звичайному режимі роботи виводиться поточне значення швидкості вітру та температури в середовищі перебування (рисунок 2.5). Анемометр оснащений функціями збереження даних, виведення мінімального та максимального значення отриманого під час вимірювання.

Під час використання у нас є можливість вибрати одну з двох мов (англійська та французька). Для вибору (при вимкненому пристрої) натисніть і утримуйте «OK». Потім натисніть «ON/OFF». Натисніть «HOLD», щоб підтвердити англійську мову, і натисніть «SELECT», щоб вибрати французьку.

Початок роботи: Щоб увімкнути, натисніть «ON/OFF». Натисніть «OK», щоб почати автоматичне обнулення.

Зміна одиниць вимірювання: Натисніть «SELECT», щоб прокрутити вниз меню (одиниці та повітряний потік). Коли з'являться одиниці, натисніть «OK». Прокрутіть вниз одиниці вимірювання швидкості повітря натиснувши «SELECT» і підтвердіть натисканням «OK». Дійте так само для вибору одиниці температури.

Розрахунок середнього показника швидкості: Натисніть «SELECT», щоб прокрутити меню вниз. Коли «average» натисніть «OK».

Щоб почати розрахунок, натисніть «OK».

Щоб зупинити обчислення, натисніть «OK». Потім відображається результат.

Щоб почати інший розрахунок, натисніть «OK» і поверніться до поточного вимірювання, натисніть «ESC».

Відображення мінімального та максимального значення: Для відображення мін. і макс. значення натисніть «MIN/MAX». Щоб повернутися до поточного вимірювання, натисніть «ESC».

Збереження поточного значення: Щоб утримати вимірювання, що триває, натисніть «HOLD» один раз. Натисніть двічі, щоб повернутися до вимірювання.

Вимкнення: Щоб вимкнути, натисніть і утримуйте «ON/OFF» протягом кількох секунд.

Дані що передаються на основний модуль анемометра отримуємо з датчика швидкості вітру, який також містить в собі термодатчик та має вигляд (рис. 2.6):



Рисунок 2.6 – Датчик вітру та температури.

В поточній моделі використовується вихровий датчик швидкості вітру та датчик температури RTD Pt100 (рисунок 2.6).

Характеристики вимірювання швидкості вітру:

Діапазон вимірювання: Від 0,4 до 30 м/с.

Точність вимірювання: Зазвичай в межах $\pm (0,1 \text{ м/с} + 3\% \text{ від зчитування})$, але ця точність може варіюватися в залежності від умов вимірювання.

Роздільна здатність: Зазвичай 0,1 м/с.

Характеристики вимірювання температури:

Діапазон вимірювання: Від 0 до 50 °С.

Точність вимірювання: Зазвичай $\pm 0,8 \text{ °С}$.

2.3 Проведення вимірювань швидкості вітру

Для дослідження вітрового потенціалу та проведення вимірювання швидкості вітру для подальшого їхнього аналізу вибрана територія дачного будинку у місті Івано-Франківськ, за адресою вул. Лучна 27/1. Сам процес вимірювання відбувався на задньому дворі, де попередньо було обрано місце розташування ВЕС (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Процес вимірювання швидкості вітру

Вимірювання здійснювалися впродовж тижня з певною періодичністю, а саме в 13:00, 17:00 та 20:00. Щоразу фіксувалися три значення швидкості вітру

та визначалося середнє значення. Результати у вигляді середньої швидкості вітру наведено нижче (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань

День вимірювання	Час вимірювань	Значення температури	Отримані дані. м/с	Середній показник вітру. м/с
Середа (08.02.24)	13:00	14,3 °C	1,6	1,7
	17:00	17,0 °C	1,4	
	20:00	16,2 °C	2,1	
Четвер (09.02.24)	13:00	11,1 °C	1,9	2,2
	17:00	14,7 °C	2,5	
	20:00	13,2 °C	2,2	
П'ятниця (10.02.24)	13:00	12,3 °C	5,1	4,2
	17:00	15,1 °C	3,8	
	20:00	14,4 °C	3,7	
Субота (11.02.24)	13:00	13,8 °C	1,4	2,4
	17:00	15,6 °C	2,6	
	20:00	14,3 °C	3,2	
Неділя (12.02.24)	13:00	16,1 °C	0,5	0,8
	17:00	18,2 °C	0,6	
	20:00	16,9 °C	1,3	
Понеділок (13.02.24)	13:00	15,9 °C	3,1	3,1
	17:00	17,8 °C	2,9	
	20:00	16,3 °C	3,3	
Вівторок (14.02.24)	13:00	14,7 °C	3,6	2,6
	17:00	16,5 °C	2,9	
	20:00	15,0 °C	1,3	

Після проведення вимірювань, використовуючи лише анемометр, виконаю повторне аналогічне вимірювання, моделюючи трекер вітру, тобто використовуючи флюгер як додатковий елемент системи. Результати повторного вимірювання наведено нижче (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Результати вимірювань, моделюючи трекер вітру

День вимірювання	Час вимірювань	Значення температури	Отримані дані. м/с	Середній показник вітру. м/с
Середа (08.02.24)	13:00	14,3 °C	1,7	1,8
	17:00	17,0 °C	1,6	
	20:00	16,2 °C	2,2	
Четвер (09.02.24)	13:00	11,1 °C	2,2	2,3
	17:00	14,7 °C	2,6	
	20:00	13,2 °C	2,2	
П'ятниця (10.02.24)	13:00	12,3 °C	5,4	4,5
	17:00	15,1 °C	4,0	
	20:00	14,4 °C	4,1	
Субота (11.02.24)	13:00	13,8 °C	1,4	2,6
	17:00	15,6 °C	2,7	
	20:00	14,3 °C	3,6	
Неділя (12.02.24)	13:00	16,1 °C	0,5	0,8
	17:00	18,2 °C	0,6	
	20:00	16,9 °C	1,4	
Понеділок (13.02.24)	13:00	15,9 °C	3,5	3,4
	17:00	17,8 °C	3,0	
	20:00	16,3 °C	3,8	
Вівторок (14.02.24)	13:00	14,7 °C	3,6	2,7
	17:00	16,5 °C	3,3	
	20:00	15,0 °C	1,3	

Порівнюючи дані таблиці 2.2 та таблиці 2.3, бачимо, що моделювання системи з флюгером призвело до отримання вищих значень середньої швидкості вітру, що у результаті збільшить генерацію електроенергії. Особливо вагому зміну у значенні можемо побачити в дні з більш вітряною погодою. Середні значення збільшились орієнтовно на 10%, що задовольняє умови поставленої задачі. Також важливо зазначити те, що використовуючи більш якісні компоненти системи, та автоматизуючи її, відсоток генерації ще збільшиться.

2.4 Визначення похибки вимірювання швидкості вітру

Аналізуючи результати вимірювання, що отримали (таблиця 2.3), бачимо що через недостатньо велику швидкість вітру у такі дні як середа та неділя, генерація буде близька до нуля, електроенергію в даний час будемо споживати з зовнішньої мережі, тому їх до розрахунку не беремо.

