

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«___» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітня програма Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Аналіз ефективності побудови гібридних систем електрозабезпечення з
ВДЕ для електропостачання локальних об'єктів»

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ОН-321мп

_____ Пишний Родіон Вікторович _____
(прізвище, ім'я по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Дерев'янка Д.Г. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант нормоконтроль к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

В.о. завідувача кафедри

_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Пишному Родіону Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Аналіз ефективності побудови гібридних систем електрозабезпечення з ВДЕ для електропостачання локальних об'єктів»
науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Дерев'янка Д.Г.,

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

затверджені наказом по університету від 8.11.2023 р. №5199-с

2. Строк подання студентом дисертації 10.01.2024р.

3. Об'єкт дослідження: гібридні системи електрозабезпечення, спроектовані для забезпечення електропостачання котеджного містечка.

4. Предмет дослідження: гібридної системи, що об'єднує сонячну електростанцію та малу гідроелектростанцію, спрямовані на електрозабезпечення локальних об'єктів, зокрема котеджного містечка.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- технічний аналіз оптимальних параметрів гібридної системи для ефективного використання сонячної енергії та гідропотенціалу.
- економічний аналіз витрат на будівництво, утримання та експлуатацію гібридної системи порівняно з традиційними джерелами енергії.
- визначення впливу гібридної системи на навколишнє середовище.
- розробка стратегій управління гібридною системою для максимізації її ефективності та стійкості.
- Розробка плану впровадження гібридної системи та визначення оптимального режиму експлуатації.

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація.

7.Орієнтовний перелік публікацій. 1) Дерев'янюк Д.Г. Особливості використання НВДЕ у рамках концепції Smart City / Дерев'янюк Д.Г., Кізім О. Ю., Пишний Р.В., Стародуб А.Е. // Збірник праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – REMS`23». 2) Дерев'янюк Д.Г. Аналіз ефективності побудови гібридних систем електрозабезпечення з ВДЕ для електропостачання локальних об'єктів / Дерев'янюк Д.Г., Кізім О. Ю., Пишний Р.В., Стародуб А.Е. // Збірник праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – REMS`23».

8.Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.

9.Дата видачі завдання 1 вересня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2023	Виконано
2	Огляд літератури	01.09.2023-05.10.2023	Виконано
3	Робота над першим розділом	06.10.2023 – 12.10.2023	Виконано
4	Робота над другим розділом	15.10.2023 – 29.10.2023	Виконано
5	Робота над третім розділом	10.11.2023 – 25.11.2023	Виконано
7.	Робота над стартап проектом	01.12.2023 – 20.12.2023	Виконано
8.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	25.12.2023	Виконано
9.	Передзахист МД	14.12.2023	Виконано
10.	Захист дисертації	15.01.2024	

Студент

(підпис)

Р.В. Пишний

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Д.Г. Дерев'янюк

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Аналіз ефективності побудови гібридних систем електрозабезпечення з ВДЕ для електропостачання локальних об'єктів». Містить 100 сторінок основного тексту, 19 таблиць та 45 рисунків.

Актуальність теми. Знехтуванням відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) неможливо уникнути в умовах збільшення вартості вугільного, нафтового та природного газу, що робить альтернативні джерела, такі як сонячна енергія та ГЕС, більш економічно вигідними.

Електропостачання локальних об'єктів, таких як котеджні містечка, вимагає сталого та безперебійного джерела енергії. Гібридні системи, які поєднують сонячні панелі та малі ГЕС, можуть забезпечити ефективність та стабільність енергопостачання.

Зростаюча освіченість та інтерес споживачів до використання енергії з природних джерел визначає попит на альтернативні рішення, такі як гібридні системи ВДЕ для котеджних містечок.

Мета магістерської дисертації полягає підвищенні ефективності електропостачання локальних об'єктів шляхом впровадження гібридних систем електрозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячних електростанцій та малих гідроелектростанцій (ГЕС), зосереджуючи увагу на конкретному випадку – електропостачанні котеджного містечка.

Для досягнення поставленої мети важливо вирішити наступні завдання:

1. Аналіз функціонування різнотипних відновлювальних джерел енергії;
2. Аналіз гібридних системи електропостачання з керованими та некерованими ВДЕ;
3. Проаналізувати методи побудови гібридних систем електропостачання з ВДЕ;

4. Аналіз результатів моделювання роботи гібридних систем з керованими та некерованими ВДЕ.

5. Розробка стартап – проекту.

Об'єктом дослідження є процес електропостачання котеджного містечка за допомогою гібридних систем, які включають в себе сонячну електростанцію та малу гідроелектростанцію (ГЕС) з системою накопичення.

Предметом дослідження є методи проектування гібридних систем електрозабезпечення, спрямовані на забезпечення ефективного та сталого електропостачання локальних об'єктів, зокрема котеджного містечка.

Методи дослідження. Дослідження засновані на аналізі моделювань з програми MATLAB Simulink.

Наукова новизна результатів дослідження. Наукова новизна результатів дослідження полягає в принципово новому підході до аналізу та формування структури гібридних систем електрозабезпечення, спрямованому на забезпечення стабільного та сталого електропостачання котеджного містечка за допомогою різнотипних ВДЕ та систем накопичення електроенергії, котрий дає змогу підібрати комбінацію з керованих та некерованих ВДЕ для більш ефективного електропостачання локальних об'єктів.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені стратегії інтеграції ВДЕ забезпечують стабільне та надійне електропостачання для котеджного містечка. Це особливо важливо в умовах, де традиційні енергетичні джерела можуть бути нестійкими або віддаленими.

Застосування гібридної системи дозволяє зменшити витрати на електроенергію для котеджних власників, особливо враховуючи зростання вартості традиційних джерел енергії.

Використання відновлюваних джерел енергії сприяє зниженню викидів та інших забруднюючих речовин, сприяючи збереженню навколишнього середовища та сталому розвитку.

Гібридна система дозволяє котеджним мешканцям мати власне автономне джерело електроенергії, що може бути особливо важливим в умовах можливих перебоїв у централізованому електропостачанні.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської роботи були оприлюднені на:

VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – PEMS`23». (Київ, 18 листопада 2023р.);

Публікації.

