

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Розробка гібридної енергетичної установки на основі
відновлювальних джерел енергії**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-41

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

		Вощина Н.Є.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Белякова І.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Коваль В.П.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		Коваль В.П.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		Медвідь В.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Факультет *прикладних інформаційних технологій та електроінженерії*
(повна назва факультету)

Кафедра *електричної інженерії*
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Коваль В.П.*

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *бакалавр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
(шифр і назва)

студенту *Воцині Нікіті Євгенійовичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розробка гібридної енергетичної установки
на основі відновлювальних джерел енергії*

Керівник роботи *Белякова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від *24 січня 2025 року* № *4/7– 52*

2. Термін подання студентом роботи *24 червня 2025 р.*

3. Вихідні дані до роботи *Характеристика гібридної енергетичної установки на основі
відновлювальних джерел енергії,*

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

- 1. Аналітичний розділ.*
- 2. Проектно-конструкторський розділ.*
- 3. Розрахунковий розділ.*
- 4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
*Презентація з наведеними результатами роботи, порівняльні таблиці, рисунки з елементами
гібридної енергетичної установки, кінематична та електрична схеми.*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтроль</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри ЕІ Коваль В.П.</i>		
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри МТ Гурик О.Я.</i>		

7. Дата видачі завдання

27 січня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	27.01.25 – 01.03.25	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	02.03.25 – 22.04.25	
3	Підготовка розділу «Безпека життєдіяльності та основи ОП»	23.04.25 – 11.05.25	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	12.05.25 – 27.05.25	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	28.05.25 – 11.06.25	
6	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	12.06.25 – 24.06.25	

Студент

(підпис)

Вощина Н.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Белякова І.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ – 41. - Т. : ТНТУ, 2025.

Обсяг кваліфікаційної роботи становить 60 сторінок. В роботі міститься 28 рисунків, 18 формул, 16 літературних джерел.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Розробка гібридної енергетичної установки на основі відновлювальних джерел енергії».

Метою роботи є розробка модульної конструкції гібридної установки для отримання електричної енергії з відновлювальних джерел енергії, особливістю якої є можливість роботи сонячного і вітрового модулів як у парі, так і окремо один від одного.

Перелік ключових слів:

СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, СОНЯЧНИЙ МОДУЛЬ, ВІТРОГЕНЕРАТОР, ВІТРОВИЙ МОДУЛЬ, ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, МОДУЛЬНІСТЬ, ГІБРИДНІСТЬ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ.

ЗМІСТ

с.

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Оцінка ефективності використання сонячної енергії для виробництва електричної енергії	8
1.2 Оцінка доцільності використання енергії вітру для отримання електричної енергії	9
1.3 Оцінка ефективності застосування енергії води для генерації електрики	13
1.4 Аналіз ефективності біомаси як джерела виробництва енергії	16
1.5 Огляд актуальних технічних рішень інтеграції відновлювальних джерел енергії в енергетичні установки	18
1.6 Висновки до розділу	20
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	21
2.1 Проектування конструкції гібридної установки для отримання електричної енергії з ВДЕ	21
2.2 Проектування сонячного модуля	23
2.2.1 Опис основних елементів сонячного модуля	23
2.2.2 Вибір сонячних панелей	27
2.2.3 Вибір двигуна для системи орієнтації за сонцем	28
2.2.4 Вибір підшипників	29

	5
2.3 Проектування вітрового модуля	30
2.3.1 Опис основних елементів вітрового модуля.....	30
2.3.2 Вибір електрогенератора.....	33
2.3.3 Вибір підшипників	35
2.4 Проектування платформи.....	35
2.5 Висновки до розділу 2.....	36
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ.....	37
3.1 Розрахунок двигунів гібридної енергетичної установки.....	37
3.1.1 Розрахунок двигуна для вертикального обертання.....	37
3.1.2 Розрахунок двигуна для горизонтального обертання.....	39
3.2 Розрахунок системи слідкування за Сонцем	41
3.3 Висновки до розділу 3.....	50
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	51
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих чинників пов'язаних з впровадження енергетичних установок на основі відновлювальних джерел енергії.....	51
4.1.1 Правила безпеки при обслуговуванні рухомих частин і механізмів.....	51
4.1.2 Захист від шумів та вібрацій.....	51
4.2 Заходи щодо охорони праці при роботі вітроустановок.....	54
4.3 Вимоги з технічної безпеки щодо експлуатації сонячного обладнання	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	59

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному світі показники енергоспоживання зростають неймовірно швидко. Потреба в електричній енергії настільки глибоко вкоренилася в житті людства, що вже важко уявити існування без неї. Електрична енергія стала основним інструментом для розвитку суспільства та забезпечення його функціонування. Питання пошуку найбільш економічних та екологічних способів отримання енергії завжди було актуальним, і сьогодні є однією з головних проблем для людства. Вчені з різних країн активно працюють над розробкою технологій видобутку електричної енергії з мінімальними витратами та відходами. За час досліджень було створено безліч технічних рішень для ефективного використання енергії та її перетворення на форми, які потрібні людині.

Зараз існують два основні підходи до виробництва енергії: традиційний та альтернативний. Традиційний метод, який є найбільш поширеним, використовує як основні джерела енергії нафтопродукти, природний газ і вугілля. Однак традиційна енергетика становить серйозну загрозу для довкілля, оскільки атомні та теплові електростанції викидають у атмосферу значну кількість шкідливих газів і відходів. До того ж, запаси традиційних енергоресурсів не є безмежними. Тому людство поступово переходить на альтернативні джерела енергії, щоб зменшити забруднення навколишнього середовища.

Альтернативна енергетика вважається найбільш перспективною, оскільки вона базується на відновлюваних ресурсах і є екологічно чистою. До основних джерел альтернативної енергетики належать сонячні, вітряні та хвильові електростанції. Впровадження альтернативних джерел енергії дає можливість людям стати менш залежними від змін цін, що встановлюються державами. Варто також зазначити економічну вигоду альтернативної енергетики: із розвитком технологій вартість таких установок, як сонячні батареї та

вітрогенератори, постійно знижуватиметься, що дозволить все більшій кількості людей дозволити собі їх придбання.

Метою даної роботи є розробка гібридної енергетичної установки, що поєднує сонячні та вітрові енергетичні системи. Ця установка має потенціал для забезпечення автономного енергопостачання в умовах як міського, так і сільського господарства, а також сприятиме зменшенню витрат на енергоспоживання та підвищенню енергетичної безпеки.

Установка має великий потенціал для автономного забезпечення енергією, як в умовах міського, так і сільського господарства, а також сприятиме зменшенню витрат на енергоспоживання та підвищенню енергетичної безпеки.

Завданнями роботи є:

1. Вивчення можливостей використання відновлювальних джерел енергії для створення комбінованих енергетичних установок.

2. Розробка моделі гібридної енергетичної установки з урахуванням її ефективності та економічних аспектів.

3. Оцінка порівняльної ефективності різних типів відновлювальних джерел енергії в гібридних енергетичних установках.

Ця тема є надзвичайно актуальною в умовах розвитку технологій відновлювальної енергетики та зростання потреби у сталому та екологічно чистому енергопостачанні. Розробка та впровадження гібридних енергетичних установок здатне стати важливим кроком на шляху до ефективного використання природних ресурсів і зменшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

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

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Оцінка ефективності використання сонячної енергії для виробництва електричної енергії

Сонце є первинним та основним джерелом енергії нашої планети. Також сонце можна назвати невичерпним джерелом енергії. Щомиті сонце випромінює на Землю 80 трильйонів кВт енергії, а це в кілька тисяч разів більше, ніж усі електростанції світу. Сонячні електростанції працюють більш ніж у 80 країнах світу.

Головним діючим об'єктом у процесі видобутку енергії є сонячна батарея, оскільки саме вона приймає сонячне світло.

Сонячна батарея – це набір сонячних елементів (фотоелектричних перетворювачів), які перетворюють сонячну енергію на електричну енергію.

Більшу кількість сонячних елементів виготовляють із кремнію.

Поширено кілька видів сонячних батарей, що складаються з:

- монокристалічного кремнію (ККД = 16-19%);
- полікристалічного кремнію ККД = 14-15%);
- аморфного кремнію. ККД = 6-9%).

Як бачимо за показниками ККД, найефективнішими є сонячні батареї з монокристалічним кремнієм.

Сонячні батареї зазвичай встановлюють на дахи будинків, будівель, дорожні стовпи та знаки, де вони займають нерухоме стаціонарне положення, як показано на рис 1.1. На даху встановлено 33 сонячні панелі потужністю по 80 Вт.

Сонячні модулі досягають максимального коефіцієнта корисної дії (ККД) у тому випадку, коли сонячні промені падають на них під прямим кутом. Для забезпечення максимальної ефективності використання сонячної енергії розроблено сонячний трекер. Сонячний трекер – це система, яка автоматично

слідкує за рухом сонця, забезпечуючи таким чином найвищий ККД для сонячних панелей. ККД сонячного трекера складає 30-35%.

На рис. 1.2 показано двокоординатний сонячний трекер.



Рисунок 1.1 – Сонячна батарея у стаціонарному положенні

На цьому трекері встановлено 12 сонячних панелей потужністю 100 Вт.



Рисунок 1.2 – Сонячний трекер

1.2 Оцінка доцільності використання енергії вітру для отримання електричної енергії

Вітроенергетика – це галузь енергетики, яка займається перетворенням кінетичної енергії повітряних мас у електричну, теплову та механічну енергію. Енергія вітру відноситься до відновлюваних джерел енергії.

Для перетворення кінетичної енергії використовується спеціальне обладнання - вітроенергетичні установки (ВЕУ). Вітрогенератор перетворює кінетичну енергію вітрового потоку на механічну енергію обертання ротора, а потім механічну енергію - на електричну. Існують два типи вітрогенераторів: з вертикальним і з горизонтальним розташуванням ротора.

У вертикальних вітрогенераторах вісь обертання ротора перпендикулярна до землі. Вітрогенератори вертикального типу не потребують орієнтації за напрямом вітру, що робить їх незалежними від постійних змін напрямку вітру. Ця особливість дозволяє установці стабільно працювати навіть при дуже сильних вітрах. Коефіцієнт корисної дії (ККД) усіх видів вертикальних вітрогенераторів варіюється в межах 20-30%.

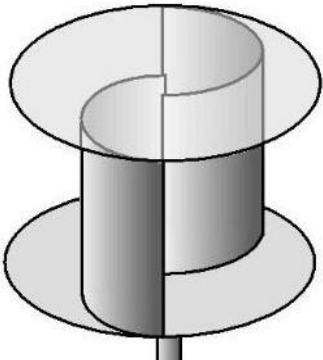
Вертикальні вітрогенератори можна розділити на такі види роторів:

- ✓ гелікоїдний ротор;
- ✓ ротор Савоніуса;
- ✓ ортогональний ротор;
- ✓ багатолопатевий ротор;
- ✓ ротор Дар'ї;

У таблиці 1.1 наведено порівняльні характеристики роторів.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика роторів

Види ротор	Переваги	Недоліки
 1. Гелікоїдний ротор.	Рівномірне обертання ротора знижує навантаження на опорні частини, подовжуючи експлуатаційний ресурс.	Складна технологія виготовлення лопатей, що збільшує їх вартість.

Види ротор	Переваги	Недоліки
 2. Ротор Савоніуса.	Високий пусковий обертаючий момент; Можливість роботи на низьких швидкостях; Висока технологічність виробництва.	Більш низька ефективність роботи, щодо горизонтальних ВЕУ; Висока матеріаломісткість.
 3. Ортогональний ротор.	Найбільш ефективний та функціональний механізм, щодо вертикальних вітрогенераторів. Можливість встановлення обладнання безпосередньо на землі робить його експлуатацію зручнішою.	Високі динамічні навантаження, що зменшують термін служби опорних вузлів; Масивна система ортогональних вузлів, щодо еквівалентних за потужністю горизонтальних вітрогенераторів; Високий шумовий ефект.
 4. Багатолопатевий ротор.	Значно вища ефективність роботи в порівнянні з іншими вертикальними вітрогенераторами; Можливість роботи установка за низьких швидкостей вітру.	Висока вартість установки, за рахунок великої кількості лопатей.

Види ротор	Переваги	Недоліки
 5. Ротор Дар'ї.	Технологічна простота виготовлення лопатей; Можливість встановлення обладнання безпосередньо на землі робить його експлуатацію зручнішою.	Відносно низька ефективність роботи установки щодо горизонтальних ВЕУ; Високі динамічні навантаження, що зменшують термін служби опорних вузлів

У горизонтальних вітрогенераторів вісь обертання ротора паралельна до землі. На рис. 1.3 показано горизонтальний вітрогенератор.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд горизонтального вітрогенератора

В залежності від кількості лопатей горизонтальні вітрогенератори поділяються на одно-, дво-, три- та багатолопатеві. Основним недоліком таких установок є необхідність орієнтації ротора за напрямом вітру, що вимагає застосування додаткового механізму орієнтації. Перевагою горизонтальних вітрогенераторів є вищий коефіцієнт корисної дії (ККД), який складає 25-35%, порівняно з вертикальними установками. Цей показник досягається завдяки меншому розкиду кутів атаки в робочих режимах, а також можливості деяких вітроенергетичних установок управляти кутом нахилу лопатей.

1.3 Оцінка ефективності застосування енергії води для генерації електрики

На сьогоднішній день людство використовує енергію припливів, а точніше, кінетичну енергію обертання Землі, для виробництва електричної енергії. Для цього необхідна приливна електростанція (ПЕС). Приливна електростанція складається з басейну, який перекривається греблею на гирлі річки або в затоці. Гребля оснащена гідротурбінами та водопропускними отворами. Найпростіша модель приливної електростанції представлена на рис1.4.