Розрахуємо середній показник швидкості вітру за допомогою формули:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_n, \quad (2.1)$$

де n – кількість значень, x_n – значення.

Проводимо розрахунки та отримуємо значення 3,1 м/с.

Щоб розрахувати похибку вимірювання на анемометрі Eurotron Mini Air Pro – LV50, переглянемо його характеристики.

Точність вимірювання вказана як $\pm (0,1 \text{ м/с} + 3\% \text{ від зчитування})$.

У цьому випадку, якщо отриманим результатом є 3,1 м/с, похибка буде сумою абсолютної похибки і похибки у відсотках:

$$\text{Похибка} = 0,1 \text{ м/с} + (3/100) * 3,1 \text{ м/с} = 0,1 \text{ м/с} + 0,093 \text{ м/с} = 0,193 \text{ м/с}.$$

Отже кінцеві результати вимірювання є $3,1 \pm 0,193 \text{ м/с}$.

2.5 Визначення енергопотребі будинку

Аналіз об'єму споживання електроенергії дає можливість визначити середню кількість спожитої електроенергії за місяць та підібрати складові ВЕУ.

Аналіз та розрахунок проведено на прикладі власної оселі, використовуючи середні значення споживання електроенергії побутовою технікою. Узагальнена інформація щодо споживання основними споживачами енергії наведена в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок споживання електроенергії

Добове споживання						
Споживач	Р, Вт	Кількість	Загальна потужність, Р _{заг}	Пікова пускова потужність, Р _п	Час автономної роботи, t	Споживання ЕЕ за час АР, Вт*год
Лампи	5	25	125	125	5	625
Холодильник	380	1	380	920	8	3040
Водяний насос	750	1	750	1000	1,5	1125
Газовий котел	140	1	140	280	5	700
Телевізор	150	1	150	150	4	600
Ноутбук	240	1	240	240	5	1200
Роутер	9	1	9	9	8	72
Модем	6	1	6	6	8	48
Мобільний телефон	20	2	40	75	3	120
Інші побутові прилади						2500
Сумарне значення			1840	2805		10030

Важливо розуміти, що точно підрахувати кількість вживаної електроенергії неможливо, і точну потужність ВЕУ для повної енергонезалежності рахувати не доцільно, так як вироблення енергії там є непостійним. Багато приватних будинків окрім електроенергії, використовують також газ. До прикладу газова плита або бойлер (водонагрівач), потребують як і

електроенергії, так і газ. Тому розрахунки проведено виключно з електронних побутових приладів.

Висновки до розділу 2

В розділі наведено результати дослідження швидкості вітру, які є першим етапом у проектуванні ВЕУ для приватних домогосподарств.

Розрахунки навантаження проводились для добового споживання, але для проектування я буду використовувати пікове.

Вимірювання проводились щоденно протягом семи днів у різний час доби. При цьому не було враховано зміну напрямку вітру, а вибрано орієнтацію відповідно до рози вітрів. Розраховано середнє значення швидкості вітру для заданої місцевості.

Крім того, проведено аналогічні вимірювання, враховуючи зміну напрямку вітру. Тобто, провівши імітаційне моделювання підтверджено вплив зміни положення лопатей на отримані значення швидкості вітру. Різниця сягала до 10% та зростає при зростанні швидкості вітру.

Усе вищезгадане вказує на те, що дослідження ситуації вітрових електростанцій на території Івано-Франківської області має велике значення в контексті розвитку вітроенергетики в Україні та вирішення енергетичних та екологічних проблем. Також це сприяє вдосконаленню сучасних технологій відновлюваної енергетики, розкриває перспективи для подальших досліджень та інновацій в напрямку створення ефективних та сталих енергетичних систем.

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ВЕС ТА ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ

На сьогоднішній день питання впровадження енергозберігаючих практик у повсякденному житті набуває дедалі більшої актуальності. Відтак, серед населення наразі гостро постає питання щодо енергозбереження та, відповідно, економії енергоресурсів, у тому числі споживання електроенергії.

Адже це не лише економічна вигода для споживачів та зменшення навантаження на електричні мережі, а також збереження довкілля для наших нащадків.

В Україні, як і в інших країнах, стан впровадження заходів з енергозбереження є вкрай недостатнім, а в житлово–комунальному господарстві – критичним. Тому практичні кроки у напрямі енергозбереження скоріше є підтвердження культури та високого рівня свідомості суспільства. До них також належить складання плану електричного споживання. Він дозволяє виділити пристрої, які необхідно забезпечити електричною енергією перш за все.

3.1 Визначення складових та створення схеми підключення ВЕС

Враховуючи наслідки ударів російської федерації по об'єктах критичної інфраструктури України, розглядаємо проєктування ВЕС яка зможе частково замінити використання електроенергії найнеобхіднішими пристроями під час екстрених та планових відключеннях.

Як бачимо з таблиці 2.4, під час автономної роботи ВЕС тривалістю 8 год, перевага буде надаватися саме цим споживачам електроенергії. Подальші розрахунки передбачають автономну роботу системи без можливості генерації додаткової електроенергії ВЕС, що в звичайних умовах є майже неможливим, адже ВЕС генерують електроенергію навіть уночі.

Таким чином, необхідно скласти проєкт автономної ВЕС, що забезпечить потребу в електроспоживанні згідно з планом електричного споживання на період автономної роботи вищевказаних приладів протягом 8 год. В інший

період роботи електроенергія частково буде генеруватися з ВЕС (за умови 100% заповнення АКБ), а деяка частина буде споживатися з зовнішньої промислової електромережі 220 В.

Автономна вітрова електростанція – один з найкращих варіантів для резервного, ато і основного способу живлення невеликих будинків. Проте її створення повинно бути добре продуманим. Відповідно до принципу роботи цієї ВЕС вітрова енергія перетворюється в постійний електричний струм (за допомогою вітрових турбін), який подається до контролера заряду. Контролер заряду автоматично встановлює оптимальні налаштування постійного струму для заряду АКБ. Коли АКБ повністю заряджені, то зайва електроенергія подається до автономного інвертора напруги (DC/AC), підключеного до споживачів змінного струму.

Автономна ВЕС, крім вітрових турбін, як правило, містить акумуляторні батареї (АКБ) і контролер заряду/розряду. За необхідності електропостачання споживачів, які потребують стандартної напруги 220 В і більше змінного струму, до складу ВЕС необхідно включити інвертор.

У години, коли вітру немає або його енергії недостатньо для генерації достатньої кількості електрики, електроенергія з АКБ подається до інвертора, де перетворюється у змінну і потім вже живить обов'язкових споживачів змінного струму (вибір електричних приладів, що є першочерговими споживачами електричної енергії, наведено у плані електричного споживання). Функції інверторів дозволяють здійснювати гнучке налаштування схеми роботи ВЕС.