1. Дерев'янка Д.Г. Особливості використання НВДЕ у рамках концепції Smart City / Дерев'янка Д.Г., Кізім О. Ю., Пишний Р.В., Стародуб А.Е. // Збірник праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – PEMS`23».

2. Дерев'янка Д.Г. Аналіз ефективності побудови гібридних систем електрозабезпечення з ВДЕ для електропостачання локальних об'єктів / Дерев'янка Д.Г., Кізім О. Ю., Пишний Р.В., Стародуб А.Е. // Збірник праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – PEMS`23».

3. Дерев'янка Д.Г. Визначення доцільності застосування фотоелектричних систем дахового розміщення енергозабезпечення студентського гуртожитку / Дерев'янка Д.Г., Кізім О. Ю., Пишний Р.В., Стародуб А.Е. // Збірник праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – PEMS`23».

Ключові слова: ВДЕ, ГІБРИДНА СИСТЕМА, MICROGRID, СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПАНЕЛІ.

ABSTRACT

Master's thesis on the topic: "Analysis of the effectiveness of the construction of hybrid power supply systems with RES for the power supply of local facilities." Contains 100 pages of main text, 19 tables and 45 figures.

Actuality of theme. The neglect of renewable energy sources (RES) is unavoidable in the face of increasing costs of coal, oil and natural gas, making alternative sources such as solar energy and hydroelectric power more economically viable.

The power supply of local objects, such as cottage towns, requires a stable and uninterrupted source of energy. Hybrid systems that combine solar panels and small hydroelectric plants can ensure efficiency and stability of energy supply.

The growing awareness and interest of consumers in using energy from natural sources determines the demand for alternative solutions, such as hybrid RES systems for cottage towns.

The goal of the master's thesis is to increase the efficiency of electricity supply to local facilities by implementing hybrid power supply systems using renewable energy sources (RES), in particular solar power plants and small hydroelectric power plants (HPP), focusing on a specific case - the power supply of a cottage town.

To achieve the goal, it is important to solve the following tasks:

1. Analysis of the functioning of various types of renewable energy sources;
2. Analysis of hybrid power supply systems with managed and unmanaged RES;
3. Analyze the methods of building hybrid power supply systems from RES;
4. Analysis of the results of simulation of operation of hybrid systems with managed and unmanaged RES.
5. Development of a startup project.

The object of the study is the process of supplying electricity to a cottage town using hybrid systems, which include a solar power plant and a small hydroelectric power plant (HPP) with a storage system.

The subject of the study is the design methods of hybrid power supply systems, aimed at ensuring efficient and stable power supply of local objects, in particular, a cottage town.

Research methods. The research is based on the analysis of simulations from the MATLAB Simulink program.

Scientific novelty of the research results. The scientific novelty of the research results lies in a fundamentally new approach to the analysis and formation of the structure of hybrid power supply systems, aimed at ensuring a stable and sustainable power supply of a cottage town with the help of various RES and electricity storage systems, which makes it possible to choose a combination of managed and unmanaged RES for a more efficient power supply local objects.

Practical significance of the obtained results. The developed RES integration strategies ensure a stable and reliable electricity supply for the cottage town. This is especially important in environments where traditional energy sources may be unstable or remote.

The use of a hybrid system allows you to reduce the cost of electricity for cottage owners, especially considering the increase in the cost of traditional energy sources.

The use of renewable energy sources contributes to the reduction of emissions and other pollutants, contributing to the preservation of the environment and sustainable development.

The hybrid system allows cottage residents to have their own autonomous source of electricity, which can be especially important in conditions of possible interruptions in the centralized power supply.

Approbation of work results. The results of the master's work were published on: VIII International Scientific and Technical Conference "Energy Management. Status and prospects of development - PEMS'23". (Kyiv, November 18, 2023);

Publications.

1. Derevyanko D.G. Peculiarities of the use of renewable energy sources within the framework of the Smart City concept / D.G. Derevyanko, O. Yu. Kizim, R.V. Pyshnyi,

A.E. Starodub. // Proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference "Energy Management. Status and prospects of development - PEMS'23".

2. Derevyanko D.G. Analysis of the effectiveness of the construction of hybrid power supply systems from RES for the power supply of local facilities / D.G. Derevyanko, O. Yu. Kizim, R.V. Pishniy, A.E. Starodub. // Proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference "Energy Management. Status and prospects of development - PEMS'23".

3. Derevyanko D.G. Determining the expediency of using photovoltaic systems for the rooftop energy supply of a student dormitory / Derev'yanko D.G., Kizim O.Yu., Pishniy R.V., Starodub A.E. // Proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference "Energy Management. Status and prospects of development - PEMS'23".

Keywords: RES, HYBRID SYSTEM, MICROGRID, ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEMS, PHOTOELECTRIC PANELS.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РІЗНОТИПНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	16
1.1 Потенціал відновлювальних джерел енергії в Україні та світі.....	16
1.2 Різновиди відновлювальних джерел енергії.....	28
1.3 Керовані та некеровані відновлювані джерела енергії.....	47
1.4 Особливості побудови гібридних систем з відновлювальними джерелами енергії.....	52
Висновки до розділу 1.....	62
2 МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВДЕ.....	63
2.1 Загальні підходи до побудови гібридних систем електропостачання	63
2.2 Гібридні системи електропостачання з некерованими ВДЕ.....	67
2.3 Гібридні системи електропостачання з керованими ВДЕ	73
Висновки до розділу 2	81
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВДЕ.....	83
3.1 Моделювання гібридних систем електропостачання з некерованими ВДЕ.....	83
3.2 Моделювання гібридних систем електропостачання з керованими ВДЕ.....	85
3.3 Аналіз результатів моделювання роботи гібридних систем з керованими та некерованими ВДЕ.....	88
3.4 Порівняльний аналіз СЕС та гібридної системи електропостачання з керованими ВДЕ.....	89
Висновки до розділу 3	102
4 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	103
ВИСНОВКИ.....	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	112

ПРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК ТА ТЕРМІНІВ

Скорочення

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

МЕА – Міжнародна енергетична агенція;

ГАЕС – Гідроакumuлювальна електростанція;

ГЕС – гідроелектростанція;

СЕС – сонячна електростанція;

РГ – розподілені генератори;

ВЕУ – вітроенергетичні установки;

ФЕП – фотоелектричні панелі;

ПЕ – паливні елементи;

МТ – мікротурбіни;

АС – alternating current / система змінного струму;

Умовні позначки та символи

R – опір;

L – індуктивність;

C – конденсатор;

ВСТУП

У сучасному швидкозмінюваному світі проблема надійного та сталого електропостачання стає актуальною, вимагаючи новітніх рішень. З урахуванням постійного зростання енергоспоживання та розширення світової інфраструктури населення, поява гібридних систем стає необхідністю. Ці системи, які об'єднують різноманітні джерела енергії, визначають новий рівень надійності та стійкості в постачанні електроенергії.

Локальні об'єкти мають різноманітні потреби, тому вирішення завдання створення гібридних систем електрозабезпечення вимагає уважного вивчення та оптимізації. Використання відновлювальних джерел енергії стає пріоритетом для досягнення екологічної стійкості. Досягнення ефективності в гібридних системах для локальних об'єктів з ВДЕ — це виклик, який вимагає системного підходу та глибокого аналізу.

Цей дослід зосереджений на класифікації та аналізі ефективності різнотипних гібридних систем електрозабезпечення з використанням відновлювальних джерел енергії. Ретельне вивчення різних моделей дозволить визначити оптимальні рішення для конкретних умов та забезпечити стаке та надійне електроживлення для локальних об'єктів.

Актуальність теми. Знехтуванням відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) неможливо уникнути в умовах збільшення вартості вугільного, нафтового та природного газу, що робить альтернативні джерела, такі як сонячна енергія та ГЕС, більш економічно вигідними.

Електропостачання локальних об'єктів, таких як котеджні містечка, вимагає сталого та безперебійного джерела енергії. Гібридні системи, які поєднують сонячні панелі та малі ГЕС, можуть забезпечити ефективність та стабільність енергопостачання.

Зростаюча освіченість та інтерес споживачів до використання енергії з природних джерел визначає попит на альтернативні рішення, такі як гібридні системи ВДЕ для котеджних містечок.

Мета магістерської дисертації полягає підвищенні ефективності електропостачання локальних об'єктів шляхом впровадження гібридних систем електрозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячних електростанцій та малих гідроелектростанцій (ГЕС), зосереджуючи увагу на конкретному випадку – електропостачанні котеджного містечка.

Для досягнення поставленої мети важливо вирішити наступні завдання:

1. Аналіз функціонування різнотипних відновлювальних джерел енергії;
2. Аналіз гібридних системи електропостачання з керованими та некерованими ВДЕ;
3. Проаналізувати методи побудови гібридних систем електропостачання з ВДЕ;
4. Аналіз результатів моделювання роботи гібридних систем з керованими та некерованими ВДЕ.
5. Розробка стартап – проекту.

Об'єктом дослідження є процес електропостачання котеджного містечка за допомогою гібридних систем, які включають в себе сонячну електростанцію та малу гідроелектростанцію (ГЕС) з системою накопичення.

Предметом дослідження є методи проектування гібридних систем електрозабезпечення, спрямовані на забезпечення ефективного та сталого електропостачання локальних об'єктів, зокрема котеджного містечка.

Методи дослідження. Дослідження засновані на аналізі моделювань з програми MATLAB Simulink.

Наукова новизна результатів дослідження. Наукова новизна результатів дослідження полягає в принципово новому підході до аналізу та формування структури гібридних систем електрозабезпечення, спрямованому на забезпечення

стабільного та сталого електропостачання котеджного містечка за допомогою різнотипних ВДЕ та систем накопичення електроенергії, котрий дає змогу підібрати комбінацію з керованих та некерованих ВДЕ для більш ефективного електропостачання локальних об'єктів.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені стратегії інтеграції ВДЕ забезпечують стабільне та надійне електропостачання для котеджного містечка. Це особливо важливо в умовах, де традиційні енергетичні джерела можуть бути нестійкими або віддаленими.

Застосування гібридної системи дозволяє зменшити витрати на електроенергію для котеджних власників, особливо враховуючи зростання вартості традиційних джерел енергії.

Використання відновлюваних джерел енергії сприяє зниженню викидів та інших забруднюючих речовин, сприяючи збереженню навколишнього середовища та сталому розвитку.

Гібридна система дозволяє котеджним мешканцям мати власне автономне джерело електроенергії, що може бути особливо важливим в умовах можливих перебоїв у централізованому електропостачанні.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської роботи були оприлюднені на:

VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – PEMS`23». (Київ, 18 листопада 2023 р.);

Публікації.

1. Дерев'янка Д.Г. Особливості використання НВДЕ у рамках концепції Smart City / Дерев'янка Д.Г., Кізім О. Ю., Пишний Р.В., Стародуб А.Е. // Збірник праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – PEMS`23».

2. Дерев'янка Д.Г. Аналіз ефективності побудови гібридних систем електрозабезпечення з ВДЕ для електропостачання локальних об'єктів / Дерев'янка

Д.Г., Кізім О. Ю., Пишний Р.В., Стародуб А.Е. // Збірник праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – PEMS`23».

3. Дерев'янюк Д.Г. Визначення доцільності застосування фотоелектричних систем дахового розміщення енергозабезпечення студентського гуртожитку / Дерев'янюк Д.Г., Кізім О. Ю., Пишний Р.В., Стародуб А.Е. // Збірник праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – PEMS`23».

Ключові слова: ВДЕ, ГІБРИДНА СИСТЕМА, MICROGRID, СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПАНЕЛІ.

1. ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РІЗНОТИПНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1 Потенціал відновлювальних джерел енергії в Україні та світі

Відновлювана енергія - це енергія, отримана з природних джерел, які поповнюються більш високими темпами, ніж споживаються. Сонячне світло і вітер, наприклад, є такими джерелами, які постійно поповнюються. Поновлюваних джерел енергії багато і навколо нас.