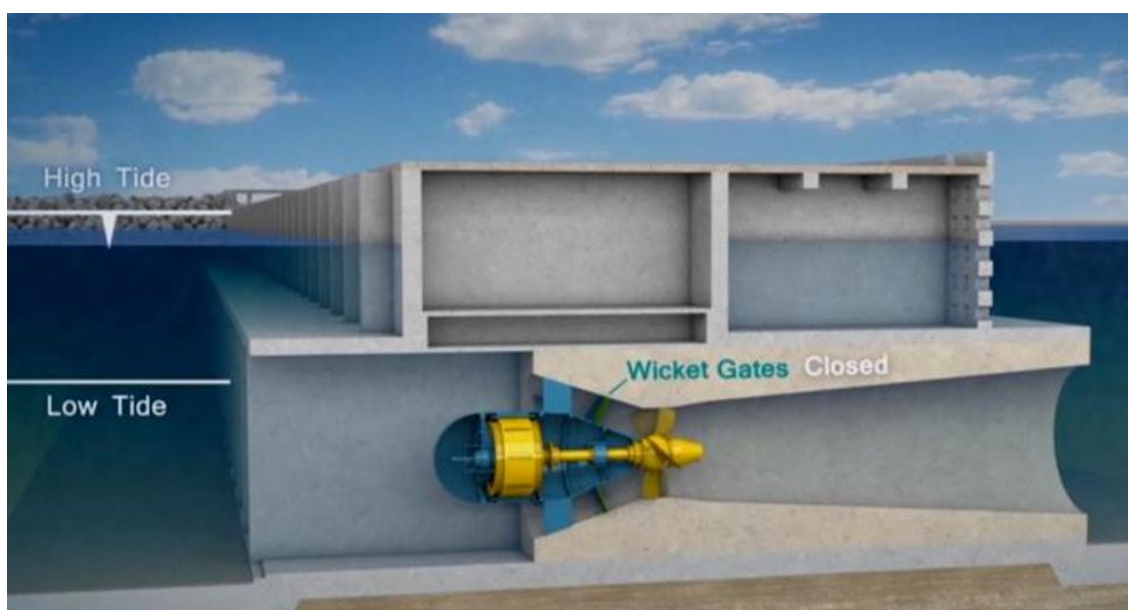


Рисунок 1.4 – Найпростіша приливна електростанція

Територіально ПЕС розташовуються на берегах морів. Зміна рівня води відбувається двічі на добу під впливом гравітаційного тяжіння Місяця та Сонця.

Принцип роботи ПЕС полягає в наступному: під час припливу вода через водопропускні отвори надходить у басейн. Вода в басейні накопичується до того моменту, поки рівень води в морі та басейні не стане рівним. Після цього водопропускні отвори закриваються. Коли рівень води в морі зменшується, водопропускні отвори відкриваються, і натиск води стає достатнім для обертання турбіни. Момент обертання передається електрогенератору, що призводить до вироблення електричного струму. Принцип роботи ПЕС наведено на рисунку 1.5.

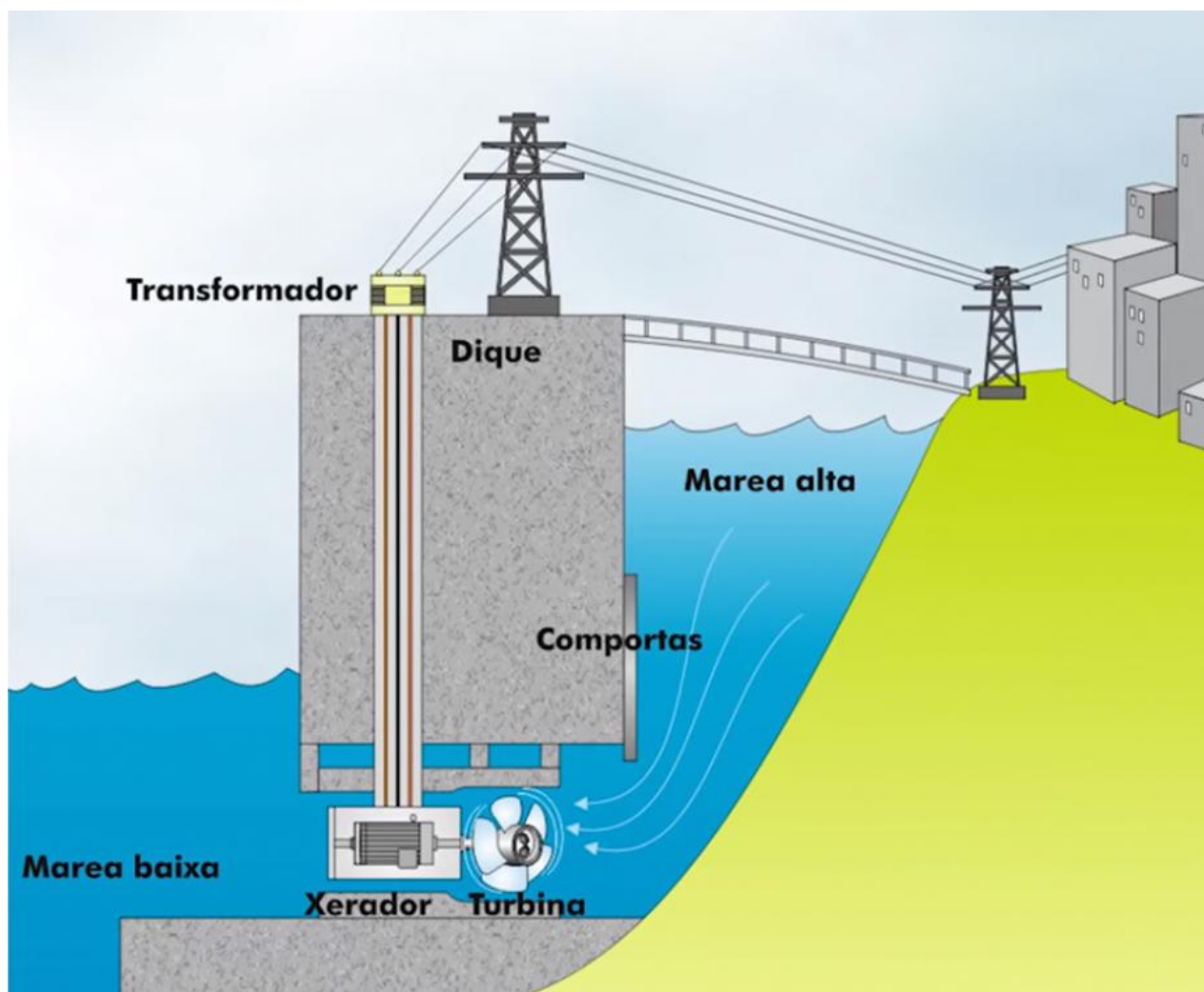


Рисунок 1.5 – Принцип роботи ПЕС

Як і будь-яке джерело енергії, приливна електростанція має ряд недоліків

і переваг.

Недоліки:

- Непостійність подачі енергії;
- Порушення нормального обміну прісної та солоної води;
- Мала потужність поряд із високою вартістю ПЕС;
- Довгий термін окупності ПЕС.

Переваги:

- Повна екологічна чистота роботи електростанції;
- Низька собівартість виробленої енергії;
- Великий термін служби (понад 100 років).

Моря та океани містять величезну кількість енергії, яка зазвичай прихована під водою. Тому людство розробило установки, які генерують електричну енергію за допомогою глибоководних океанічних течій. Енергія течій є чистим і невичерпним джерелом енергії.

Такі установки називаються підводними турбінами (рис. 1.6). Перебуваючи під водою, ці турбіни абсолютно не залежать від погодних умов і мають постійний доступ до надійних і стабільних океанічних течій.

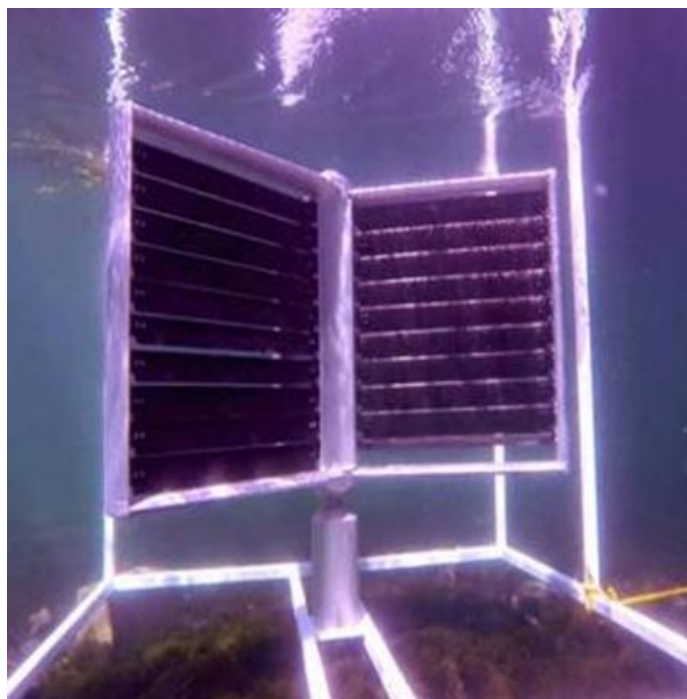


Рисунок 1.6 – Підводна турбіна

Принцип роботи підводної турбіни полягає в наступному: її занурюють на дно океану, пластинчасті лопаті працюють за принципом жалюзі. Коли турбіна рухається в напрямку течії, її пластини закриваються, створюючи максимальний опір воді. Це змушує воду обертати турбіну, що, в свою чергу, рухає генератор, який виробляє струм. Коли турбіна повертається проти потоку води, її пластини розкриваються, знижуючи опір до мінімуму, і дозволяють воді вільно проходити між ними.

Переваги використання течії морів та океанів:

- Мінімальний рівень шуму.
- Відсутність фізичної небезпеки для морських мешканців.
- Екологічно чисте виробництво енергії.
- Можливість опріснення води.
- Постійне джерело енергії, що забезпечує стабільну подачу.

Недоліки використання течії морів та океанів:

- Високі витрати на встановлення та обслуговування обладнання.
- Можливий вплив на морську екосистему в місцях установки турбін.
- Необхідність у спеціалізованих технологіях для інтеграції з іншими джерелами енергії.

1.4 Аналіз ефективності біомаси як джерела виробництва енергії

Біомаса є одним із найдавніших джерел енергії, що використовуються людством. Вона походить від рослин, тварин та мікроорганізмів і ділиться на первинну та вторинну.

Первинна біомаса включає рослини, тварин та мікроорганізми. Вторинна біомаса – це відходи, що виникають під час переробки первинної біомаси, а продукти життєдіяльності людини і тварин. Важливо відзначити, що відходи поділяються на первинні та вторинні. До первинних відходів належать залишки

при переробці біомаси, такі як солома, бадилля, тирса, тріска та спиртова барда. Вторинні відходи – це продукти фізіологічного обміну людини та тварин.

Сьогодні існує три види біопалива:

1. **Тверде паливо** – це дрова, а також відходи деревообробки та паливні гранули, що виготовляються з дрібних залишків деревообробки.

2. **Рідке паливо** – це спирти (метанол, етанол, бутанол), ефіри, біодизель і біомазут.

3. **Газоподібне паливо** – це різні газові суміші, зокрема чадний газ, метан, водень, які утворюються при термічному розкладі сировини в присутності кисню (газифікація), без кисню (піроліз) або при бродінні під впливом мікроорганізмів.

Основні види сировини для отримання енергії з біомаси:

- **Дерева та трав'янисті рослини**

Для отримання енергії з дерев та чагарників їх спалюють, отримуючи теплову енергію. Найпоширенішим джерелом деревної біомаси є відходи деревообробки, такі як стружка та тріска, а також відходи целюлозно-паперових комбінатів.

- **Зернові культури та стерня зернових**

Для виробництва етанолу використовують пшеницю, жито, рис та інші злаки, піддаючи їх компостуванню.

Для отримання дизельного біопалива також можна використовувати гній, соєві боби, арахіс і соняшник.

- **Водні та морські рослини**

Для отримання етанолу водорості піддають ферментації, а для виробництва біогазу водорості компостують.

- **Гній та стічні води**

Побутові відходи тварин з ферм і ранчо, а також вміст каналізаційних систем можна додавати до компосту для прискорення виділення біогазу.

• Звалища

Різні види сміття, зокрема папір, картон, залишки їжі, можуть бути перероблені на компост для виробництва біогазу.

Переваги використання енергії біомаси:

- Економічна вигідність процесу.
- Ефективна та екологічна переробка відходів.
- Доступність методу, особливо для сільських жителів, які можуть організувати замкнутий цикл виробництва на господарстві.

Недоліки:

- Можливе виникнення парникового ефекту.
- Відносно висока вартість біоустановок.

1.5 Огляд актуальних технічних рішень інтеграції відновлювальних джерел енергії в енергетичні установки

Для нашого проекту джерелами енергії будуть енергія сонця та вітру. Перед початком проектування потрібно провести огляд аналогічних технічних рішень.

На рис. 1.7 зображена гібридна установка, що складається з стаціонарно встановленої сонячної панелі та вертикального вітрогенератора з турбінним ротором. Одним із недоліків цієї конструкції є окреме використання кожного типу установки.