Отож, в даному випадку автономна ВЕС буде працювати за таким режимом: вся накопичена за час роботи вітротурбін надлишкова електроенергія в АКБ буде використовуватися у періоди безвітря, вечірній, нічний та ранішній час для живлення обов'язкових споживачів. Правильний розрахунок потужності масиву вітрових турбін і достатня енергоємність АКБ дозволить забезпечити повну автономність об'єкта.

Таким чином, запропонована ВЕС буде складатися з:

1. Вітрової турбіни;
2. Датчику вітру;
3. Контролера заряду;
4. Автономного інвертора;
5. Системи акумуляторних батарей.

Схема ВЕС автономного типу постійного струму подана на рис. 3.1.

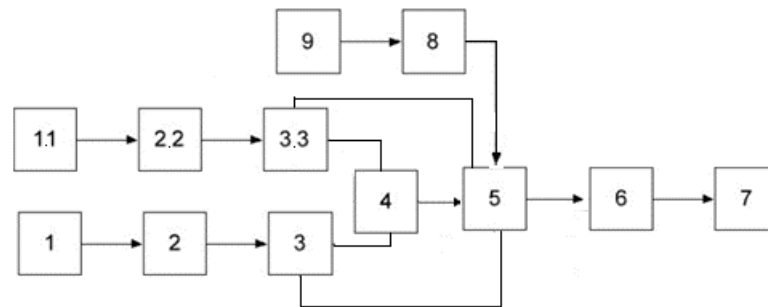


Рисунок 3.1 - Структурна схема вітроелектростанції:

(1; 1.1) – Вітрогенератори; (2; 2.2) – Щити захисту змінного струму; (3; 3.3) – Контролери заряду; 4 – АКБ; 5 – Інвертор автономний; 6 – Щит захисту змінного струму; 7 – Споживачі електричної енергії; 8 – Прилад обліку електроенергії; 9 – Мережа зовнішня промислова

Контролер заряду – це електронний пристрій із вбудованим автономним інвертором струму DC/AC, що оптимізує параметри енергії між вітровою турбіною і АКБ. На цей час великою популярністю користуються 2 види контролерів заряду, а саме ШІМ і МРРТ.

Принцип роботи ШІМ контролера заряду СП ґрунтується на досягненні постійної напруги на акумуляторі. ШІМ контролери (PWM-типу) забезпечують заряд АКБ. Як ємнісні накопичувачі пропонується використовувати свинцево-кислотні герметизовані батареї, або літієві аналоги.

Вибір здійснимо пізніше, виходячи з проектних можливостей станції. Робота МРРТ контролера заряду базується на пошуку точки максимальної потужності.

MPPT-контролери заряду можуть заряджати ємнісні свинцево-кислотні, свинцево-сурм'янисті, нікель-кадмієві або літієві накопичувачі енергії більш високого класу.

Графічне зображення схеми ВЕС буде мати наступний вигляд (рисунок 3.2).

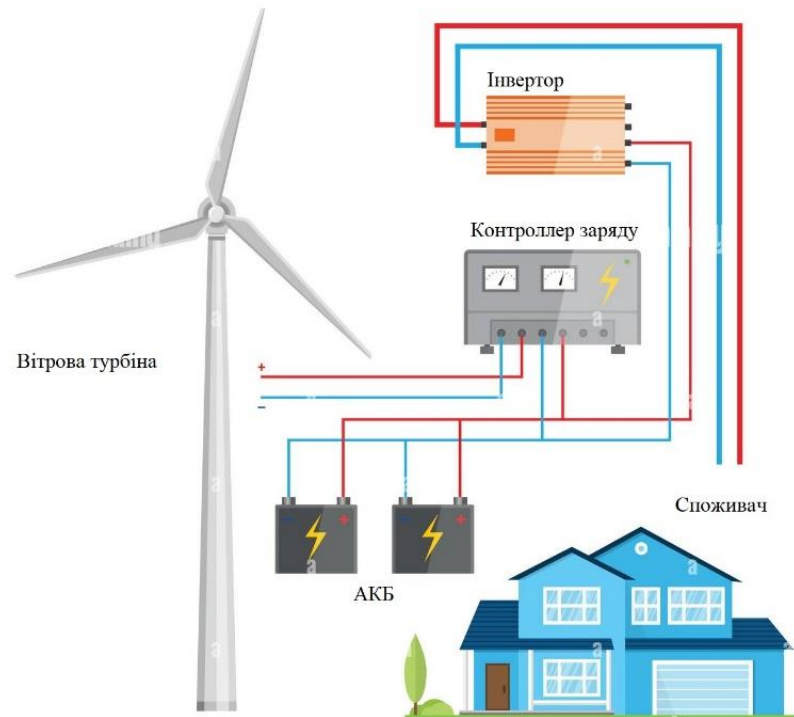


Рисунок 3.2 – Графічне зображення схеми ВЕС

Найпоширенішою помилкою для малих вітрових систем є встановлення вітрогенератора на занадто короткій вежі. Це еквівалентно розміщенню сонячного колектора в тіні.

Вихід від вітрогенератора пов'язаний зі швидкістю вітру в кубічному відношенні – тобто подвоєння швидкості, доступної для вітрової системи, збільшення потужності доступну в вісім разів. Високі башти, які мають швидкість вітру, можуть отримати більше енергії. Швидкість вітру збільшується, а турбулентність зменшується з висотою.

Нижче висоти 20 м тертя між вітром і землею значно уповільнює швидкість вітру. Ця зона також часто дуже турбулентна.

Оптимальна висота розміщення вітрогенератора наведена на рис. 3.3.