З іншого боку, викопне паливо - вугілля, нафта і газ - є невідновлюваними ресурсами, які формуються сотні мільйонів років. Викопне паливо, коли спалюється для виробництва енергії, викликає шкідливі викиди парникових газів, такі як вуглекислий газ.

Традиційна енергетика, що базується на використанні вугілля, газу та атомних станцій, призвела до серйозної екологічної кризи, включаючи зміни клімату, забруднення повітря та води, нестачу продовольства та розповсюдження ядерної зброї, а також радіоактивне забруднення значних територій. З метою подолання цих проблем, настав час перейти до сучасної та безпечної альтернативи - відновлювані джерела енергії (ВДЕ).

Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова енергія, є невичерпними та екологічно чистими. Вони відкривають можливість забезпечити енергонезалежність України, оскільки не вимагають постійної закупівлі палива, такого як уран, газ чи вугілля. Відновлювана енергетика може надавати достатньо теплової та електроенергії для потреб промисловості, домогосподарств, транспортної галузі та сільського господарства.

Крім того, перехід до відновлюваних джерел енергії сприятиме створенню нових робочих місць у виробництві, встановленні та обслуговуванні сонячних систем, а також проведенню енергоаудиту будівель. Це не лише сприятиме

екологічній стійкості, але й сприяє економічному розвитку та розширенню сфери відновлюваної енергетики в Україні.

Стан відновлюваної енергетики в Україні до війни

Україна має значний потенціал для розширення виробництва енергії з відновлюваних ресурсів, включаючи вітер, сонячну енергію та біомасу. Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) у 2015 році провело дослідження відновлюваного сектору та потенціалу України. Загальний потенціал вітроенергетики України становить від 16 гігават (ГВт) до 24 ГВт, причому 16 ГВт вважаються економічно доцільними. До війни, компанії мали значні вітрові потужності планується, з 91 турбіни додані в 2021 році. Найбільш перспективні регіони для розвитку сонячної енергетики знаходяться в південних і південно-західних районах країни, де сонячне випромінювання є найвищим. IRENA оцінює в цілому 4 ГВт потенціалу можливого розвитку сонячної енергетики в Україні. Завдяки численним сільськогосподарським ресурсам України біомасу все частіше можна використовувати для опалення по всій країні.

До війни в Україні спостерігалось значне збільшення відновлюваних потужностей та інвестицій у приватний сектор. Український уряд поставив за мету до 2035 року забезпечити 25% всієї енергії з відновлюваних джерел. У 2009 році на поновлювані джерела енергії припадало близько 3% української електроенергії; до кінця 2020 року ця частка зросла до 12,4 відсотка. На малюнку нижче показано поєднання відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії в 2020 році з найвищим внеском гідро- та сонячної енергії. Потужність ГЕС залишається відносно стабільною протягом останніх 10 років, всі основні гідроелектростанції належать державній компанії «Укргідроенерго». Генерація електроенергії з ВДЕ показано нижче на рис. 1.1.

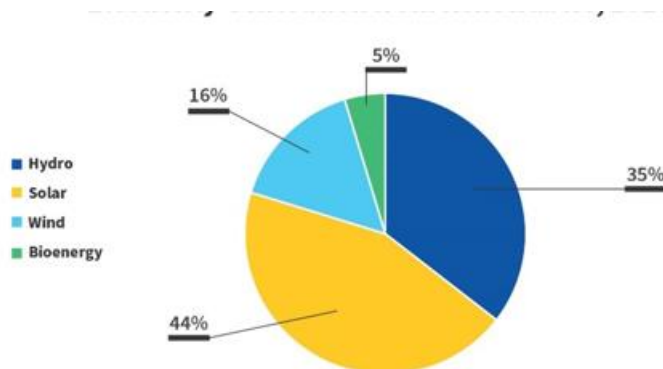


Рисунок 1.1 - Генерація електроенергії з ВДЕ, 2020 рік

Україна окреслила плани, які значно збільшать потужність відновлюваної генерації в зусиллях з реконструкції. Національний план відновлення України, представлений у липні на конференції в Лугано, включає близько 130 мільярдів доларів витрат (що еквівалентно 65 відсоткам ВВП України у 2021 році) на досягнення енергетичної незалежності та розвиток зеленої енергетики протягом двох етапів реконструкції (2023-2025 та 2026-2032). Поновлювані джерела енергії підкреслюються на другому етапі, з метою додавання від 5 до 10 ГВт сонячної та вітрової потужності (\$15 млрд), локалізації виробництва обладнання для ВДЕ (\$2 млрд), будівництва 30 + ГВт ВДЕ для виробництва водню (\$38 млрд) та будівництва розумних мереж (\$5 до 10 млрд). Масштаби цих цілей, щонайменше, амбітні.

Розширення відновлюваної енергетики також залежатиме від взаємозв'язку та експортної потужності між українськими та європейськими електромережами. Інтеграція української мережі з європейською буде постійним зусиллям як під час, так і після війни. Після аварійної синхронізації двох мереж на початку війни «Укренерго» (український оператор електромереж) і ENTSO-E підключили свої мережі, але рівень взаємозв'язку залишається низьким. У Плані відновлення України країна сподівається досягти трансферної потужності між Україною та Європою у 3,6 ГВт до 2030 року та 6,2 ГВт до 2040 року. Розширення взаємозв'язку залежатиме від відновлення лінії Жешув-Хмельницький між Україною та Польщею та модернізації сегментів української електромережі відповідно до європейських енергетичних норм.