Рисунок 1.7 – Гібридна установка

На рис. 1.8 показана гібридна установка із стаціонарно встановленими сонячними панелями та горизонтального вітрогенератора. Дана конструкція встановлюється на дорожні світлофори та стовпи.



Рисунок 1.8 – Гібридна установка

На рис. 1.9 наведено ще одну установку, що складається із сонячної панелі, і вітрогенератора закріплених на одній осі.



Рисунок 1.9 – Гібридна установка

1.6 Висновки до розділу 1

У даному розділі ми проаналізували ефективність використання різних відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна енергія, вітрова енергія, енергія води, біомаса та їх інтеграцію в енергетичні установки. Зокрема, розглянуто принципи роботи та ефективність використання кожного з цих джерел, їхні переваги та недоліки.

Також у розділі також було проведено огляд аналогів існуючих технічних рішень в ході якого було виявлено основні недоліки конструкцій:

1. Стаціонарне встановлення сонячних панелей;
2. Відсутність модульності конструкції гібридної установки;
3. Обмежені можливості масштабування модулів.

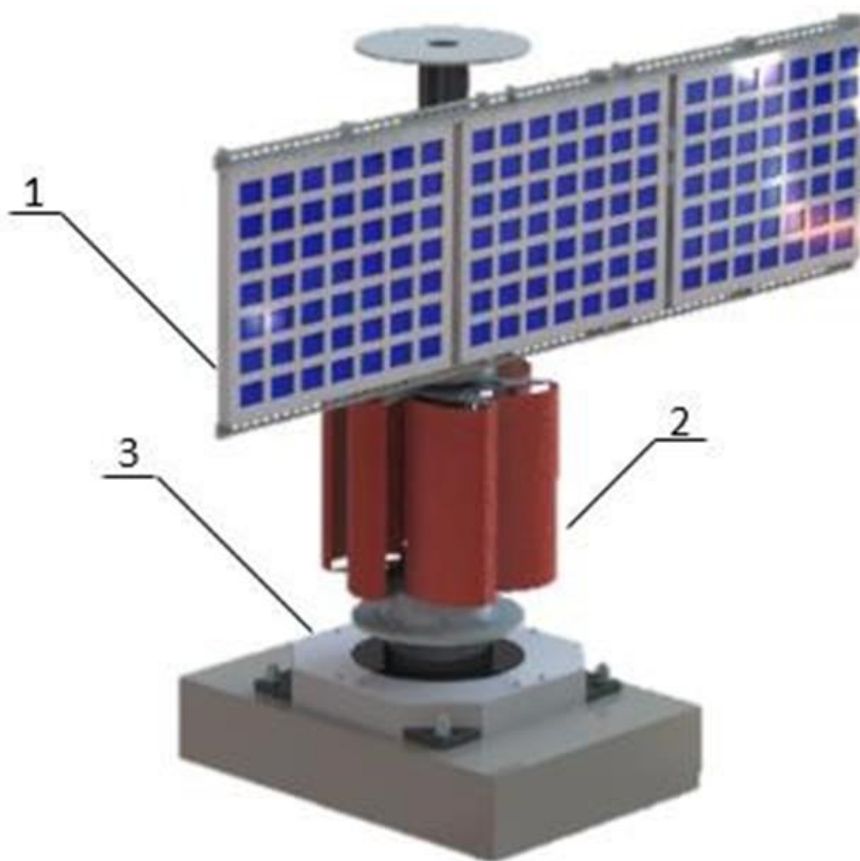
В нашому проекті ці недоліки визначаємо як проблеми, що потребують вирішення.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Проектування конструкції гібридної установки для отримання електричної енергії з ВДЕ

Запропонована конструкція гібридної установки буде складатися з двох модулів: сонячного та вітрового. Окрім модулів, вона включатиме платформу та необхідне обладнання, яке є критично важливим для її функціонування.

На рис. 2.1 наведено загальний вигляд гібридної установки.



1 - сонячний модуль; 2 - вітровий модуль; 3 - платформа.

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд модульної гібридної установки.

Для функціонування установки необхідні спеціалізовані електричні пристрої. Основний набір таких пристроїв, який забезпечить ефективну роботу установки, включає мінімально необхідне обладнання, а саме:

1. Гібридний контролер заряду – пристрій, що контролює роботу системи та керує зарядом акумулятора;
2. АКБ – накопичувач електричної енергії;
3. Інвертор – пристрій, який перетворює постійний струм на змінний.

Принципова електрична схема гібридної установки наведена на рис. 2.2.

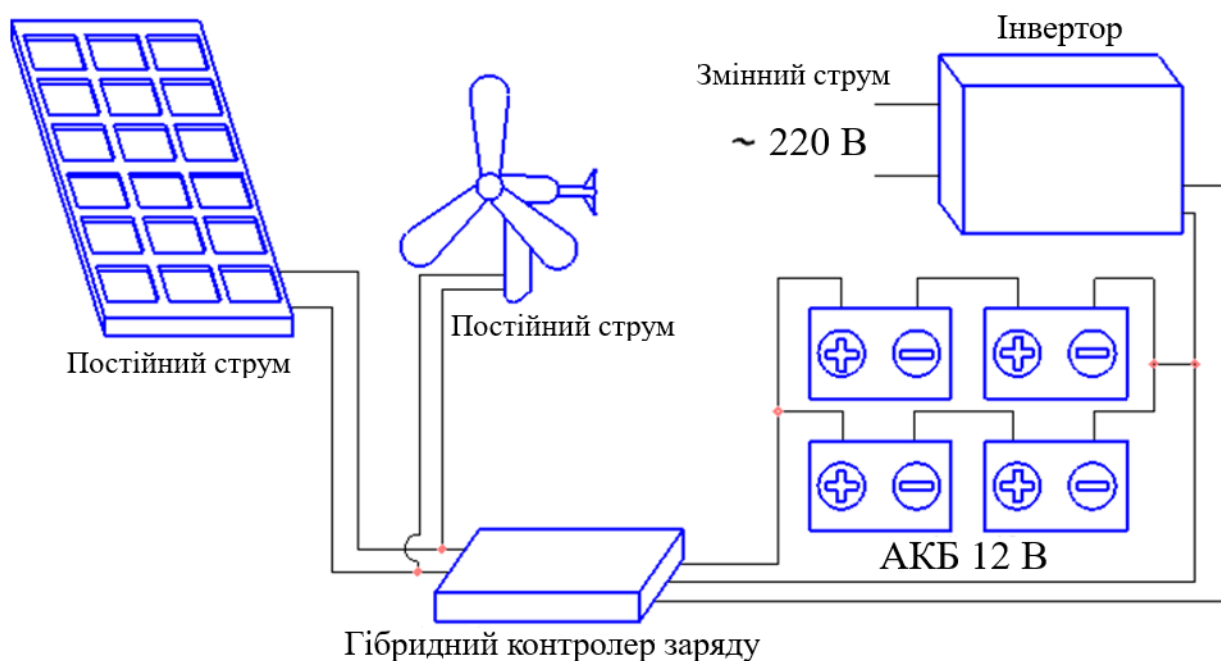


Рисунок 2.2 – Принципова електрична мсхема модульної гібридної установки.

Принцип роботи проектованої установки полягає в наступному: сонячні промені потрапляють на сонячні панелі, де завдяки фотоелектричному ефекту перетворюються на електричну енергію.

Кінетична енергія вітрового потоку змінюється на механічну енергію обертання ротора вітрового модуля. Ця енергія передається на електрогенератор, де вона трансформується в електричну енергію.

Отримані електричні енергії постійного струму надходять на гібридний контролер заряду, який керує процесом заряджання акумулятора. Згодом електрична енергія може бути використана для подальших потреб.

Далі електрична енергія може рухатися в одному з двох напрямків: 1) у

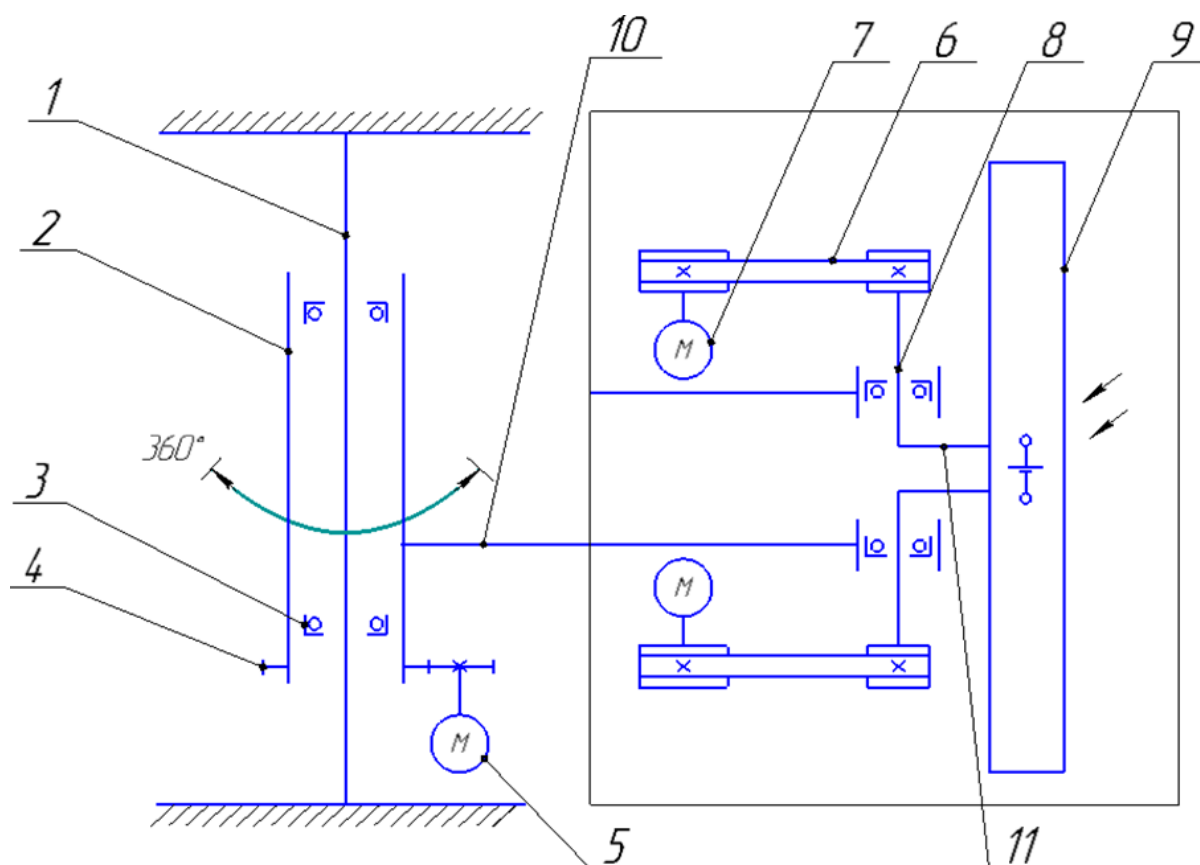
випадку повного заряду акумулятора, вона безпосередньо надходить на інвертор; 2) при неповному заряді акумулятора, спочатку енергія подається на акумулятор, а вже потім на інвертор. Після того, як постійний струм потрапляє в інвертор, відбувається його перетворення в змінний струм. Після всіх цих етапів отримана електрична енергія готова до використання.

2.2 Проектування сонячного модуля

2.2.1 Опис основних елементів сонячного модуля

Принципово кінематична схема сонячного модуля представлена на рис.

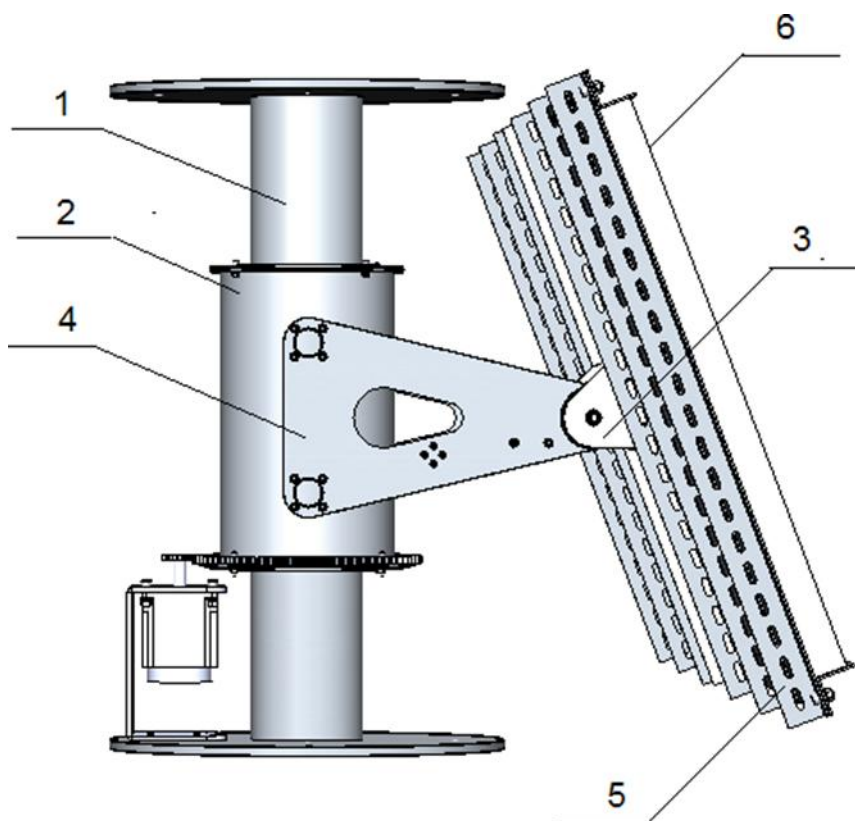
2.3.