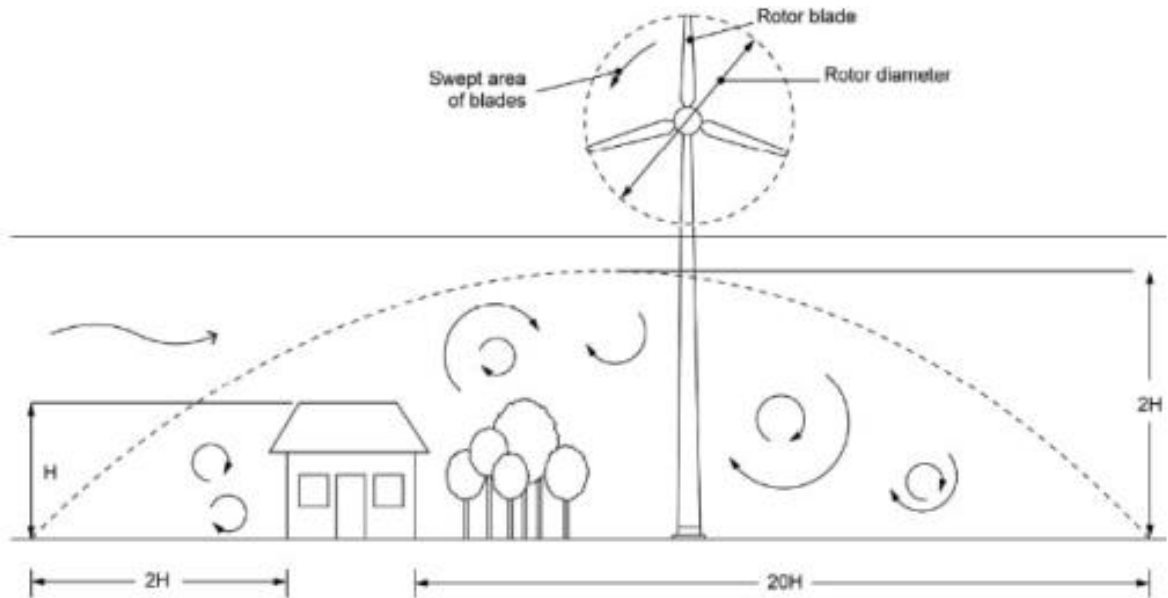


Рисунок 3.3 – Оптимальна висота розміщення вітрогенератора

Турбулентні вітри поширюються удвічі більше висоти перешкоди та відстані по вітру, що перевищує висоту перешкоди у 20 разів. Вежі висотою щонайменше 24 м є доречними в районах, де земля рівна або піднята і в 150 м немає перешкод. Вежа також повинна бути принаймні на 300 м від будь-яких крутих обривів або різких змін висоти.

Діаграма ілюструє тестування плавного ламінарного повітря за допомогою повітряної кулі, ліній міток та лінії прив'язки. Якщо на ділянці є захаращення ґрунтом, оцінювач ділянки або монтажник повинен розрахувати мінімальну висоту вежі, виходячи з близькості та висоти навколишньої захаращеності.

Загальним правилом для мінімальної висоти башти є те, що дно ротора турбіни або лопатки повинні бути принаймні на 10 метрів над найвищою перешкодою в межах 150 метрів або сусідньої висоти дерева. Для дерев це означає зрілу висоту дерева протягом 20-30 років життя, а не поточну висоту дерева. Варто розглянути також будь-які майбутні плани будівель[10].

Фактично це означає, що мінімальна висота вежі: (висота найвищої перешкоди в межах 150 м) + (10 м буфера) + (довжина клинка обраної вітрової

системи). Потім оцінювач ділянки повинен округлити це число до наступної доступної висоти вежі.

Додаткові витрати на встановлення вищої вежі завжди окупляться додатковою виробленою енергією. Для малих вітрових систем зазвичай потрібні вежі довжиною 24 м, 30 м або 36 м. Висота 42 м може знадобитися в районах з декількома ближчими вищими перешкодами, такими як дерева.

Розрахунок оптимального вітрового потоку проводиться за умов як на рис. 3.4.

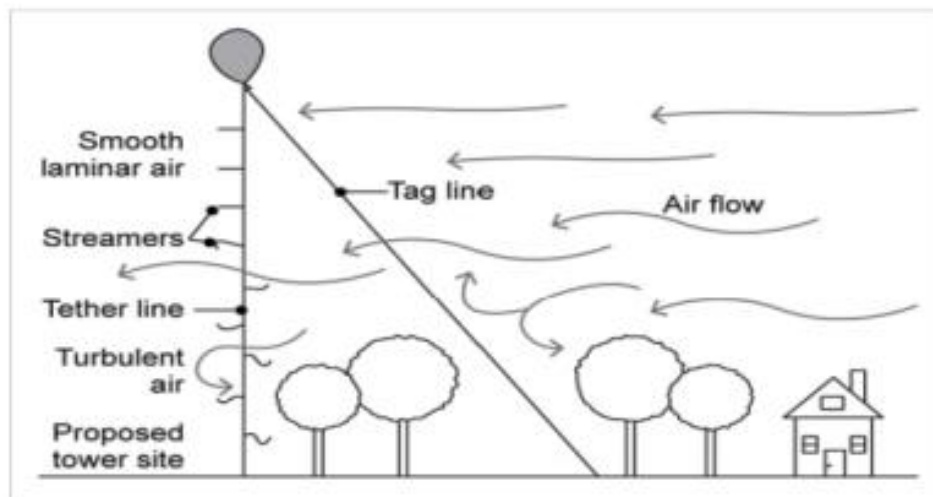


Рисунок 3.4 – Розрахунок оптимального вітрового потоку

3.2 Підбір вітрогенератора для ВЕС

Для того, щоб вітряк працював ефективно, мінімальна швидкість вітру повинна бути достатньою для запуску його механізмів. Зазвичай, мінімальна швидкість вітру для запуску вітряка становить близько 3-5 метрів на секунду.

Проте, варто зазначити, що існують різні типи вітряків і деякі можуть пристосовуватися до нижчих швидкостей вітру.

В умовах дуже низьких швидкостей вітру, менше 3 м/с, ефективність багатьох традиційних горизонтальних вітряних турбін значно знижується, і вони можуть навіть не запускатися.

Однак, можемо використати ротор Оніпка для проектування ВЕС, що буде працювати при низькій швидкості вітру (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Ротор Оніпка.

Вітрогенератор має форму конусоподібного шнека, який зорієнтований вершиною проти вітру. Дозволяє виробляти енергію при швидкості вітру починаючи від 0,3 м/с, що є характерним для «вітрильних» турбін з горизонтальною віссю (для порівняння – промислові вітрогенератори потребують швидкості вітру від 3 м/с). Ротор характеризується розробником як ефективний, безшумний та безпечний для птахів – з ККД близьким до теоретичного максимуму 59,3% та рівнем шуму 50 дБ[13].

Розрахунок вироблення енергії для ротора типу Оніпка відбувається на основі декількох факторів, включаючи швидкість вітру, площу поперечного перерізу лопатей ротора та ефективність генератора електроенергії (графік 3.1) [3]:

$$P = \frac{1}{2} \times A \times \rho \times V^3 \times \eta \quad (3.1)$$

де A - площа поперечного перерізу лопатей ротора (в квадратних метрах),

ρ - густина повітря (в кілограмах на кубічний метр),

V - швидкість вітру (в метрах на секунду),

η - ефективність генератора (у відсотках).



Графік 3.1 – Залежність вихідної потужності від малих вітрів

У лабораторії Української Академії Наук розроблені моделі різних розмірів роторів Оніпка. Проведено кропітку роботу з визначення оптимальної форми для різних діаметрів ротора [14].

Просте копіювання моделі (збільшення-зменшення розмірів) автоматично не зберігає оптимальний ККД пристрою. Це засвідчили досліди в аеродинамічній трубі. За їхніми результатами було визначено найоптимальніші форми конструкції для різних діаметрів ротора.

Наприклад, невеличкий ротор – розміром з побутовий вентилятор – може стояти на балконі, виробляючи до 200 ват енергії. Цього достатньо, аби жити дві старі стоватні лампочки, або кілька енергозберігаючих, чи сучасний комп'ютер з телевізором.

Трьохметровий ротор здатен давати потужність до 3 кіловат при сильному вітрі. У середньому за місяць він виробляє близько 300 кіловат-годин електроенергії. Більшості домоволодінь одного такого вітрогенератора вистачить для повного забезпечення усіх побутових електроприладів, окрім опалення [12].