Впровадження відновлюваної генерації дозволить Україні підтримати кліматичні амбіції Європейського Союзу через експорт зеленої електроенергії. До останніх збоїв в атомній енергетиці близько 55% виробництва електроенергії в Україні здійснювалося з атомної енергетики. Поновлювані джерела енергії можуть потенційно витіснити вугілля та природний газ у цьому секторі. Повна інтеграція з європейською енергосистемою вимагатиме прогресу як щодо правил, так і щодо технологій, підкреслюючи важливість чітких кроків вперед протягом всієї війни та початкової реконструкції. Встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики показано нижче на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 - Встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики

Розширення виробництва відновлюваної енергії в Україні може зміцнити енергетичну безпеку та подальшу інтеграцію України з Європейським Союзом. Відновлення енергосистеми України буде часовим і капіталомістким процесом. Залучення інвестицій у відновлюваний сектор також вимагатиме вдосконалення внутрішньої політики навколо відновлюваних джерел енергії. У той час як війна триває, міжнародні партнери та українські лідери можуть визначити проекти, які зміцнять енергосистему шляхом розширення потужностей зберігання та взаємозв'язку з Європейським Союзом. Робота, яка проводиться для вирішення проблеми руйнування енергосистеми України, може закласти основу для

довгострокової реконструкції енергетичного сектору, тоді як координація донорів та експертиза різних DFI та MDB будуть неоціненними для сектору відновлюваної енергетики в Україні. Робота над реформуванням та вдосконаленням відновлюваного сектору має розпочатися вже сьогодні.

Потенціал ВДЕ в Україні

Вторгнення Росії в Україну мало далекосяжний вплив на світову енергетичну систему. В Україні розгортається зовсім інша енергетична криза, оскільки Росія безпосередньо націлилася на енергетичну інфраструктуру України хвилями ракетних атак, залишивши енергосистему серйозно пошкодженою. Ці атаки призвели до віялових відключень електроенергії по всій країні, погіршивши гуманітарну кризу.

Відновлення енергетичної системи України матиме важливе значення для забезпечення як більш широких зусиль з відновлення, так і повернення економічної активності. Є два принципи, якими слід керуватися для відновлення енергетичної системи України: забезпечення енергетичної безпеки та незалежності та поглиблення зв'язків та економічних відносин між Україною та Європейським Союзом. Для досягнення обох цілей Україна повинна розвивати свої потенційні поновлювані джерела енергії. Відновлювана енергетика, в тому числі вітрова, сонячна та біомаса, в Україні в достатку. Розвиток цих ресурсів буде підтримувати вітчизняну енергетику, тим самим зміцнюючи енергетичну безпеку та незалежність України. Україна має великий потенціал стати експортером енергії після війни, тим самим підтримуючи цілі Європейського Союзу з декарбонізації та енергетичної безпеки.

Як і для більш широких зусиль з реконструкції, сектор відновлюваних джерел енергії потребуватиме значної фінансової підтримки як з боку державних, так і приватних партнерів. Створення ринку, який зможе залучити капітал і конкурувати з іншими країнами, що займаються відновлюваною енергетикою, вимагатиме поліпшення структури відновлюваної політики України. Розширення виробництва відновлюваної енергії буде залежати від значних зусиль з модернізації мереж та

більшої потужності зберігання та експорту для управління змінною генерацією по всій системі. Потенціал встановленої потужності ВДЕ показано нижче на рис. 1.3.

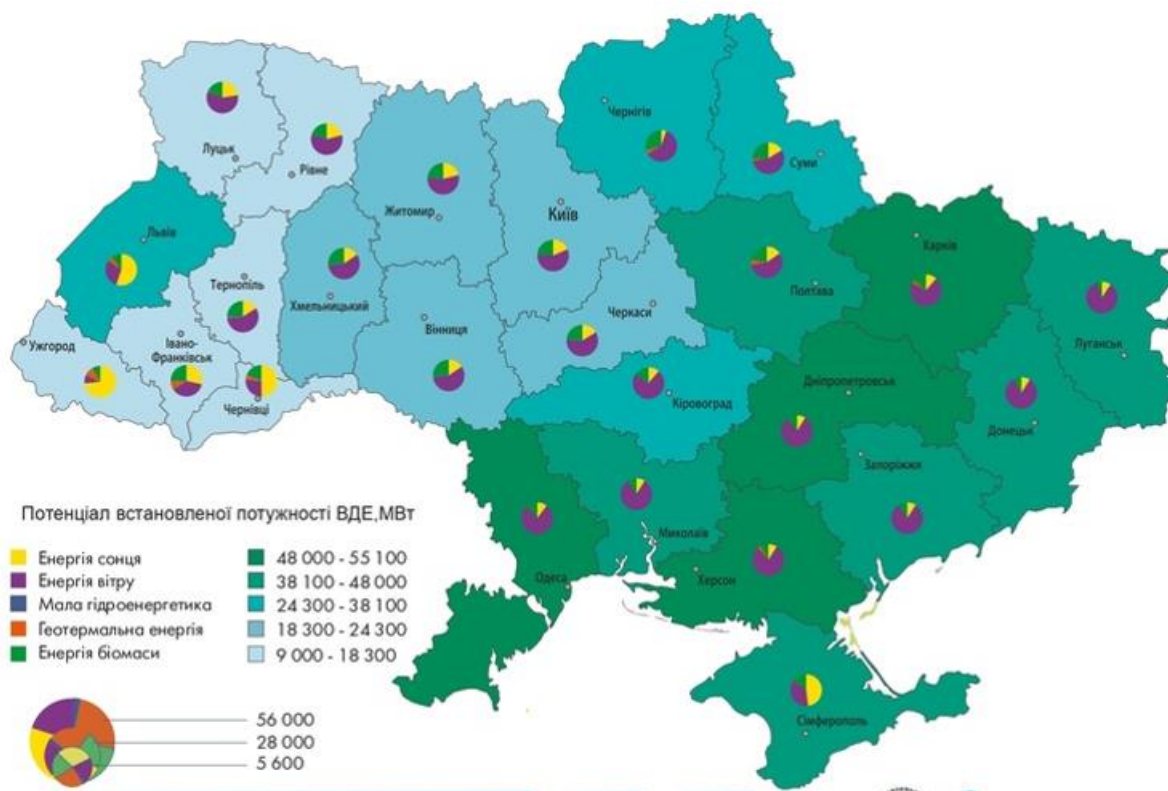


Рисунок 1.3 - Потенціал встановленої потужності ВДЕ, МВт

Реконструкція енергетичного сектору України спочатку буде зосереджена на ремонті пошкоджень, завданих енергомережі та іншій енергетичній інфраструктурі (наприклад, трубопроводах для мереж централізованого теплопостачання, теплових електростанцій та мереж передачі) для забезпечення доступу до енергії для громадян та забезпечення зусиль з будівництва. Після того, як ці початкові кроки будуть реалізовані, постійні зусилля з розширення відновлюваних джерел енергії повинні бути пріоритетними в реконструкції.