1 - несуча опорна конструкція; 2 - вертикально - рухомий механізм; 3 - підшипник; 4 - зубчаста передача; 5 - двигун; 6 - ремінна передача; 7 - двигун; 8 - вал; 9 - сонячна панель; 10 - крило; 11 - горизонтально-рухливий механізм.

Рисунок 2.3 – Схематичне зображення сонячного модуля

Відомо, що сонячні панелі досягають максимального коефіцієнта корисної дії, коли вони розташовані перпендикулярно до напрямку сонячних променів. За умов використання системи стеження за сонцем, вироблена потужність може становити від 40 до 50% від номінальної потужності панелей, на відміну від стаціонарних панелей, де цей показник складає лише 10-15%. Тому було прийнято рішення спроектувати модульну установку, яка забезпечуватиме орієнтацію панелей по сонцю. Орієнтація панелей здійснюватиметься за двома координатами: горизонтальною та вертикальною. Загальний вигляд сонячного модуля зображено на рис.2.4.



1 - несуча опорна конструкція; 2 - вертикально - рухомий механізм; 3 - горизонтально-рухливий механізм. 4 - крило; 5 - рама для панелей; 6 - сонячні панелі.

Рисунок 2.4 – Загальний вигляд сонячного модуля

Несуча опорна конструкція

Для забезпечення стабільності конструкції під впливом зовнішніх

факторів, таких як вітер, була спроектована міцна та жорстка несуча опорна конструкція. Ця конструкція складається з фланця, труби, в яку вмонтовується підшипник. Всі деталі виготовлені з сталі марки Ст3. Загальний вигляд несучої опорної конструкції представлений на рис.2.5.

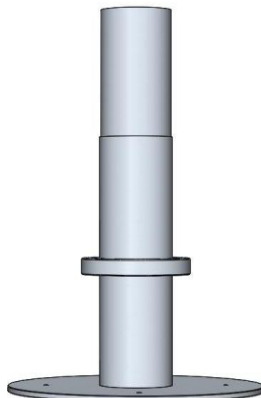


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд несучої опорної конструкції

Рухомі механізми

Рухливими механізмами цієї конструкції є два вузли: вертикально-рухомий механізм та горизонтально-рухомий механізм.

Вертикально-рухомий механізм складається з труби, в яку вмонтовуються вуха для кріплення крил, а також елемент зубчастої передачі – зубчастий вінець. Загальний вигляд вертикально – рухомого механізму показано на рис.2.6.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд вертикально – рухомого механізму

Горизонтально-рухомий механізм складається з кутника. Обертання в горизонтальній площині здійснюється за допомогою ремінної передачі. Загальний вигляд горизонтального – рухомого механізму показано на рис.2.7.

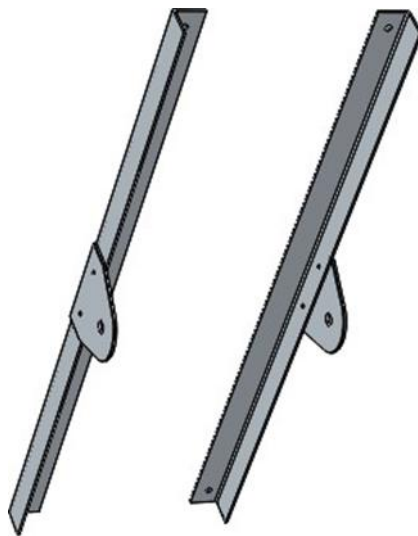


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд горизонтального – рухомого механізму

Крило

Крило в цій установці виконує функції сполучного елемента між вертикальним і горизонтальним рухомими елементами. Загальний вигляд крила показано на рис.2.8.

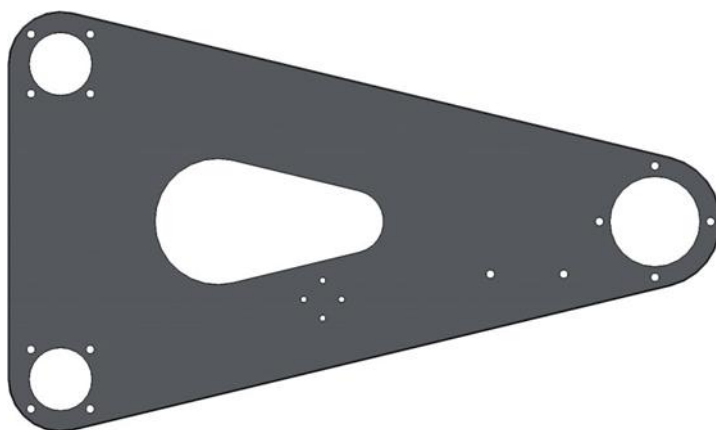


Рисунок 2.8 – Загальний вигляд крила сонячного модуля

Рама для сонячних панелей

Рама для панелей виготовлена з перфорованого кутника з алюмінієвого сплаву, для полегшення конструкції. Так як в рамі є отвори від перфорації, то за потреби розміри рами можна змінити, в залежності від розміру та кількості сонячних панелей. Загальний вигляд рами показано на рис.2.9.

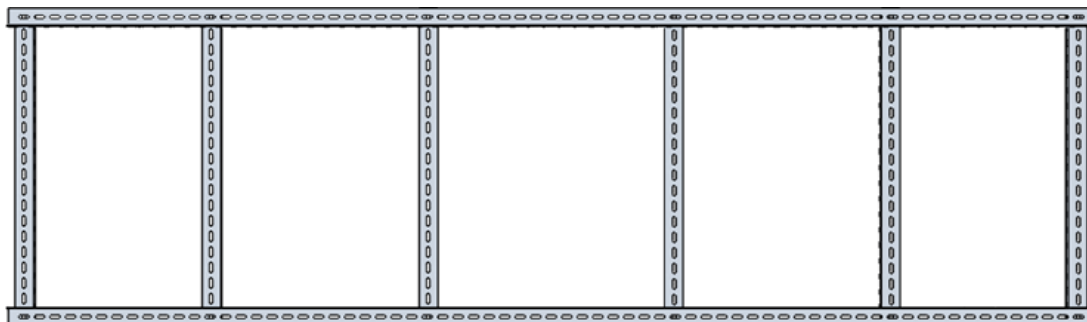


Рисунок 2.9 – Загальний вигляд рами для панелей

2.2.2 Вибір сонячних панелей

Для створення гібридної установки для отримання електричної енергії з ВДЕ нами пропонується використати монокристалічні сонячні панелі з наступними параметрами:

- Потужність – 50 Вт.
- Напруга: 12В.
- Розмір: 670 540 30 мм.
- Вага: 4,5 кг.

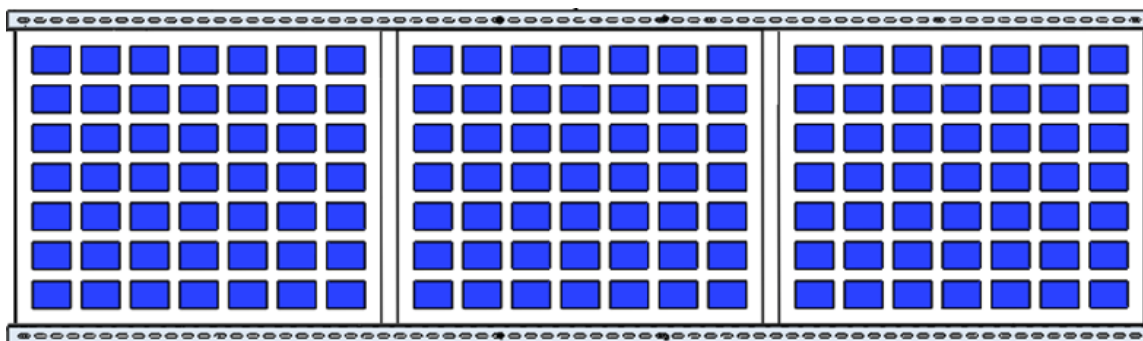


Рисунок 2.10 – Загальний вигляд сонячних панелей

Проектований сонячний модуль може мати від однієї до трьох панелей потужністю по 50 Вт. Загальна потужність масиву панелей

складатиме від 50 Вт до 150 Вт. В середньому в сонячний день панелі вироблятимуть від 350 Вт до 1050 Вт. На місяць установка вироблятиме від 11 кВт до 33 кВт, а з врахуванням похмурих і сонячних днів від 7 кВт до 20 кВт електричної енергії.

2.2.3 Вибір двигуна для системи орієнтації за сонцем

Для орієнтації сонячних панелей щодо сонця необхідні двигуни, які будуть задавати обертання рухомим механізмам. Оскільки орієнтація руху здійснюється за двома координатами, необхідно вибрати два двигуна.

Двигун повинен мати необхідні характеристики:

- з точною орієнтацією сонячних панелей;
- з функцією самогальмування.

На основі розрахункових даних наведених у третьому розділі кваліфікаційної роботи, для вертикального обертання обираємо кроковий двигун з функцією самогальмування ST86 - 114В крутний момент якого = 8,2 Нм, загальний вигляд двигуна показано на рис. 2.11.



Рисунок 2.11 - Загальний вигляд двигуна ST86 - 114В

Для горизонтального на основі розрахункових даних наведених у

третьому розділі кваліфікаційної роботи обираємо кроковий двигун з функцією самогальмування FL57STH41 крутний момент якого = 8,2 Нм, загальний вигляд двигуна показано на рис. 2.12.



Рисунок 2.12 – Загальний вигляд двигуна FL57STH41

2.2.4 Вибір підшипників

Вихідними даними при виборі підшипника були діаметр посадки та навантаження, що виникає при обертанні рухомих частин. Так як при обертанні виникають як осьове і перпендикулярне навантаження вбираємо підшипники кочення радіально-упорні кулькові.

Діаметр посадкового місця $d=110$ мм.

Вбираємо підшипник типу 46122, з параметрами:

$m = 2,020$ кг;

кут контакту $=26^\circ$;

$d=110$ мм;

$D=170$ мм;

$B = 28$ мм;

$T=28$ мм;

$r = 3$ мм.

Головною особливістю радіально-упорних кулькових однорядних

підшипників є можливість одночасної роботи при осьовому та радіальному навантаженнях. Без одночасної наявності обох навантажень робота підшипника неможлива. Дана конструкція підшипників має високі швидкісні характеристики. Принцип роботи такого підшипника полягає в передачі навантажень від однієї доріжки кочення підшипника до іншої під спеціальним кутом контакту до його радіальної площини.

Радіально-упорний кульковий однорядний підшипник представлений на рис. 2.13.

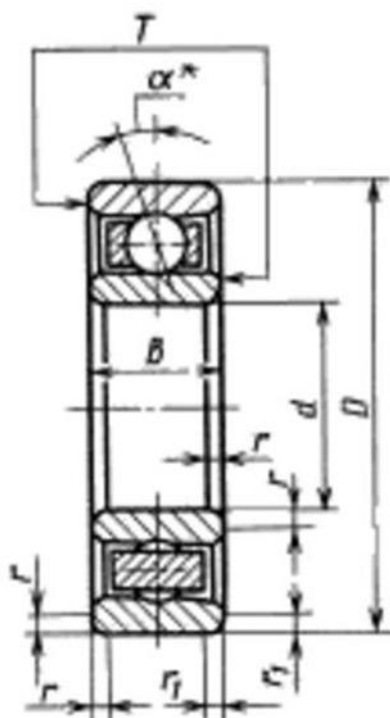


Рисунок 2.13 – Радіально-упорний кульковий однорядний підшипник

2.3 Проектування вітрового модуля

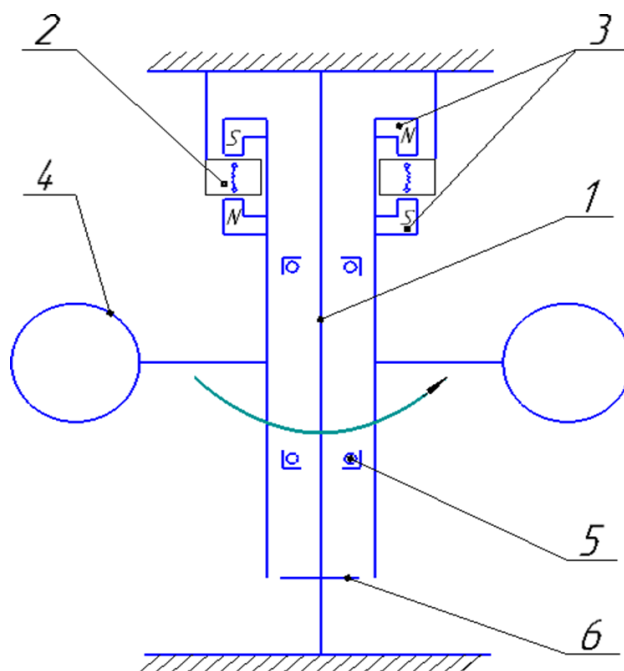
2.3.1 Опис основних елементів вітрового модуля

У процесі проектування вітряного модуля вивчено та досліджено можливі комбінації його виконання в гібридній установці. В кінцевому варіанті прийнято конструкцію з вертикальним розташування ротора. Виконання ротора виконати на кшталт ротора Савоніуса, з шістьма лопатями.

У модулі встановлено два електрогенератори. За основу взято класичну

конструкцію генератора аксіального типу на постійних магнітах.

Принципово кінематична схема вітрового модуля показана на рис. 2.14.