Два-три таких ротори забезпечать ще й опалення будинку в зимовий період. Допоки процес виробництва не поставлений на комерційну основу

(існує лише в експериментальних цехах) про його вартість можна говорити досить умовно. Такий ротор можна виготовляти з різних матеріалів.

Перші зразки були склепані з алюмінієвих листів. Вага 3-кіловатного ротора (самого механізму без щогли та генератора) становила близько 40 кілограмів. Наразі існують різні варіанти матеріалів для виготовлення ротора Оніпка – пластик, акрил і т. ін.

За розробками й кресленнями Олексія Оніпка ротори виготовляють з акрилу на підприємстві, яке спеціалізується на виготовленні сантехніки. Акриловий ротор важить близько 18 кілограмів, має приємний естетичний вигляд, може бути пофарбований у різні кольори на бажання замовників[15].

Отож при виборі вітрогенератора зупинемося на роторі Оніпка (рис. 3.6). Для максимальної потужності діаметр вітрового колеса ротора становить 4,6 м, що дасть можливість продукувати до 2.5 кВт електричної енергії. Проектований вітрогенератор складається з декількох модулів: ротор, генератор, струмознімач і маточина. Також планується створення конфігурації цього вітрогенератора, яка, своєю чергою, складатиметься з ротора і генератора, що додасть їй легкості вбудовування в конструкцію.

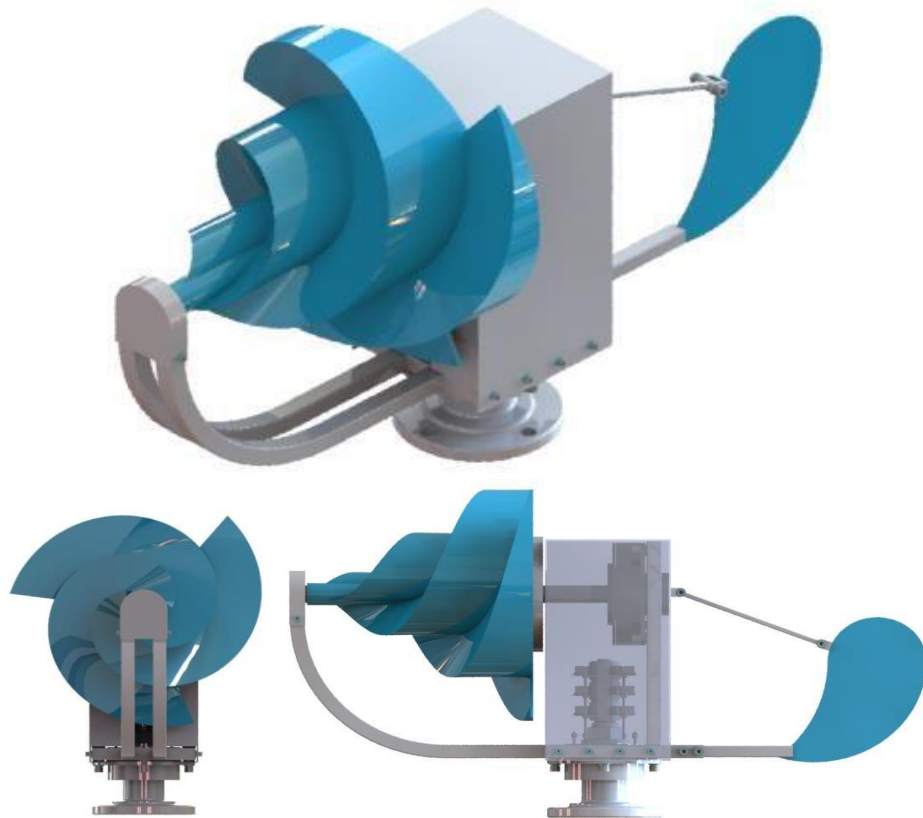


Рисунок 3.6 – Ротор Оніпка

Виходячи з проведеного аналітичного огляду, було ухвалено рішення сконструювати горизонтальний ротор Оніпка, тому що цей ротор примітний не тільки своїми зовнішніми особливостями, а й технічними: низька швидкість стартування, безшумність. Ротор Оніпка планується виготовляти зі склопластику, тому що цей матеріал міцний і недорогий.

Ротор з'єднується з валом (рис. 3.7) за допомогою квадратного отвору за допомогою якого передається рух з ротора на вал. Вал з'єднуються з генератором за допомогою сполучної муфти.



Рисунок 3.7 - Вал ротора

Генератор (рис. 3.8) у цій роботі прокреслено концептуально, оскільки в планах його купівля.



Рисунок 3.8 – Генератор

Конструкція спроектованого вітрогенератора передбачає наявність маточини (рис. 3.9), яка забезпечує обертання вітрогенератора за напрямком вітру.

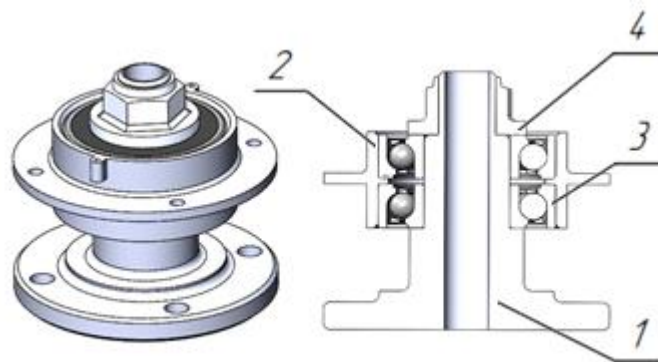


Рисунок 3.9 – Маточина:

1 - нерухома частина, 2 - рухома частина, 3 - підшипник, 4 - гайка

Маточина складається з рухомої та нерухомої частин, між якими встановлено підшипники, що забезпечують легкість обертання. Фіксувальним елементом конструкції є гайка.

Під час обертання вітрогенератора можливе скручування проводів. Для цього, щоб виключити цю проблему, було опрацьовано струмознімач (рис. 3.10). Струмознімач оснащений щітками, на які кріпляться дроти, що йдуть з

генератора. Щітки передають електрику на колектор. Далі електрика передається з колектора по проводах для подальшого використання.

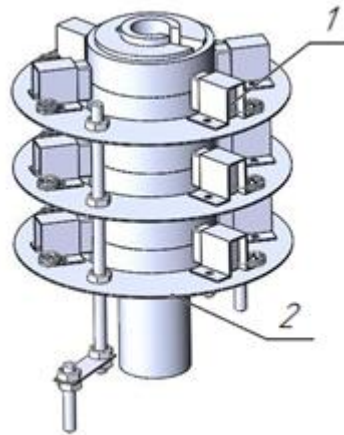


Рисунок 3.10 – Струмознімач:

1 - щітка, 2 - колектор.

3.3 Підбір інвертора для ВЕС

Інвертори автономні застосовуються для акумуляторних автономних станцій і працюють без зв'язку з зовнішніми мережами.

Всі сучасні інвертори містять приблизно наступний перелік характеристик:

1. ККД. Параметр, який показує отриману при перетворенні кількість електроенергії. Чим вище ККД, тим менше енергії втрачається в процесі. Сучасні інвертори працюють, в середньому, на рівні 95% ККД.