Потенціал ВДЕ у світі

Світовий попит на енергію, за прогнозами, зросте до 1000 EJ (EJ = 10¹⁸ J) або більше до 2050 року, якщо економічне зростання продовжить свій курс останніх десятиліть. Як виснаження запасів, так і викиди парникових газів вимагатимуть значного переходу від викопного палива як домінуючого джерела енергії. Оскільки ядерна енергетика зараз навряд чи збільшить свою нинішню скромну частку, поновлювані джерела енергії (ВДЕ) повинні будуть забезпечувати більшу частину енергії в майбутньому. На рис. 1.4 загальна генерація електроенергії з ВДЕ.

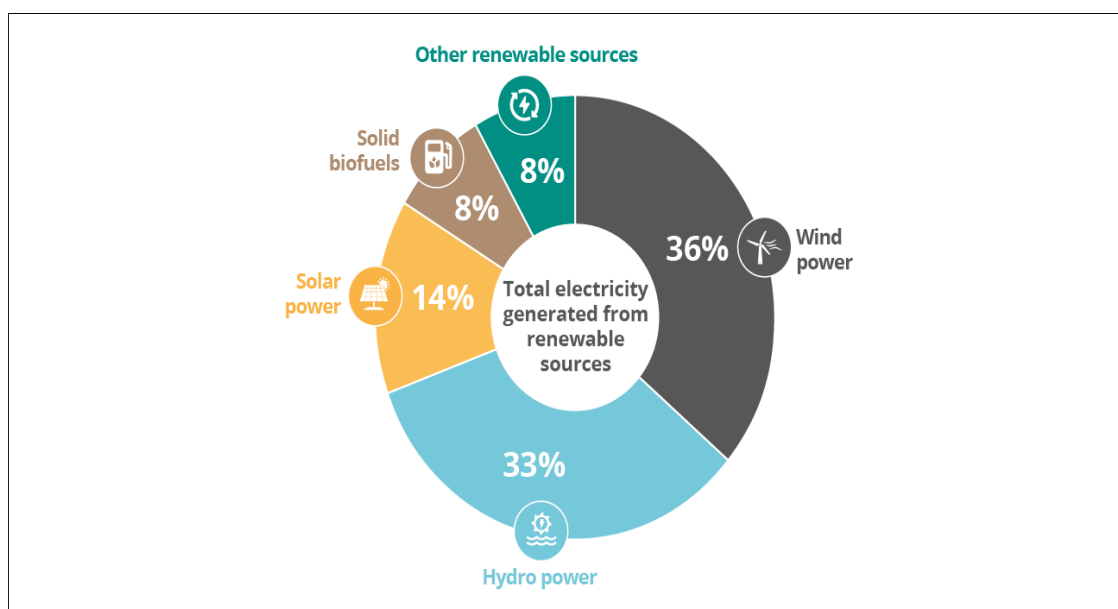


Рисунок 1.4 - Загальна генерація електроенергії з ВДЕ

Велика частина парникових газів, які покривають Землю і затримують сонячне тепло, генерується за рахунок виробництва енергії, спалюючи викопне паливо для виробництва електроенергії та тепла.

Викопне паливо, таке як вугілля, нафта і газ, є найбільшим внеском у глобальну зміну клімату, що становить понад 75% глобальних викидів парникових газів і майже 90% всіх викидів вуглекислого газу.

Наука зрозуміла: щоб уникнути найгірших наслідків зміни клімату, викиди потрібно скоротити майже вдвічі до 2030 року і досягти чистого нуля до 2050 року.

Щоб досягти цього, ми повинні припинити нашу залежність від викопного палива та інвестувати в альтернативні джерела енергії, які є чистими, доступними, доступними, стійкими та надійними.

Поновлювані джерела енергії - які доступні в достатку навколо нас, забезпечуються сонцем, вітром, водою, відходами і теплом з Землі - поповнюються природою і не виділяють практично ніяких парникових газів або забруднюючих речовин в повітря.

Викопне паливо все ще становить понад 80% світового виробництва енергії, але чистіші джерела енергії набирають обертів. Близько 29% електроенергії в даний час надходить з відновлюваних джерел.

Близько 80% світового населення живе в країнах, які є нетто-імпортерами викопного палива - це близько 6 мільярдів людей, які залежать від викопного палива з інших країн, що робить їх вразливими до геополітичних потрясінь і криз.

На відміну від цього, поновлювані джерела енергії доступні у всіх країнах, і їх потенціал ще належить повністю використовувати. За оцінками Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), до 2050 року 90% світової електроенергії може і повинна надходити з відновлюваних джерел енергії.

Відновлювані джерела енергії пропонують вихід з імпортозалежності, дозволяючи країнам диверсифікувати свою економіку та захищати їх від непередбачуваних коливань цін на викопне паливо, одночасно стимулюючи інклюзивне економічне зростання, нові робочі місця та подолання бідності.

Відновлювана енергія насправді є найдешевшим варіантом енергії в більшості частин світу сьогодні. Ціни на технології відновлюваної енергетики стрімко знижуються. Вартість електроенергії від сонячної енергії впала на 85 відсотків між 2010 і 2020 роками. Витрати на наземну та офшорну енергію вітру знизилися на 56% та 48% відповідно [1].

Падіння цін робить поновлювані джерела енергії більш привабливими – в тому числі в країнах з низьким і середнім рівнем доходу, де більшість додаткового попиту на нову електроенергію буде надходити. З падінням витрат, є реальна

можливість для більшої частини нового джерела живлення протягом найближчих років, щоб бути забезпеченим низьковуглецевими джерелами.