1 – несуча опорна конструкція; 2 – статор; 3 – ротор; 4 – лопать; 5 – підшипник; 6 – стакан.

Рисунок 2.14 – Схематичне зображення вітрового модуля

Загальний вигляд вітрового модуля показано на рис.2.15.

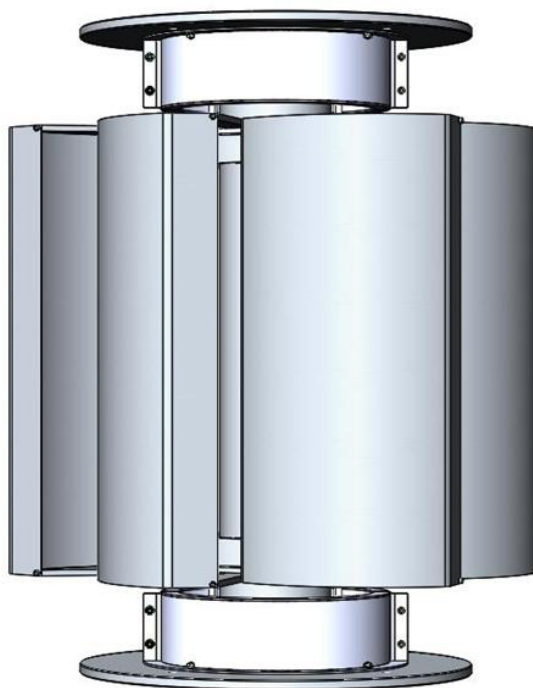
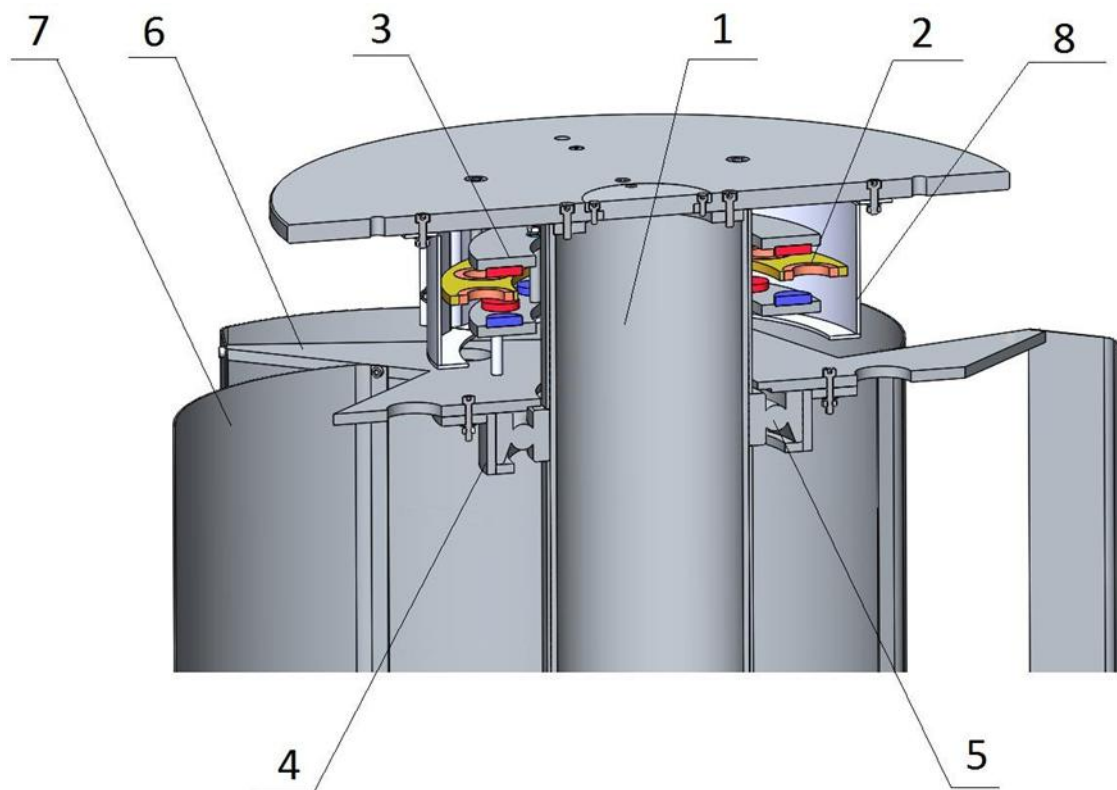


Рисунок 2.15 – Загальний вигляд вітрового модуля

На рис. 2.16 показано розріз вітрового модуля.



1 - несуча опорна конструкція; 2 – статор; 3 – ротор; 4 – стакан; 5 – підшипник; 6 – зірка; 7 – лопать; 8 – кожух.

Рисунок 2.16 – Схематичне зображення вітрового модуля

Несуча опорна конструкція

Ця несуча опорна конструкція спроектована за прикладом сонячного модуля. Конструкція складається з труби в яку встановлюється підшипники і втулки.

Ротор та статор

Ротор конструкції складається з двох пластин з магнітами, стакану в якому встановлені підшипники та деталь типу «Зірка». Рухома конструкція спроектована таким чином, що вона була міцною та легкою.

Матеріал деталей: деталь типу «Зірка» – АМг6 – алюмінієвий сплав з

високим вмістом магнію, стакан та дві пластини – сталь Ст3.

Статор складається з фланця та пластини, в якій встановлені намотування котушок. Матеріал деталей: фланець – Ст3 ГОСТ 380-88, пластина – епоксидна смола.

Лопаті

Прийнято виконати лопаті на кшталт лопатей ротора Савоніуса, в кількості 6 штук. Матеріал - АМг6 алюмінієвий сплав з високим вмістом магнію, вибір даного матеріалу обумовлений тим, що лопаті повинні бути легкі та жорсткі.

2.3.2 Вибір електрогенератора

При виборі електрогенератора враховано особливості роботи вертикального вітрогенератора. Так як вертикальний вітрогенератор є низькооборотним тому і необхідний генератор повинен видавати заряд на акумуляторну батарею (АКБ) на низьких оборотах.

За таких умов практичніше вибрати генератор аксіального типу на постійних магнітах. Для збільшення потужності вітрового модуля встановимо два генератори. Конструкцію аксіального генератора наведено на рис. 2.17.

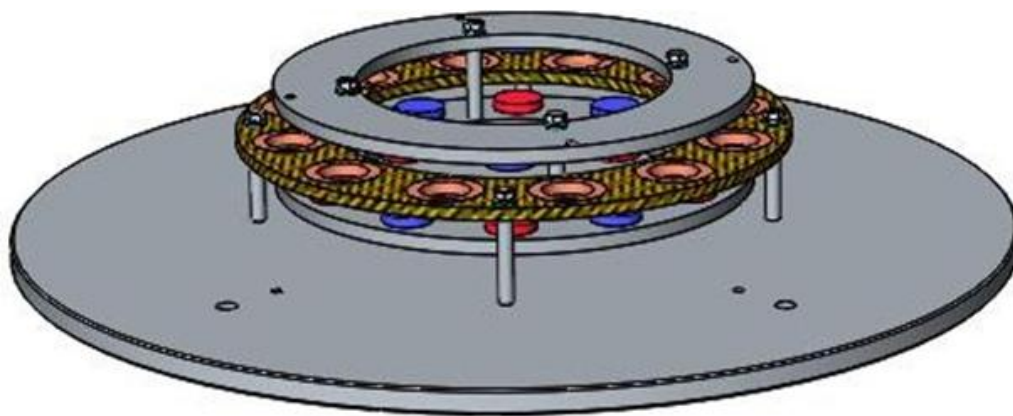


Рисунок 2.17 – Конструкція аксіального генератора

Конструкція електрогенератора аксіально типу складається з наступних елементів:

- 1) **Статора** залитого епоксидною смолою;
- 2) **Котушок** в кількості 12 штук. Котушки знаходяться всередині, залитого епоксидною смолою статора;
- 3) **Фланця** до якого кріпиться статор;
- 4) **Ротора**, який складається з двох металевих пластин, які згодом заливаються епоксидною смолою;
- 5) **Неодимових магнітів** в кількості 24 штуки.

Для захисту генератора пропонується розбірний кожух, зображений на рис. 2.18.

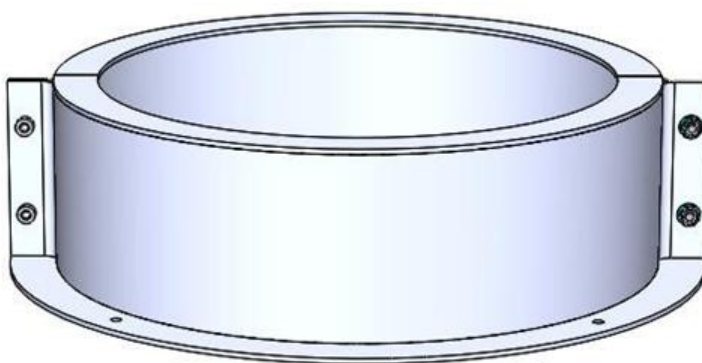


Рисунок 2.18 – Розбірний кожух

Формула потужності установки має вигляд:

$$P = \frac{K_{\epsilon} \cdot \left(\frac{\rho \cdot V^3}{2} \right)}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (2.1)$$

де:

$K_{\epsilon} = 0,6$ – коефіцієнт використання енергії вітру;

$\rho = 1,225$ – щільність повітря [кг/м³];

$r = 0,5$ – радіус ротора [м]

V – швидкість вітру [м/с].

Швидкість вітру приймемо $V = 5$ м/с

Отримаємо потужність:

$$P = \frac{0,6 \cdot \left(\frac{1,225 \cdot 5^3}{2} \right)}{2 \cdot \pi \cdot 0,5^2} = 36 \text{ Вт.}$$

Оскільки в установці є два генератори, тоді потужність вітрового модуля буде складати $P=72 \text{ Вт.}$

2.3.3 Вибір підшипників

Підшипники для вітряного модуля вибрано на підставі вибору підшипників у пункті 2.2.4.

Вбираємо підшипник типу 46122, з параметрами:

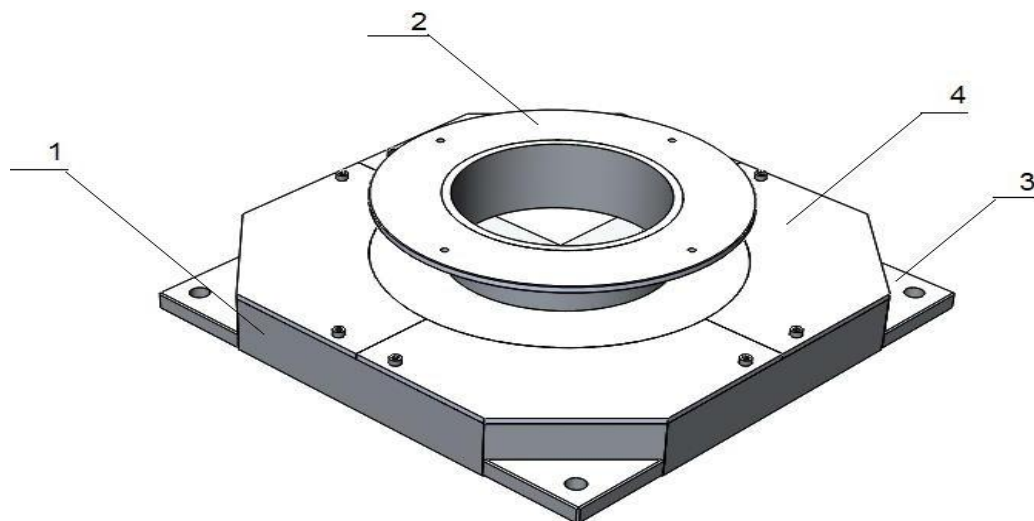
$m = 2,020 \text{ кг;}$

кут контакту $=26^\circ;$

$d=110 \text{ мм;}$

$D=170 \text{ мм;}$

2.4 Проектування платформи



1 – каркас; 2 – труба; 3 – кутики; 4 – кришка.

Рисунок 2.19 – Загальний вигляд платформи

Платформа складається з каркасу, виготовленого зі швелера №8, а також труби, з кожного боку якої приварені фланці і кутики з кришками. Платформа виготовлена зі сталі марки – Ст3. В основу платформи заливається фундамент. Платформа кріпиться анкерами до фундаменту для утримання конструкції.

Загальний вигляд платформи наведено на рис. 2.19.

2.5 Висновки до розділу 2

1. У результаті проектування була створена гібридна установка для отримання електричної енергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), яка складається з двох основних модулів: сонячного та вітрового. Їх робота спрямована на забезпечення максимальної ефективності та стабільності при використанні природних джерел енергії.

2. Сонячний модуль спроектований з можливістю двохкоординатної орієнтації панелей, що дозволяє значно підвищити ефективність використання сонячної енергії в порівнянні зі стаціонарними системами.

3. Вітровий модуль побудований на основі вертикального ротора з шістьма лопатями і має два електрогенератори, що забезпечують стабільне вироблення електричної енергії при низьких оборотах.

4. Для кожного з модулів було ретельно обрано ключові компоненти, такі як двигуни для орієнтації сонячних панелей, підшипники для рухомих частин, а також спеціалізовані електричні пристрої для ефективного перетворення та зберігання енергії.

5. Платформа, що підтримує гібридну установку, забезпечує надійне кріплення і стабільність конструкції, що є важливим фактором для експлуатації в умовах різних зовнішніх впливів, таких як вітер і зміни температури.