2. Потужність: пікова, номінальна і в режимі очікування. В теорії номінальний параметр повинен відповідати сумі навантажень всіх споживачів енергії. На ділі ж найчастіше в розрахунок беруть максимально можливе навантаження. Що ж стосується режиму очікування, то значення цього параметра має бути приблизно 1% від номінальної потужності.

3. Напруга на вході і на виході. Вхідна напруга має відповідати потужності інвертора. Оптимальний розподіл приблизно наступний:

- навантаження до 600 Вт = напруга 12 В;
- навантаження 600 Вт – 1.5 кВт = напруга 24 В;
- навантаження 1.5 кВт і вище = напруга 48 В.

За отриманими результатами робимо висновок, що обраний інвертор повинен забезпечувати пікову потужність споживання. У нашому випадку вона становить 2433 Вт. Тому для запропонованої автономної СЕС обираємо інвертор Quattro 48/5000/70-100/100 (рис. 3.11) з основними характеристиками:

✓ Вихідні показники:

1. Напруга 230 В \pm 2%;
2. Частота 50 Гц \pm 0,1%.

✓ Вихідна потужність:

1. 4 кВт при 25 С;
2. 3,7 кВт при 40 С;
3. 3 кВт при 65 С.
4. Пікова потужність 10 кВт.

✓ ККД 95%.

Детальні характеристики інвертора наведено у додатку А.



Рисунок 3.11 – Інвертор автономний Victron Energy Quattro 48/5000/70-100/100

3.4 Підбір акумуляторної системи накопичення енергії

Підбір акумуляторних батарей має здійснюватися за умови, що нам необхідно забезпечити безперебійне електропостачання на весь час автономної роботи. За отриманими раніше даними, цей показник становив 12,05 кВт·год.

Як відомо, встановлювати АКБ ємності, аналогічної до отриманої в плані електричного споживання, не варто. Дослідження показують, що варто брати АКБ з надлишковою ємністю. Саме так може бути досягнуто оптимальної ємності батарей, що забезпечить електроенергією прилади, наведені у плані електричного споживання. Проведемо розрахунки, що дозволять визначити необхідну ємність АКБ.

Надаємо перевагу літєвим акумуляторам над свинцево-кислотними, оскільки показники DOD та SOC в них значно кращі. В якості основного елемента системи накопичення заряду обираємо літєву АКБ фірми Pylontech (рис. 3.12) типу US5000 з номінальною ємністю 4,8 кВт·год[8].



Рисунок 3.12 – АКБ Pylontech US25000

Визначаємо необхідну ємність акумуляторних батарей з урахуванням величини споживаної потужності за час автономної роботи.

1. З урахуванням ККД інвертора, підбраного на попередньому етапі, кількість енергії, спожитої з АКБ за час автономної роботи, становитиме:

$$P_{\text{заг_АКБ}} = P_{\text{спож}} : \eta_{\text{інв}} (\text{кВт}\cdot\text{год}) = 10,1 / 0,95 = 10,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

2. За відомого значення напруги АКБ та кількості спожитої енергії за заданий період часу розраховуємо необхідну ємність АКБ:

$$C_{AKB} = 10600 \text{ Вт}\cdot\text{год}.$$

3. З урахуванням коефіцієнта температурного зменшення ємності АКБ необхідна ємність АКБ матиме значення:

$$C_{AKB_необх} = C_{AKB} \cdot k_{t_C} \text{ (кВт}\cdot\text{год)} = 10,6 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

де $k_{t_C} = 1$ – для літєвих АКБ.

4. З урахуванням дозволеної глибини розряду АКБ (DOD) необхідна ємність АКБ становитиме:

$$C_{AKB_необх} = C_{AKB_необх} : DOD \text{ (кВт}\cdot\text{год)} = 10,6 / 0,9 = 11,8 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

DOD – максимально дозволена глибина розряду АКБ, що для літєвих батарей становить 0,9.

Слід врахувати, що ємність літєвих батарей в документаціях задається в кВт·год, а свинцево-кислотних – в А·год.

За значенням потужності обраної групи споживачів визначаємо мінімальну ємність АКБ при її довготривалому розряді:

- 1) мінімальний струм розряду:

$$I_{AKB} = P_{заг} : U_{AKB} \text{ (А)} = 1840 \text{ Вт} / 48 \text{ В} = 38,3 \text{ А}.$$

- 2) мінімальна ємність АКБ з урахуванням рекомендованого струму розряду:

$$C_{min} = I_{AKB} : xC \cdot U \text{ (10}^{-3} \text{ кВт}\cdot\text{год)} = 38,3 \text{ А} \cdot 48 \text{ В} / 0,5 = 3,7 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

де $x_C = 0,5$ – рекомендований виробником АКБ струм розряду для літєвих АКБ.

3) Визначаємо необхідну кількість АКБ:

$$N_{АКБ} = C_{АКБ_необх} : C_{АКБ_ном} = 11,8 / 2,2 = 6 \text{ шт.}$$

Відповідно, загальна ємність АКБ становитиме $6 \cdot 2,2 = 13,2$ кВт·год.

Оскільки кількість АКБ в системі не більша за 8 і становить 6 шт., то, за рекомендацією виробника, в систему потрібно буде також підключити допоміжний комунікуючий пристрій Pylontech LV-hub.

В систему накопичення енергії також важливо включити контролер заряду. Він заряджає акумуляторну батарею правильними струмом і напругою. А також допомагає уникнути перезаряду чи глибокого розрядження.

Отже, найважливіші завдання цього пристрою:

1. Зарядка акумулятора;
2. Ввімкнення навантаження після того, як відновився заряд;
3. Відключення пристрою, коли батарея зарядилася повністю;
4. Припинення навантаження під час повної розрядки;
5. Автоматичне увімкнення струму, коли потрібна зарядка.

Завдяки КЗ обладнання слугує довше, а поломки трапляються рідше. Перед тим, як обрати КЗ, слід проаналізувати варіанти обладнання та можливості кожного. Існують наступні види контролерів:

- з найпростішим алгоритмом ON/OFF;
- на основі принципу ШІМ – з широтно-імпульсною модуляцією;
- МРРТ-пристрої, які стежать за точками максимальної потужності;
- гібридні.

Найпростіший пристрій – КЗ, що працює за принципом «ON/OFF». Він вимикає заряд, коли струм є максимальним, щоб не було перегріву. Значний

мінус такого контролера – акумулятор ніколи не заряджатиметься на 100%, через що термін експлуатації може суттєво зменшитися.

Інакший КЗ за допомогою ШІМ знижує струм, коли показник досягає максимуму.

Третій тип – МРРТ КЗ – найпопулярніший. Його принцип дії простий: перетворення максимальної напруги в ту, яка є оптимальною і забезпечує найвищий показник потужності. Завдяки цьому заряд АКБ можливий до ста відсотків. МРРТ аналізує показники системи, а на їхній основі визначає, завдяки яким параметрам обладнання досягне найбільшої потужності. Ефективність роботи, порівняно з ШІМ-контролером, зростає до 30%.