Дешева електроенергія з відновлюваних джерел може забезпечити 65% від загального обсягу електроенергії в світі до 2030 року. Він може декарбонізувати 90% енергетичного сектора до 2050 року, масово скорочуючи викиди вуглецю та допомагаючи пом'якшити зміни клімату.

Незважаючи на те, що витрати на сонячну та вітрову енергію, як очікується, залишаться вищими в 2022 і 2023 роках, а потім на рівні до пандемії через загальні підвищені ціни на товари та вантажі, їх конкурентоспроможність фактично покращується через набагато більш різке зростання цін на газ та вугілля, говорить Міжнародне енергетичне агентство (МЕА).

Більш того, ефективні, надійні відновлювані технології можуть створити систему, менш схильну до ринкових потрясінь, а також поліпшити стійкість і енергетичну безпеку шляхом диверсифікації варіантів енергопостачання.

За оцінками Міжнародної енергетичної агенції (МЕА), відновлювані джерела енергії можуть забезпечити значний внесок до світового енергетичного балансу. За останніми даними, вони вже становлять значний відсоток виробництва електроенергії в багатьох країнах.

Важливим етапом у сприянні переходу до відновлюваних джерел є розвиток технологій для збільшення ефективності та економічної доцільності використання цих джерел енергії. З розвитком та розширенням використання відновлюваних джерел енергії можна значно зменшити вплив на довкілля та забезпечити сталу та стійку енергетичну систему для майбутніх поколінь.

На сьогоднішній день недостатня увага приділяється потенціалу відновлюваних джерел енергії в промислових додатках. Наш аналіз показує, що до 21% кінцевого попиту на енергію та використання сировини в обробній промисловості може мати відновлюване походження до 2050 року, що в п'ять разів перевищує поточний рівень в абсолютному вираженні. Ця оцінка значно вище, ніж

інші недавні глобальні сценарні дослідження. Крім того, якщо передбачається 50% частки ВДЕ у виробництві електроенергії, частка прямого та непрямого використання ВДЕ зросте до 31% у 2050 році. Наш аналіз також показує, що біоенергетика та біопродукти можуть становити три чверті прямого використання відновлюваних джерел енергії в цьому секторі до 2050 року. Решта приблизно рівномірно розподіляється між сонячними та тепловими насосами. Потенціал сонячного охолодження вважається обмеженим.

У той час як низькотемпературне тепло сонячного процесу може досягти економічної ефективності сьогодні в місцях з хорошою інсоляцією, деякі біоенергетичні додатки вимагатимуть ціни CO₂ навіть у довгостроковій перспективі. Сировина для біомаси синтетичних органічних матеріалів вимагатиме ціни CO₂ до 100 доларів США/т CO₂, або навіть більше, якщо на рахунках CO₂ не враховується належним чином. Майбутні ціни на викопне паливо та ціни на біоенергетику на додаток до розвитку сировинних ринків для біомаси будуть критичними. Особам, які приймають рішення, рекомендується приділяти більше уваги потенціалу відновлюваних джерел енергії в промисловості. Нарешті, ми пропонуємо розробку детальної дорожньої карти технологій для подальшого вивчення цього потенціалу та обговорення ключових питань, які необхідно розробити в таких рамках.

Очевидно, що відновлювані джерела енергії є важливим фактором сталого розвитку. Сьогодні на відновлювані джерела енергії припадає 13% світового споживання первинної енергії. Це включає 18% частки виробництва електроенергії, 10% опалення, близько 30% приготування їжі (переважно з традиційної біомаси) та 3% транспортного палива. На відновлювані джерела енергії припадає 9% промислового енергоспоживання. Його використання швидко зростає, що обумовлено швидко зростаючим попитом, технологічним прогресом, економією коштів, проблемами безпеки поставок і охорони навколишнього середовища. Уряди по всьому світу поділяють це бачення. Як доказ 149 з них створили нову міжурядову організацію - Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA).

Метою установи є прискорення зростання відновлюваних джерел енергії у всіх секторах світу для досягнення цілей політики доступу до енергії, економічного зростання, енергетичної безпеки та екологічної стійкості. Країни домовилися розробити дорожню карту з відновлюваних джерел енергії в промисловому секторі. Організація об'єднаних Націй з промислового розвитку (ЮНІДО) прагне демонструвати та впроваджувати відновлювані джерела енергії в промисловості, включаючи сонячну теплову енергію та різні проекти в галузі енергетики та бамбукової сировини. Існує консенсус щодо того, що використання відновлюваних джерел енергії значно зросте в найближчі десятиліття. Наприклад, огляд світової енергетики МЕА за 2010 рік (WEO) передбачає, що до 2035 року використання відновлюваних джерел енергії може збільшитися до 27% споживання первинної енергії [2].

Глобальний попит на електроенергію зріс до 24 700 КВт-год у 2021 році - що становить збільшення на 6% порівняно з попереднім роком і є найбільшим щорічним зростанням з 2010 року - що свідчить про відновлення в багатьох економіках після пандемії. Майже три чверті глобального зростання попиту на електроенергію у 2021 році відбулися в економіках розвиваючихся ринків, і Китай взяв на себе приблизно 700 ТВт-год, або 50% глобального зростання, що еквівалентно загальному попиту на електроенергію в Африці сьогодні. Наразі частка електроенергії в загальному обсязі кінцевого енергоспоживання світового виробництва становить 20%. Найбільші споживачі електроенергії - це Китай, Сполучені Штати та Європа; разом вони складають понад 60% глобального попиту на електроенергію рис. 1.5.