Загалом, спроектована гібридна установка здатна ефективно використовувати як сонячну, так і вітрову енергію, що забезпечує її високу автономність та сталість роботи в різних кліматичних умовах.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок двигунів гібридної енергетичної установки

3.1.1 Розрахунок двигуна для вертикального обертання

Передача вертикального обертання буде здійснюватися зубчастою передачею. Кількість зубів зубчастого вінця $z_1 = 72$, кількість зубів шестерні $z_2 = 10$. Знайдемо передатне число $i_{21} = z_1 / z_2 = 72/10 = 7,2$.

Розрахунок моменту тертя:

$$M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot r \quad (3.1)$$

де:

$r = 0,140$, м – середньоарифметичний радіус підшипників

$$F_{\text{тр}} = k \cdot m \cdot g \quad (3.2)$$

де:

$k = 0,00004$ – коефіцієнт тертя підшипників кочення;

$m = 17$ – маса тіл, кг;

$g = 9,81$ – прискорення вільного падіння, м/с².

$$F_{\text{тр}} = 0,00004 \cdot 17 \cdot 9,81 = 0,0066708 \text{ Н}$$

$$M_{\text{тр}} = 0,0066708 \cdot 0,140 = 0,00084991 \text{ Нм}$$

Розрахунок моменту сили вітру:

$$M_{\text{св}} = F_{\text{св}} \cdot r \quad (3.3)$$

де:

$r = 0,5$ м – радіус довжини до панелей.

Величину сили вітру знайдемо, використовуючи формулу динамічного тиску вітру на плоску поверхню:

$$f = \frac{\rho \cdot V^2}{2 \cdot g} \quad (3.4)$$

де:

$\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря;

$V = 15 \text{ м/с}$ – швидкість вітру, що впливає на плоску поверхню;

$$f = \frac{1,225 \cdot 15^2}{2 \cdot 9,81} = 14,08 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$$

Максимальне повне вітрове навантаження на навітряну поверхню S плоскої поверхні:

$$W_{\max} = f \cdot S \cdot n \cdot c \quad (3.5)$$

де:

$c = 1,2$ – аеродинамічний коефіцієнт поверхні;

$n = 1,5$ – коефіцієнт, який враховує динамічну складову вітрового навантаження;

$$f = 14,08 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2};$$

S – площа максимально навітряної плоскої поверхні. Припустимо, що максимальне вітрове навантаження припадає на крайню сонячну панель.

Отже,

$$S = 0,670 \cdot 0,540 = 0,3618 \text{ м}^2$$

$$W_{\max} = 14,08 \cdot 0,3618 \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 9 \text{ кгс} = 88,2598 \text{ Н}$$

$F_{\text{св}} = 88,2598 \text{ Н}$ – сила вітру, що припадає на одну панель.

$M_{\text{св}} = 88,2598 \cdot 0,5 = 44,1299 \text{ Нм}$ – крутний момент, що припадає на одну панель.

Знайдемо загальний крутний момент вертикального обертання.

$\eta_{\text{пер}} = 0,95$ – ККД, для зубчастої передачі.

$$M_{\text{заг}} = (44,1299 + 0,0066708) \cdot 0,95 = 41,92 \text{ Нм}$$

3.1.2 Розрахунок двигуна для горизонтального обертання

Передача обертання по горизонталі здійснюватиметься ремінною передачею. Діаметр меншого шківa $d_2 = 47$ мм, більшого $d_1 = 19$ мм.

Передатне число $i_{21} = d_1 / d_2 = 47/19 = 2,4$.

Розрахунок моменту тертя:

$$M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot r$$

де:

$r = 0,08$ м – середньоарифметичний радіус підшипників.

$$F_{\text{тр}} = k \cdot m \cdot g$$

де:

$k = 0,00004$ – коефіцієнт тертя підшипників кочення;

$m = 16$ – маса тіл, кг;

$g = 9,81$ – прискорення вільного падіння, м/с².

$$F_{\text{тр}} = 0,00004 \cdot 16 \cdot 9,81 = 0,006272 \text{ Н}$$

$$M_{\text{тр}} = 0,006272 \cdot 0,08 = 0,00050176 \text{ Нм}$$

Розрахунок моменту сили вітру:

$$M_{\text{св}} = F_{\text{св}} \cdot r$$

де:

$r = 0,5$ м – радіус довжини до панелей.

Величину сили вітру знайдемо, використовуючи формулу динамічного тиску вітру на плоску поверхню:

$$f = \frac{\rho \cdot V^2}{2 \cdot g}$$

де:

$\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря;

$V = 15 \text{ м/с}$ – швидкість вітру, що впливає на плоску поверхню;

$$f = \frac{1,225 \cdot 15^2}{2 \cdot 9,81} = 14,08 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$$

Максимальне повне вітрове навантаження на навітряну поверхню S плоскої поверхні:

$$W_{\max} = f \cdot S \cdot n \cdot c$$

де:

$c = 1,2$ – аеродинамічний коефіцієнт поверхні;

$n = 1,5$ – коефіцієнт, який враховує динамічну складову вітрового навантаження;

$$f = 14,08 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2};$$

S – площа максимально навітряної плоскої поверхні. Припустимо, що максимальне вітрове навантаження припадає на крайню сонячну панель.

Отже,

$$S = 0,670 \cdot 0,540 = 0,3618 \text{ м}^2$$

$$W_{\max} = 14,08 \cdot 0,3618 \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 9 \text{ кгс} = 88,2598 \text{ Н}$$

$$F_{\text{св}} = 88,2598 \text{ Н}$$

$$M_{\text{св}} = 88,2598 \cdot 0,0285 = 2,5 \text{ Нм}$$

Знайдемо загальний крутний момент горизонтального обертання.

$\eta_{\text{пер}} = 0,9$ – ККД, для ремінної передачі.

$$M_{\text{заг}} = (2,5 + 0,00050176) \cdot 0,9 = 2,26 \text{ Нм}$$

3.2 Розрахунок системи слідування за Сонцем

Перелічимо деякі проблеми, з якими доводиться стикнутися під час розроблення систем управління.

1. Проблема визначення параметрів сонячної батареї для розрахунку вольт-ватних характеристик. Із математичного опису сонячної панелі, при спробі змусити вольт-ватну криву проходити через три режими роботи (точка короткого замикання, максимальна потужність і холостий хід), система характеристичних рівнянь повинна допомогти у розв'язанні цієї проблеми, але вона виявляється формально нерозв'язною, якщо не «відкинути» малі параметри. Цю проблему можна обійти, вивчивши простіші закони в області екстремуму, наприклад, моделі квадратичних функцій з урахуванням дрейфу. Але цей спосіб дає значні похибки. У моделюванні в SIMULINK запропоновано структурні схеми, які складно застосовувати на практиці. У деяких дослідженнях було введено нові припущення, які ґрунтуються на тому факті, що при різних режимах той чи інший компонент, що робить систему нерозв'язною, не впливає на чисельні розрахунки. Ми також використовували цей підхід у нашій роботі.

2. Динамічне моделювання сонячної панелі. Більшість наявних моделей описують статичні силові режими сонячних елементів, або динамічні теплові режими, що ускладнює вивчення динаміки. Динамічне моделювання ускладнюється тим, що не всі необхідні додаткові дані доступні в літературі. Так, у деяких джерелах, значеннями динамічного опору діода R_d (V), дифузійної ємності C_d (V, ω) і перехідної ємності C_t (V) були визначені методом імпедансної спектроскопії. Для простоти ми взяли усереднені значення з доступних даних і простий розрахунок частоти зрізу показав, що вона досить велика, що дає змогу розглядати сонячну панель як безінерційний коефіцієнт посилення зі змінним значенням опору навантаження R_{reg} , який є каналом

управління МРРТ-контролера.

3. Проблема точних аналітичних розрахунків. Віддзеркаленням цих труднощів є питання про те, як спростити систему аналітичного і точного дослідження або які методи використовувати для цього. Передавальні функції об'єктів екстремального керування можуть мати високий порядок (2,3 ... 8 і т.д.). Неважко уявити, яким буде порядок і об'ємність точних аналітичних виразів.

Якби ми використовували методи нелінійної ідентифікації об'єктів (рекурентні поліноми тощо), то завдання не було б простішим. Це легко побачити, тому що потрібна лінеаризація в робочій точці, що також може призвести до високого порядку передавальної функції. Ця проблема стає особливо складною під час розгляду закритих систем. Тут цю проблему буде обговорено досить докладно, оскільки розуміння її різних аспектів важливе не тільки для розуміння труднощів цієї теорії, а й для оцінки її різних параметрів

Частково серйозність проблеми точного аналізу пом'якшується тим фактом, що ефекти, пов'язані зі складними нелінійностями та високими порядками передавальної функції, можна усунути шляхом введення компенсаторів у канали екстремального керування.

4. Загальна нестаціонарність параметрів. Проблема розроблення систем має ще один аспект, який також буде важливим для нас у майбутньому. А саме, мінливість амплітуди коливань фотоструму з постійною амплітудою і частотою модулюючого сигналу. Зрозуміло, що такий ефект, особливо в тому разі, коли під час налаштування системи ми оперуємо її частотними характеристиками, не може забезпечити постійне налаштування параметрів в усьому діапазоні зміни азимутальних і зенітних кутів, хоча б через те, що в разі різних сполучень початкових і необхідних кутів повороту амплітуда фотоструму змінюватиметься. У цьому разі можна внести помилку в модульований сигнал від інтегратора керування, що може призвести до неможливості переходу системи в новий стан. Знайти досить ефективний алгоритм для боротьби з цим явищем усе ще складно.

Підсумовуючи вищесказане, основні спроби розв'язання проблем пов'язані з:

1. з побудовою методів розрахунку параметрів сонячної панелі за допомогою елементів спеціальних функцій (наприклад, функції Ламберта);
2. зі створенням на їхній основі точних динамічних моделей, що дають змогу оцінити динаміку реакції зміни напруги на зміну фотоструму під час зміни кутового положення під час модуляції.

Усі ці проблеми можна повністю або частково розв'язати в пропонованому нами сценарії, який дасть змогу розпочати вивчення складних нелінійних систем екстремального регулювання в межах лінійного аналізу, розрахувавши опорні параметри модулюючих сигналів, а потім перейти до складніших методів дослідження.

Процедура параметричної ідентифікації параметрів вольт-амперної та вольт-ватної характеристик сонячної панелі аналітичним способом. Для параметричної ідентифікації параметрів вольт-амперної та вольт-ватної характеристик сонячної панелі аналітичним способом ми зупинилися на однодіодній схемі заміщення сонячної панелі, що визначає всі подальші аналітичні викладки. Ця схема використовується в багатьох дослідженнях. Діод визначає нелінійні властивості $I-V$ і $V-P$ характеристики комірки. Відомі дводіодні схеми заміщення виявляються надлишковими. Діодні моделі вищих порядків використовуються в задачах глобального пошуку точки максимальної потужності.

У такій постановці задачі сонячна панель являє собою джерело струму, паралельно якому під'єднано діод D і шунтувальний резистор R_{sh} , як показано на рис. 3.1. Опір R_s – це послідовний опір кожної комірки.

Важливою точкою в аналізі багатоекстремальності є вказівка на залежність продукowanego фотоструму від величини інтенсивності випромінювання G_{exH} , що потрапляє на поверхню сонячної панелі (і зростає з підвищенням температури сонячної панелі):

$$I_{ph} = \frac{G_{exH}}{G_0} \cdot (I_{sc} + k_{I_{sc}} \cdot \Delta T) = \frac{G_{exH}}{G_0} \cdot (I_{sc} + k_{I_{sc}} \cdot (T - T_0)) \quad (3.6)$$

де:

G_{exH} – позаземне опромінення, Wt/m^2 ;

G_0 – випромінювання в стандартних умовах ($G_0 = 1000 Wt / m^2$);

$k_{I_{sc}}$ – коефіцієнт зростання струму від температури;

ΔT – різниця між температурою навколишнього середовища і температурою ат в стандартних умовах випробувань (STC)= 25 °C

З рівняння (3.6) видно, що співвідношення G_{exH}/G_0 впливає на фотострум I_{ph} , тобто якщо. $G_{exH}=0$, сонячний елемент неактивний і не виробляє ні струму, ні напруги. Однак, якщо світло падає на сонячний елемент, він генерує фотострум I_{ph} . Принцип роботи та еквівалентна схема сонячної панелі показана на рис. 3.1.

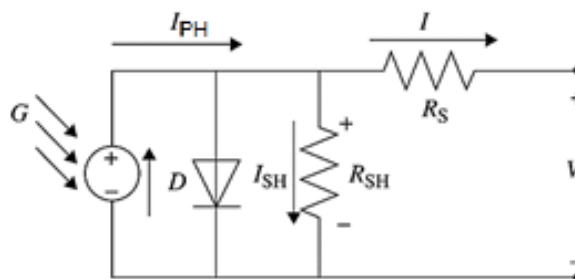


Рисунок 3.1 – Еквівалентна схема фотокомірки

За допомогою першого закону Кірхгофа встановлено, що струм сонячної панелі I – це різниця між фотострумом I_{ph} і струмом діода I_d . При STC струм елемента визначається за відомою залежністю:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{R_s} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (3.7)$$

де:

I_{ph} – фотострум G, A;

q – заряд електрона, $1,6021 \cdot 10^{-17}$ C;

k – константа Больцмана, $1,3805 \cdot 10^{-23}$ J/K;

T – температура комірки (at STC=25⁰+273=298 K).

Параметри, що визначаються за результатами експериментів або обчислень:

I_0 – струм насичення діода, A;

R_s – послідовний опір, Ом;

R_{sh} – шунтувальний опір, Ом;

n – коефіцієнт ідеальності, для різних типів панелей $n = 1, 2 \dots 5$.