Основна функція таких пристроїв – уникнення надлишкової генерації електроенергії.

До параметрів, які слід врахувати під час вибору, належать:

- вхідна напруга. Має бути на 20% більша від усіх підключених пристроїв у режимі роботи;
- сумарна потужність – не вища від показника вихідних напруги та струму, коли відбувається повна розрядка акумулятора;
- можливості захисту – від перегрівання, короткого замикання, перезарядження тощо;

Для нашої ВЕС обираємо контролер заряду MarsRock 3000 Watt Hybrid МРРТ Charge Controller (рис. 3.13) [6]. Його основними характеристиками є такі показники:

- ✓ Напруга = 48 В;
- ✓ Номінальний струм заряду = 33 А;
- ✓ Номінальна потужність при 48 В = 3000 Вт;
- ✓ Захист від короткого замикання на виході, перегріву та перезаряду.



Рисунок 3.13 – Контролер заряду MarsRock 3000 Watt Hybrid MPPT Charge Controller

Важливо врахувати, що контролер заряду є гібридним, що дасть нам можливість не змінюючи основне обладнання приєднати до систем масив ФЕМ.

3.5 Підбір генератора

При виборі генератора зупинився на виробнику IstaBreeze.

IstaBreeze – це компанія, яка спеціалізується на виробництві та постачанні вітрових турбін для домашнього та комерційного використання. Вони пропонують широкий асортимент продуктів, призначених для використання в різних умовах та для різних потреб.

Основні характеристики та особливості продукції IstaBreeze:

1. **Різноманітність моделей:** Компанія пропонує різні моделі вітрових турбін, від невеликих для домашнього використання до потужних для комерційних об'єктів.
2. **Ефективність та надійність:** Вітрові турбіни IstaBreeze відомі своєю високою ефективністю та надійністю в різних умовах експлуатації.

3. **Сучасні технології:** Компанія постійно вдосконалює свої продукти, використовуючи новітні технології для досягнення кращої продуктивності та забезпечення високої якості.

Обираємо модель PMG 2KW (рис. 3.14), так як вона серед лінійки найкраще підходить по своїм параметрам до обраного ротора [7].



Рисунок 3.14 – Генератор IstaBreeze PMG 2KW

Визначаємо необхідну кількість вітряків для заряду АКБ за формулами:

$$E_{\text{необх}} = C_{\text{акб}} \cdot \text{необх} \cdot DOD : K_{\Gamma} : \eta_{\text{контр}} : \eta_{\text{АКБ}} \quad (3.2)$$

За попередньо опрацьованими даними, $C_{\text{акб}} \cdot \text{необх} = 11,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$; $DOD_{\text{АКБ}} = 90\%$; $K_{\Gamma} = 1$ (оскільки використовуємо літєву АКБ); $\eta_{\text{контр}} = 98\%$; $\eta_{\text{АКБ}} = 94\%$.

Тоді $E_{\text{НЕОБХ}} = 11,8 \cdot 0,9 : 1 : 0,98 : 0,94 = 11,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

За допомогою онлайн-конвертора фізичних величин перетворимо отримане значення в Вт. Отримуємо результат $18,67 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,3 \text{ кВт}$

Проведемо розрахунок необхідної кількості генераторів, для справної роботи системи. Номінальну потужність беремо з технічних характеристик генератора (табл. 3.1):

$$N_B = E_{\text{необх}} : P_{B_ном} \quad (3.3)$$

$$N_B = 3300 : 2500 = 2 \text{ шт.}$$

Бачимо за результатами розрахунків, для проектованої системи буде необхідно два генератори, для продукування необхідної потужності.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики генератора IstaBreeze PMG 2KW

Тип двигуна	112
Кількість полюсів	10
Номинальна потужність, кВт	2,5
Номинальна напруга, В	48
Номинальний струм, А	5,5
Режим роботи	S1
Коефіцієнт потужності cos, phi	1
Ефективність, %	93
Номинальна частота, Гц	50
Номинальна частота обертання, об/хв	600
Клас захисту	IP56
Охолодження	Поверхня / Колесо вентилятора
Момент затягування, Нм	1,2
Діаметр вала, мм	28
Вага, кг	25

3.6 Підбір обладнання для моделювання трекера вітру

Для створення трекера вітру для вітряка можна використати систему, яка автоматично орієнтує вітряк відповідно до напрямку вітру для максимальної ефективності. Така система зазвичай включає кілька ключових компонентів:

Основні компоненти системи трекера вітру:

1. Анемометр та флюгер:

- **Анемометр** вимірює швидкість вітру.
- **Флюгер** вимірює напрямок вітру. Він зазвичай встановлюється на верхівці вітряка і показує напрямок, з якого дме вітер.

Запропоновано модель (рис. 3.15), що поєднує в собі і анемометр і флюгер. Діапазон вимірювання швидкості вітру 0-30 м/с, точність вимірювання напрямку вітру 16 позицій. І основне для нас, що датчики сумісні мікропроцесорними платформами Arduino [9].



Рисунок 3.15 – Датчик швидкості та напрямку вітру

2. Контролер (мікроконтролер або ПЛК):

- Це центральний елемент системи, який обробляє дані з анемометра та флюгера. Мікроконтролер (наприклад, Arduino, Raspberry Pi) або програмований логічний контролер (ПЛК) приймає сигнали з датчиків і приймає рішення про зміну орієнтації вітряка.

3. Приводний механізм:

- Механічна система, яка забезпечує обертання вітряка в потрібному напрямку. Це може бути сервомотор або кроковий двигун, підключений до мікроконтролера або ПЛК.

4. Система живлення:

- Живлення для датчиків, контролера та приводного механізму. Може включати акумулятори або безпосередньо живитися від мережі.

5. Програмне забезпечення:

- Програма, яка працює на контролері і виконує алгоритм обробки даних та керування приводним механізмом.

Принцип роботи системи

1. Анемометр вимірює швидкість вітру, а флюгер – напрямок вітру. Дані передаються на контролер.
2. Контролер отримує дані з анемометра та флюгера і визначає поточний напрямок вітру.
3. Контролер порівнює поточний напрямок вітру з поточною орієнтацією вітряка. Якщо напрямок вітру змінюється, контролер дає команду приводному механізму на поворот вітряка.
4. Приводний механізм повертає вітряк у напрямку вітру.

Приклад реалізації на Arduino

Компоненти:

- ✓ Arduino (мікроконтролер)
- ✓ Анемометр і флюгер (з виходами для підключення до Arduino)
- ✓ Серводвигун (для повороту вітряка)
- ✓ Джерело живлення (батарея або адаптер)

Система трекера вітру складається з датчиків для вимірювання швидкості та напрямку вітру, контролера для обробки даних та керування, приводного механізму для обертання вітряка та відповідного програмного забезпечення. Загальне підвищення ефективності генерації може становити до 15%, залежно від умов експлуатації та характеристик місцевого вітру. Це підвищення може значно покращити економічну ефективність вітряної електростанції.

Висновки до розділу 3

Проаналізувавши дані генерації енергії “ротатором Оніпка” та вирахувавши споживання електроенергії, бачимо що проектування та встановлення даної вітряної електростанції можемо вважати доцільним.

Необхідність встановлення додаткової системи трекеру вітра, включаючи в себе малозатратні об'єкти є доведеною.

Спроектовано структурну схему ВЕС, розраховано та підбрано необхідне обладнання для функціоналу системи. Підбір елементів відбувався, бравши за увагу якість та довговічність складових, легкодоступності у отриманні сервісної допомоги деталей та можливість їх подальшої заміни у випадках необхідності.

ВИСНОВОК

В даній бакалаврській роботі на основі дослідження середньої швидкості вітру спроектовано та підібрано необхідні модулі для системи вітрової електричної станції з трекером вітру.

1. На основі проведеного аналізу вітрового потенціалу України, в особливості м. Івано-Франківськ, було підтверджено, що встановлення ВЕС для енергопостачання приватного будинку є доцільним. Проведений аналіз факторів, що впливають на роботу вітроенергетичних установок, показав, що найважливішими є швидкість і напрямок вітру. Менший вплив мають температура повітря, атмосферний тиск та стан поверхні землі. Використання різних типів роторів для вітроенергетичних установок має свої особливості та недоліки, серед яких основними є обмежені діапазони швидкості вітру для їх ефективної роботи, різні коефіцієнти перетворення енергії вітру та швидкість обертання.

2. Проведено експериментальні дослідження швидкості вітру без та імітуючи трекерну систему.

Розраховано використання житловим будинком електричної енергії для забезпечення безперебійного електропостачання на весь час автономної роботи (8 годин). За отриманими даними, цей показник становить 12,05 кВт·год.

3. Використовуючи практичні дані, спроектовано структурну схему ВЕС, розраховано та підібрано необхідне обладнання для функціоналу системи, а саме:

- 1. Вітрова турбіна;
- 2. Трекер вітру;
- 3. Контролер заряду;
- 4. Автономний інвертор;
- 5. Система акумуляторних батарей.

Запропоновано підвищення ефективності ВЕС шляхом додавання трекеру вітру. Дане введення дасть можливість збільшити генерацію системи на 10-15%.

Висновки дослідження свідчать про перспективність подальшого розвитку вітроенергетики в Україні із застосуванням новітніх технологій, таких як ротор Оніпка та сучасні системи трекінгу вітру. Це дозволить підвищити енергоефективність та знизити витрати на електропостачання житлових і промислових об'єктів, сприяючи розвитку відновлюваних джерел енергії в країні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вітроенергетичний потенціал України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вітроенергетичний_потенціал_України.
2. Перспективи вітроенергетики на Прикарпатті: підручник / Н. М. Москальчук; – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. – 5 с.
3. Wiki ТНТУ - Ротор Оніпка. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://wiki.tntu.edu.ua/Ротор_Оніпка.
4. Fast Trading LTD PMG 2 KW. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://en.istabreeze.store>.
5. Вимірювальні інструменти. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://storgom.ua/ua/novosti/chto-takoe-anemometr-i-chto-im-izmeryayut-vidy-anemometrov-kak-polzovatsya.html>.
6. Контролер заряду та МРРТ. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.windandsun.ie/product/3000-watt-hybrid-mppt-charge-controller/>.
7. Victron Invertor. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://220volt.com.ua/invertor-victron-energy-quattro-48-5000-70-100-100/>.
8. АКБ. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://220volt.com.ua/blok-parallel-nogo-podklyucheniya-pylontech-lv-hub-bolshe-8-akb/>.
9. Флюгер та Анемометр. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://greenchip.com.ua/14-0-1175-0.html>.
10. Калькулятор залежності температур, режимів і щільності повітря від висоти в стандартній атмосфері [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/ru-RU/calculator/altitude/>.
11. Схеми організації вітряних електростанцій. Автономна вітроустановка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.atmosfera.ua/uk/vitryani-elektrostancii/sxemi-organizacii-vitryanix-elektrostancij/>.

12. Ротор Оніпка для перетворення руху енергетичного потоку в обертовий рух і навпаки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uapatents.com/5-102689-rotor-onipka-dlya-peretvorennya-rukhu-energetichnogo-potoku-v-obertovijj-rukhi-navpaki.html>.

13. Ротор Оніпка – унікальний винахід українського вченого [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://alternative-energy.com.ua/uk/rotor-onipko-unikalnij-vinahid-ukra%D1%97nskogo-vchenogo/>.

14. «Ротор Оніпка» в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://savenergy.info/page/rotor-onipko-v-ukraine/>.

15. Ротор Оніпка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=7fEpy5XL-so>.

16. Вітроенергетичні ресурси Українських Карпат/ В.І. Осадчий, О.А. Скриник, О.Я. Скриник, Р.Ю. Радченко // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. - 2014. - Вип. 266. - С. 3-11.

17. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. ЦиПЛенков; – Дніпро: НГУ, 2015. – 5 с.

ДОДАТОК А

РОЗШИРЕНА ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНВЕРТОРА

Інвертор автономний Victron Energy Quattro 48/5000/70-100/100

Quattro	
PowerControl / PowerAssist	Yes
Integrated Transfer switch	Yes
AC inputs (2x)	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz Power factor: 1
Maximum feed through current (A)	2x100
INVERTER	
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V
Output (1)	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0.1%
Cont. output power at 25°C (VA) (3)	5000
Cont. output power at 25°C (W)	4000
Cont. output power at 40°C (W)	3700
Cont. output power at 65°C (W)	3000
Peak power (W)	10000
Maximum efficiency (%)	94 / 94 / 95
Zero load power (W)	30 / 30 / 35
Zero load power in AES mode (W)	20 / 25 / 30
Zero load power in Search mode (W)	10 / 10 / 15
CHARGER	
Charge voltage 'absorption' (V DC)	14,4 / 28,8 / 57,6
Charge voltage 'float' (V DC)	13,8 / 27,6 / 55,2
Storage mode (V DC)	13,2 / 26,4 / 52,8
Charge current house battery (A) (4)	220 / 120 / 70
Charge current starter battery (A)	4 (12V and 24V models only)
Battery temperature sensor	Yes
GENERAL	
Auxiliary output (A) (5)	50
Programmable relay (6)	3x
Protection (2)	a-g
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration
General purpose com. port	2x
Remote on-off	Yes
Common Characteristics	Operating temp.: -40 to +65°C Humidity (non-condensing): max. 95%
Maximum altitude	3500 m
ENCLOSURE	
Common Characteristics	Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012) Protection category: IP 21
Battery-connection	Four M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)
230 V AC-connection	Bolts M6
Weight (kg)	34 / 30 / 30
Dimensions (h x w x d in mm)	470 x 350 x 280
	444 x 328 x 240
	444 x 328 x 240
STANDARDS	
Safety	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1
Emission, Immunity	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3
Road vehicles	12V and 24V models: ECE R10-4