Ці параметри суттєво впливають на ефективність фотоелемента і фотоелектричного модуля. Цей вираз визначає характеристики струму та вхідний струм сонячної батареї ($P=V \cdot I$), тож, щоб розрахувати його, нам потрібно знати параметри I_0 , R_s , R_{sh} , n тощо.

Їх точне визначення дозволяє нам відображати вольт-амперну і вольт-ватну характеристики з найменшими середньоквадратичними помилками, до чого прагнуть багато дослідників. Ці параметри розраховуються на основі умов, які при моделюванні сонячної панелі повинні точно відображати три характерні режими роботи сонячної панелі:

1. Режим короткого замикання ($V=0$; $I=I_{sc}$);
2. Точка максимальної потужності ($V=V_{mp}$; $I=I_{mp}$);
3. Режим холостого ходу ($V=V_{oc}$; $I=0$).

Режими короткого замикання і холостого ходу є граничними умовами під час розрахунку вольт-амперної і вольт-ватної характеристик.

Підставляючи ці умови у формулу (3.7), ми отримуємо систему (3.8) трансцендентних рівнянь:

$$\begin{cases} I_{sc} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot I_{sc} \cdot R_s}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{I_{sc} \cdot R_s}{R_{sh}} \\ I_{mp} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V_{mp} + I_{mp} \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V_{mp} + I_{mp} \cdot R_s}{R_{sh}} \\ 0 = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \end{cases} \quad (3.8)$$

де:

I_{sc} – струм короткого замикання, А;

I_{mp} і V_{mp} – струм і напруга в точці максимальної потужності, А і В, відповідно;

V_{oc} – напруга короткого замикання, В.

Ця система рівняння є трансцендентним рівнянням і містить параметри R_s , R_{sh} , I_0 і т.д, які повинні бути максимально наближені до заданих виробником сонячної панелі. Для цього потрібно знайти точний аналітичний розв’язок системи рівнянь (3.8), який поки що не було виявлено через нерозв’язні рекурсивні співвідношення. Оскільки в рівняннях (3.8) фігурують величини різного порядку; серед них опиняються малі величини, після нехтування якими завдання спрощується настільки, що стає можливим його точний розв’язок. У такому разі перший крок у розв’язанні задачі полягає в точному розв’язанні спрощеної задачі. Слід зазначити особливість подібного класу моделей, а саме те, що будь-яке спрощувальне припущення робить із ВАХ і ВВХ систему з 3-4-ма вільними параметрами. Таким чином, стає можливим за рахунок підбору цих параметрів забезпечити проходження ВАХ і ВВХ поблизу характерних режимів, але ці параметри будуть далекі від заданих виробником. Проаналізувавши структуру систему рівнянь (3.8) ми дійшли таких висновків:

1. Різниця між фотострумом I_{ph} і струмом короткого замикання I_{sc} , яка визначається співвідношенням через величину $(R_s + R_{sh})/R_{sh}$, становить 0,007 - 0,3%, тому допустимо прийняти $I_{ph} = I_{sc}$.

2. З цього випливає, що з виразу системи рівняння (3.8), ми можемо отримати формулу для розрахунку струму насичення діода:

$$I_0 = \frac{I_{ph} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}}{e^{\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot k \cdot T}} - 1} \quad (3.9)$$

3. Доданок $(V + I \cdot R_s)/R_{sh}$ можна розкласти на дві складові $V/R_{sh} + I \cdot R_s/R_{sh}$. З огляду на те, що $R_s/R_{sh} = 8 \cdot 10^{-6} \dots 0,003$, допустимо не враховувати змінну складову $I \cdot R_s/R_{sh}$. Різниця між $(V_{mp} + I_{mp} \cdot R_s)/R_{sh}$ і $(V_{mp})/R_{sh} = 0,108 \dots 8,805\%$, отже в точці максимальної потужності $I_{mp} \cdot R_s$ можна не враховувати.

4. У точці максимальної потужності, похідна струму по напрузі дорівнює $-I_{mp}/V_{mp}$;

Це дає змогу подати систему рівнянь (3.8) з урахуванням (3.7) у такому вигляді:

$$\begin{cases} I_{ph} - \frac{I_{ph} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}}{e^{\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot k \cdot T}} - 1} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V_{mp} + I_{mp} \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V_{mp}}{R_{sh}} = I_{mp} \\ -V_t \cdot (I_{ph} \cdot R_{sh} - V_{oc}) \cdot \frac{e^{\frac{V_t \cdot (I_{mp} \cdot R_s + V_{mp})}{V_t \cdot V_{oc} - 1}}}{R_{sh} \cdot (e^{\frac{V_t \cdot V_{oc}}{V_t \cdot V_{oc} - 1}} - 1)} - \frac{1}{R_{sh}} = -\frac{I_{mp}}{V_{mp}} \end{cases} \quad (3.10)$$

Звідки:

$$R_s = \frac{\ln \left(\frac{\left(2 \cdot \left(I_{mp} - \frac{1}{2} \cdot I_{ph} \right) \right) \cdot V_{mp} \cdot e^{\frac{V_t \cdot V_{oc} - 2 \cdot I_{mp} \cdot V_{mp}}{V_t \cdot V_{oc} - 1}}}{V_{mp} \cdot (V_t \cdot (V_{mp} - V_{oc}) - 1) \cdot I_{ph} + I_{mp} \cdot V_{oc} \cdot (V_{mp} \cdot V_t + 1)} \right) - V_t \cdot V_{mp}}{I_{mp} \cdot V_t} \quad (3.11)$$

$$R_{sh} = \frac{-V_{mp} \cdot \left((V_{mp} \cdot V_t - 1) \cdot e^{V_t \cdot V_{oc} - V_t \cdot (V_{mp} + V_{oc}) + 1} \right)}{\left(V_t \cdot (I_{mp} - I_{ph}) \cdot V_{mp} + I_{mp} \right) \cdot e^{V_t \cdot V_{oc} - I_{mp} \cdot (V_{mp} \cdot V_t - 1)}} \quad (3.12)$$

Очевидно, що $R_s > 0$ і $R_{sh} > 0$. Вирішивши рівняння (3.10) як нерівності, можна знайти діапазон зміни n , за якого ці умови дотримуються:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \left(\frac{W \left(-1, -\frac{(2 \cdot I_{mp} - I_{ph}) \cdot (V_{mp} - V_{oc})}{(V_{mp} - V_{oc}) \cdot I_{ph} + I_{mp} \cdot V_{oc} p_1} \right) + p_1}{V_{mp} - V_{oc}}, \frac{1}{V_{mp} \cdot \left(\frac{I_{ph}}{I_{mp}} - 1 \right)} \right) < \\ < V_t < \frac{q}{1.2 \cdot k \cdot T} \\ p_1 = \frac{(I_{mp} \cdot V_{oc} - I_{ph} \cdot V_{mp}) \cdot (V_{mp} - V_{oc})}{((V_{mp} - V_{oc}) \cdot I_{ph} + I_{mp} \cdot V_{oc}) \cdot V_{mp}} \end{array} \right. \quad (3.13)$$

де:

$W(-1, \sim)$ – негативна гілка функції Ламберта.

Щоб побудувати усю ВАХ або ВВХ у зазначених граничних умовах, рівняння (3.8) перетворюється до нерекурсивної форми і виражає пряму залежність I - V (P - V , якщо помножити струм I на напругу V):

$$\left\{ \begin{array}{l} I = \frac{\left(-W \left(0, -\frac{I_0 \cdot R_s \cdot R_{sh} \cdot e^{p_2}}{n \cdot k \cdot T \cdot (-R_s - R_{sh})} \right) + p_2 \right) \cdot n \cdot k \cdot T - q \cdot V}{q \cdot R_s} \\ p_2 = \frac{R_{sh} \cdot q \cdot (I_0 \cdot R_s + I_{ph} \cdot R_s + V)}{(n \cdot k \cdot T \cdot (R_s + R_{sh}))} \end{array} \right. \quad (3.14)$$

де:

$W(\theta, \sim)$ – функція Ламберта на дійсній осі від аргумента

Позаземне сонячне випромінювання G_{exH} обчислюємо за формулою:

$$G_{exH} = G_{ex} \cdot \cos(\xi) \quad (3.15)$$

Обчислюємо кут ξ для панелі в будь-якій точці земної кулі:

$$\xi = \arccos(\cos(\Theta) \cdot \cos(\theta) + \sin(\theta) \cdot \sin(\Theta) \cdot \cos(\Gamma - \gamma)) \quad (3.16)$$

де:

θ – нахил поверхні, виміряний у горизонтальній площині;

γ – азимутальний кут обертання;

Θ, Γ – топоцентричний кут підйому (ТЕА) (скоригований) і азимутальний кут.

Очевидно, що на виділеному інтервалі $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ і $0 \leq \gamma \leq 360^\circ$

$$\left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial \theta^2} \right) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{\partial \xi}{\partial \theta} \right) \right) - \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial \gamma^2} \right)^2 > 0, \text{ and } \frac{\partial^2 \xi}{\partial \theta^2} < 0 \text{ з урахуванням } \theta = \Theta \text{ і } \gamma = \Gamma \text{ і такий}$$

стан сонячної панелі визначає глобальну точку максимуму для ξ . У цьому разі електропривід ідеально вирівняв панель. Тоді $\xi=0$, тобто $\cos(\xi)=1$.

Припускаючи, що компонент фотоструму, залежно від рівня співвідношення випромінювань, добре відповідає структурі рівняння (3.6), перепишемо його у вигляді:

$$I = \frac{G_{ex} \cdot \cos(\xi)}{G_0} \cdot (I_{sc} + k_{I_{sc}} \cdot \Delta T) - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (3.17)$$

Отримана формула характеризує фотострум, що генерується сонячною

панеллю, не тільки залежною від V , а й від $\cos(\xi)$, тобто від кутового положення панелі в евклідовому просторі. З цього випливає, що система для пошуку максимальної потужності сонячної панелі має бути трипараметричною.

3.3 Висновки до розділу 3

1. У розрахунках двигунів для гібридної енергетичної установки було проведено точний аналіз механізмів вертикального та горизонтального обертання. Визначено ключові параметри, такі як передатні числа для зубчастої та ремінної передачі, моменти тертя, сили вітру та їх вплив на ефективність установки.

2. Розрахунки вітрового навантаження показали, що максимальні сили вітру припадають на навітряну поверхню панелей, що потребує відповідної компенсації для запобігання перевантаженню.

3. Проблеми, що виникають під час розроблення системи слідкування за Сонцем, включають складності точного визначення параметрів сонячних батарей і моделювання їх динаміки. Врахування ефектів, таких як зміна фотоструму та амплітуди коливань, є критично важливим для підвищення ефективності системи.

4. Для покращення точності аналітичних розрахунків розроблені методи, які дозволяють враховувати різні нелінійності та перехідні процеси в системах екстремального регулювання.

5. Використання моделі однодіодної схеми заміщення сонячної панелі дозволяє більш точно оцінити вольт-амперні та вольт-ватні характеристики панелей. Врахування експериментальних даних і спрощення моделей дає змогу досягти практично точних результатів у розрахунках.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих чинників пов'язаних з впровадження енергетичних установок на основі відновлювальних джерел енергії

Усі заходи і засоби, включені в поняття охорони праці, направлені на створення таких умов праці, при яких або виключена дія на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих чинників, або рівні цих чинників не перевищують нормативних значень.

Обслуговуючий і ремонтний персонал можуть зіткнутися з дією таких шкідливих і небезпечних чинників, як:

- рухомі частини і механізми;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- акумуляторні батареї;
- пожежі.

4.1.1 Правила безпеки при обслуговуванні рухомих частин і механізмів

Необхідними заходами зниження небезпеки є:

- наявність огорожень що запобігають доступу до елементів вітроустановки, що обертаються, при її роботі;
- виставляння застережних знаків навколо вітрогенератора при зупинці на ремонт і технічне обслуговування;
- встановлення застережних плакатів.

4.1.2 Захист від шумів та вібрацій

В дослідженнях шуму ВЕУ встановлено, що їх зовнішній шум генерується різними механічними, аеродинамічними та електромагнітними нестационарними процесами, з перемінними за часом спектральними та

енергетичними параметрами.

При цьому виділяють чотири типи шуму, що може утворювати вітротурбіна: тональний, широкосмуговий, низькочастотний та імпульсний.

Шум – це будь - який небажаний звук, якій наносить шкоду здоров'ю людини, знижує його працездатність, а також може сприяти отриманню травми в наслідок зниження сприйняття. З фізичної точки зору – це хвильові коливання пружного середовища, що поширюються з певної швидкістю в газоподібній, рідкій або твердій фазі.

Звукові хвилі виникають при порушенні стаціонарного стану середовища в наслідок впливу на них сили збудження и поширюючись у ньому утворюють звукове поле. Джерелами цих порушень бути механічні коливання конструкцій або їх частин, нестаціонарні явища в газоподібних або рідких середовищах.

Основними характеристиками таких коливань служить амплітуда звукового тиску (p , Па), частота (f , Гц).

Звуковий тиск – це різниця між миттєвим значенням повного тиску у середовищі при наявності звуку та середнім тиском в цьому середовищі при відсутності звуку. Поширення звукового поля супроводжується переносом енергії, яка може бути визначена *інтенсивністю звуку*.

Захист працюючих від шуму може здійснюватися як колективними засобами і методами, так і індивідуальними засобами. В першу чергу треба використовувати колективні засоби, які по відношенню до джерела шуму поділяються на засоби, що знижують шум у джерелі його виникнення, і засоби, що знижують шум на шляху його поширення від джерела до об'єкта, що захищається.

Найбільш ефективні заходи, які ведуть до зниження шуму в джерелі його виникнення. Боротьба з шумом після його виникнення обходиться дорожче і часто є малоефективним.

Для зниження шуму використовують спеціальні шумопоглинальні елементи з криволінійними каналами. Знизити шум можна поліпшенням аеродинамічних характеристик машин. Однак цим зазвичай не досягається

необхідний ефект, тому доводиться додатково застосовувати засоби звукоізоляції і встановлювати глушники.

Глушники шуму бувають абсорбційними, реактивні (рефлексним) і комбінованими. У абсорбційних глушниках затухання шуму відбувається в порах звукопоглинального матеріалу. Принцип роботи реактивних глушників заснований на ефекті відбиття звуку в результаті утворення «хвильової пробки» в елементах глушника. Вони зазвичай не містять звукопоглинального матеріалу. Реактивні глушники мають з'єднані між собою камери, розширення та звуження, резонансні поглиблення, екрани і т. п. У комбінованих глушниках відбувається як поглинання, так і відображення звуку. Зниження шуму машин та установок за допомогою засобів демпфування домагаються покриттям їх випромінюючої поверхні демпфуючими матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя. Існує багато різних видів демпфуючих покриттів. Найбільш поширені жорсткі покриття з пружно-в'язких матеріалів (мастики, спеціальні види повсті, лінолеуму), які наносяться на поверхню наклеюванням, напиленням і ін.

Звукоізоляція є одним з найбільш ефективних і поширених методів зниження шуму на шляху його поширення. За допомогою звукоізолюючих перешкод легко знизити рівень шуму на 30 ... 40 дБ. Метод заснований на відбиванні звукової хвилі. Зниження шуму методом звукопоглинання засновано на переході енергії звукових коливань частинок повітря в теплоту внаслідок втрат на тертя в порах звукопоглинального матеріалу. Чим більше звукової енергії поглинається, тим менше її відбивається назад в приміщення. Тому для зниження шуму в приміщенні проводять його акустичну обробку, завдаючи звукопоглинальні матеріали на внутрішні поверхні, а також розміщаючи в приміщенні штучні звукопоглиначі.

Застосування засобів індивідуального захисту від шуму доцільно в тих випадках, коли засоби колективного захисту та інші засоби не забезпечують зниження шуму до допустимих рівнів. Засоби індивідуального захисту дозволяють знизити рівень сприйманого звуку на 10 ... 45 дБ, причому

найбільш значне глушіння шуму спостерігається в області високих частот, які найбільш небезпечні для людини. Засоби індивідуального захисту від шуму поділяються на протишумні навушники, що закривають вушну раковину зовні; протишумні вкладиші, що перекривають зовнішній слуховий прохід або прилеглі до нього; протишумні шоломи і каски; протишумні костюми. Протишумові вкладиші роблять з твердих, еластичних і волокнистих матеріалів. Вони бувають одноразового та багаторазового користування. Протишумні шоломи закривають всю голову, вони застосовуються при дуже високих рівнях шуму в поєднанні з навушниками, а також протишумні костюмами.

4.2 Заходи щодо охорони праці при роботі вітроустановок

Перед пуском вітроустановки в роботу, необхідно перевірити справність захисних кожухів: шестерень, з'єднувальних муфт. Перевірити наявність мастила в редукторах, масляних ваннах, підшипникових коробках, переконатись в надійності кріплення двигунів до рам і фундаментів. Вітроустановка має бути надійно закріплена на опорах. Для безпечної експлуатації вітроустановки повинен забезпечуватись весь комплекс технічних умов по догляду за електротехнічною та механічною частинами, як у процесі роботи так і неробочі періоди.

Під час роботи вітроустановки не дозволяється усувати будь-які дефекти, знімати або надягати приводні ремені, проводити будь-які монтажні і обслуговуючі роботи.

До обслуговування трубчастих колодязів допускаються працівники, що мають спеціальну підготовку по монтажу і вміють поводитися з вантажно-підйомними пристроями та механізмами, всі монтажно-демонтажні роботи повинні проводитися під керівництвом досвідчених спеціалістів. Застосовані для монтажних робіт підйомні механізми, троси тощо за своєю вантажно-підйомністю повинні відповідати вазі монтованих установок і завжди бути справними.

Перед початком монтажних робіт перевірити надійність всього вантажно-підйомного обладнання. Для цього провести пробне підймання обладнання на висоту 10-15 см, витримати у піднятому проложені 5-10 хв.

Монтажні хомути з'єднувальних муфт слід встановлювати так, щоб вони щільно охоплювали поверхню труби і були надійно затиснуті стягуючими болтами. Забороняється перебувати стороннім особам на монтажних площадках при проведенні робіт.

4.3 Вимоги з технічної безпеки щодо експлуатації сонячного обладнання



Для довгострокової та безперебійної експлуатації сонячного обладнання, сонячна станція повинна відповідати певним технічним вимогам з безпеки. Промислові сонячні станції є складними технічними системами, які потребують регулярного обслуговування. Технічне обслуговування сонячної станції включає перевірку та обслуговування всіх компонентів системи, зокрема сонячних панелей, інверторів, акумуляторів та контролерів заряду.

При обслуговуванні сонячної станції слід регулярно перевіряти стан сонячних панелей та їх продуктивність. Панелі потрібно очищати від бруду, пилу та інших забруднень, що можуть знизити ефективність вироблення електроенергії. Також слід перевіряти стан кабелів та з'єднань, які можуть пошкодитися через корозію або зношення.

Інвертор, акумулятор та контролер заряду також потребують регулярної перевірки та обслуговування. Слід перевіряти стан і параметри електричних компонентів та здійснювати заміну в разі необхідності. Також слід моніторити роботу системи та відслідковувати її продуктивність.

Для безпечної роботи під час обслуговування сонячної станції слід дотримуватися певних правил. Роботи з підключення та відключення електрики слід проводити тільки після відключення системи від електромережі та з використанням ізоляційних засобів. Також слід виконувати всі заходи безпеки та дотримуватися інструкцій виробника при обслуговуванні технічної системи.

Захист від перевантаження. Сонячні панелі мають певну максимальну потужність, яку не можна перевищувати, щоб уникнути можливого перегріву та пошкодження обладнання. Тому важливо дотримуватись рекомендованих максимальних значень для сонячних модулів і інших компонентів. Потужність сонячного фотополя не повинна перевищувати вихідної потужності інвертора більш ніж на 20%.

Захист від пожежі. При монтажі сонячного обладнання важливо дотримуватись правильних вимог щодо електричної безпеки, щоб уникнути можливої пожежі. Сонячні модулі мають бути заземлені, а кабелі та з'єднання повинні бути захищені від надмірного тепла та механічних пошкоджень.

Захист від блискавки. Сонячні панелі підключені до мережі електропостачання. Це означає, що обладнання повинно бути захищене від блискавки за допомогою спеціальних обмежувачів перенапруги УЗПів із захистом від блискавки, які зменшують ризик ураження електричним струмом або пошкодження обладнання.

Захист від крадіжки. Сонячні панелі і інші компоненти можуть бути цінними предметами для крадіжок. Тому важливо забезпечити належний захист обладнання від крадіжок, наприклад, встановити додаткові захисні пристрої, використовувати камери спостереження або забезпечити належне огороження.

Сонячне обладнання повинне відповідати вимогам безпеки, що встановлені національними та міжнародними стандартами. Воно повинне бути виготовлене з якісних матеріалів та мати стійкість до атмосферних впливів. Сонячне обладнання повинно відповідати вимогам безпеки, щоб забезпечити безпечну експлуатацію та уникнути потенційних небезпек.

При проектуванні та виготовленні сонячного обладнання виробники повинні дотримуватися відповідних національних та міжнародних стандартів з безпеки, таких як IEC 61730 або UL 1703. Ці стандарти встановлюють вимоги до конструкції та випробувань сонячного обладнання, щоб гарантувати безпечну експлуатацію.

Основні вимоги безпеки для сонячного обладнання включають захист від короткого замикання, перевантаження та перенапруги. Наявність захисту від блискавки та грози є також дуже важливою, оскільки сонячне обладнання зазвичай розміщується на відкритих майданчиках.

Крім того, сонячне обладнання повинно мати вбудовані системи моніторингу та контролю, щоб виявляти можливі несправності та уникнути аварійних ситуацій. Такі системи моніторингу можуть бути підключені до централізованої системи керування та контролю енергосистеми, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які проблеми та уникнути небезпечних ситуацій.

Остаточо, відповідність сонячного обладнання вимогам безпеки є дуже важливим чинником, який повинен враховуватися під час вибору та експлуатації сонячних систем. Дотримання вимог безпеки допоможе зробити безпечною та ефективною роботу сонячного обладнання на протязі всього терміну його служби.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Загальні висновки до роботи будуть включати суть того, що було виявлено розроблено і проаналізовано протягом всього процесу дослідження. Давайте сформулюємо загальні висновки, виходячи з усіх трьох розділів вашої роботи.

1. В кваліфікаційній роботі проаналізовано ефективність використання відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна енергія, енергія вітру, вода та біомаса, для виробництва електричної енергії. Досліджено переваги та недоліки кожного з цих джерел, а також їх інтеграцію в енергетичні установки.

2. В роботі розглянуто проектування гібридної енергетичної установки, що включає сонячний та вітровий модулі. Визначено ключові компоненти та параметри установки, такі як вибір сонячних панелей, вітрових турбін, двигунів для системи орієнтації та підшипників для рухомих частин.

3. Проведено розрахунок потужності та компонентів гібридної установки, зокрема двигунів для вертикального та горизонтального обертання, а також системи слідування за сонцем. Розраховано оптимальні параметри для досягнення максимальної ефективності роботи установки.

4. Розроблена конструкція гібридної установки має високу автономність та здатна забезпечити ефективне виробництво електричної енергії з використанням природних джерел енергії в різних кліматичних умовах.

Проектована установка є перспективним рішенням для забезпечення автономного енергопостачання як для міського, так і для сільського господарства, зниження витрат на енергоспоживання та підвищення енергетичної безпеки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.
2. Відрновлювані джерела енергії: видання друге, доповнене / За заг. ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відрновлюваної енергетики НАНУ, 2024. 492 с.
3. Коваль В. П. Фотоелектрична станція для забезпечення власних потреб / Вадим Петрович Коваль, Д. Ф. Паловці, Abul Kalam Azad // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи“, 29-31 травня 2024 року. – Т. : ТНТУ, 2024. – С. 85-86.
4. Бурмака В. Підвищення енергоефективності використання суміщеного освітлення для сходових кліток / Віталій Бурмака, Микола Тарасенко // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. – Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 273-277.
5. Бондаренко Д. В. Електрична модель гібридного фотоелектричного теплового колектора. Відрновлювана енергетика. 2025. 1(80), С. 44-50. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.1\(80\).44-50](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.1(80).44-50).
6. Bondarenko, D. Modeling of systems with the photovoltaic power source and water pumps. Vidnovluvana Energetika. 2024. No. 3(78). Pp.62–68. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3\(78\).62-68](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3(78).62-68).
7. Бондаренко Д. В. Створення електричних моделей для моделювання процесів перетворення сонячного випромінювання на електричну і теплову енергії. Відрновлювана енергетика. 2024. 4(79), С. 59-63. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4\(79\).59-63](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79).59-63).
8. Петренко К. В., Аушева Н. М., Кардашов О. В. Методика оцінки

вітроенергетичного потенціалу території України з використанням геоінформаційних систем. Відрновлювана енергетика. 2024. 4(79), С. 68-81. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4\(79\).68-81](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79).68-81).

9. Кузнєцов М. П., Лисенко О. В., Хомутов С. В. Сезонне акумулювання енергії в гібридній енергосистемі. Відрновлювана енергетика. 2024. 1(76), С. 6-21. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1\(76\).6-21](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1(76).6-21)

10. Lysenko O., Kuznetsov M. at al. Modeling Hybrid Power System with Intermediate Energy Storage. Energies 2023, 16(3), 1461. <https://doi.org/10.3390/en16031461>.

11. Kuznetsov N. Features of combined energy systems with renewable energy sources: monograph. Kyiv, IRE, 2022, 152 с. ISBN 978-966-641-11. https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Kuznetzov_monografy_PRINT.pdf. (Ukr)

12. Kuznetsov N. at al. Optimizing the ratio of wind and solar power stations. Problemele energeticii regionale, 2018, 3(38), pp.127-140. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2222378>.

13. Kuznetsov N., Lysenko O. Determination of the Optimal Algorithm for the Operation of a Hybrid Power System with a Regulating Generator. Problemele energeticii regionale, 3 (55) 2022. P.83-98. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.3-55.07>.

14. Буратинський І. М. Термін окупності гібридної сонячної електростанції, до складу якої входить установка зберігання електроенергії з різними технічними параметрами. Відрновлювана енергетика. 2023. 3(74), С. 42-52. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(74\).42-52](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74).42-52).

15. Остапчук О.В. і Шевченко І.В. 2022. Використання гібридних систем на основі відрновлюваних джерел в мікромережі: огляд. Відрновлювана енергетика. 2022. 4(71), С. 9-25. DOI:[https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4\(71\).9-25](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4(71).9-25).

16. Zia M. F., Elbouchikhi E., Benbouzid M. E. H. An Energy Management System for Hybrid Energy Sources-based Stand-alone Marine Microgrid. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 322. P. 012001.