	2010	2021	STEPS		APS	
			2030	2050	2030	2050
North America	4 632	4 852	5 266	6 830	5 544	8 786
United States	3 880	4 004	4 281	5 482	4 529	7 187
Central and South America	932	1 097	1 308	2 168	1 447	2 940
Brazil	451	541	622	985	637	1 138
Europe	3 567	3 645	4 182	5 060	4 639	6 561
European Union	2 574	2 608	2 922	3 327	3 271	4 348
Africa	570	707	994	2 041	1 128	3 355
South Africa	214	194	229	365	248	494
Middle East	709	1 064	1 372	2 430	1 343	2 878
Eurasia	985	1 181	1 291	1 669	1 280	1 652
Asia Pacific	7 154	12 164	16 208	23 475	16 371	27 638
China	3 659	7 556	9 969	12 868	9 940	14 504
India	717	1 273	2 117	4 293	2 107	5 314
Japan	1 071	934	893	922	952	1 153
Southeast Asia	607	1 037	1 537	2 848	1 580	3 214
Global electricity demand	18 548	24 700	30 621	43 672	31 752	53 810

Рисунок 1.5 - Попит на електроенергію за регіонами та сценарій росту, 2010-2050 (ТВт/год)

Сучасна глобальна енергетична криза призвела до стрімкого підвищення цін на електроенергію для споживачів. Наприклад, середня вартість електроенергії для домогосподарств у Європейському союзі у першій половині 2022 року була на близько 30% вищою, ніж протягом того ж періоду 2021 року (МАЕ, 2022а; Energie-Control Austria, МЕКН та VaasaETT, 2022). Для подолання кризи в короткостроковій перспективі та обмеження впливу високих оптових цін на електроенергію, деякі уряди країн Європи ввели заходи, такі як обмеження цін на роздрібну електроенергію, субсидії для виробників енергії з використанням кам'яного вугілля, податки на несподівані прибутки та виплати для захисту кінцевих користувачів від зростання рахунків за електроенергію (Spotlight). Дії для пом'якшення впливу на кінцевих користувачів розуміються, але існує ризик, що приглушені сигнали цін на електроенергію можуть зменшити стимули до необхідних змін у споживанні та підвищення ефективності, які зменшують попит і, таким чином, сприяють зниженню цін. У пошуках довгострокових рішень Європейський союз розглядає можливість перегляду поточної концепції ринку електроенергії.

Незважаючи на турбуленцію на сучасних ринках електроенергії, нарощується моментум для подальшої електрифікації у всьому світі, з впровадженням електромобілів та встановленням теплових насосів, а також використанням електроенергії для задоволення нових потреб. Ціни на електроенергію стрімко зросли, але також зросли ціни на нафту, природний газ та вугілля. За даними прогнозів, генерація електроенергії в майбутньому буде менш залежною від використання кам'яного вугілля, що сприятиме зменшенню викидів та підвищить привабливість цього виду енергії. Зменшення залежності від використання кам'яного вугілля також може призвести до поліпшення енергетичної безпеки, за умови посилення сітей електропередачі для забезпечення стійкості.

1.2 Різновиди відновлювальних джерел енергії

Відновлювані джерела енергії, такі як біомаса, геотермальні ресурси, сонячне світло, вода і вітер, є природними ресурсами, які можуть бути перетворені в ці види чистої, корисної енергії: біоенергетика, геотермальна енергія, гідроенергетика, сонячна енергія, енергія вітру, морська енергія.

Біоенергетика

Біоенергетика є одним з багатьох різноманітних ресурсів, доступних для задоволення нашого попиту на енергію. Це форма відновлюваної енергії, яка отримується з нещодавно живих органічних матеріалів, відомих як біомаса, які можуть бути використані для виробництва транспортного палива, тепла, електроенергії та продуктів.

Основні джерела біомаси

Біомасивні вихідні матеріали включають в себе енергетичні культури, залишки сільськогосподарських культур, залишки лісового господарства, водорості, відходи обробки деревини, комунальні відходи та мокрі відходи (відходи вирощування культур, лісові залишки, цільні трави, дерев'яні енергетичні культури,

водорості, промислові відходи, відсортовані комунальні тверді відходи [КТВ], міські дерев'яні відходи та харчові відходи).

Енергетичні культури. Неїстівні культури, які можуть бути вирощені на маргінальних землях (земля, не придатна для традиційних культур, таких як кукурудза та соя) спеціально для виробництва біомаси. Їх можна розділити на дві загальні категорії: трав'янисті та дерев'яні. Трав'янисті енергетичні культури - це багаторічні (рослини, які живуть більше 2 років) трави, які збирають щорічно після того, як пройшло 2-3 роки до досягнення повної продуктивності. До них входять свічниця, міскантус, бамбук, солодкий сорго, високий мурашник, кокія, пшенична трава та інші. Швидкоротаційні дерев'яні культури - це швидкоростучі твердолисті дерева, які збираються протягом 5-8 років після посадки. До них входять гібридна тополя, гібридна верба, срібна кленова, східна котина, зелений ясен, чорний горіх, солодка горіховина та платан. Багато з цих видів можуть допомагати покращити якість води та ґрунту, покращити умови для дикої природи порівняно з річними культурами, диверсифікувати джерела доходу та покращити загальну продуктивність ферми.

Залишки сільськогосподарських культур. Існують багато можливостей використання сільськогосподарських ресурсів на існуючих землях без втручання у виробництво їжі, кормів, волокна чи лісових продуктів. Залишки сільськогосподарських культур, що включають в себе стебла та листя, є великою, різноманітною та широко поширеною категорією в Сполучених Штатах. До них входять солома кукурудзи (стебла, листя, оболонки та кукурудзяні шишки), пшенична солома, вівсяна солома, ячмінна солома, післяжнивний стержень та солома рису. Продаж цих залишків місцевому біорефінері представляє також можливість для фермерів отримати додатковий дохід.

Залишки лісового господарства. Біомасивні вихідні матеріали з лісового господарства поділяються на дві категорії: залишки лісового господарства, що залишаються після рубки деревини (включаючи гілки, верхівки та викинуті дерева та дерев'яні компоненти, які інакше не можуть бути реалізовані), та біомаса цілого

дерева, зібрана специфічно для виробництва біомаси. Мертві, захворілі, погано сформовані та інші нереалізовані дерева часто залишають.

На відміну від інших відновлюваних джерел енергії, біомасу можна перетворювати безпосередньо на рідке паливо, яке називається «біопаливо», щоб допомогти задовольнити потреби транспортного палива. Два найпоширеніші типи біопалива, що використовуються сьогодні, — це етанол і біодизель, обидва з яких представляють перше покоління технології біопалива.

Основи біоенергетики

Технології біоенергетики перетворюють паливо з відновлюваної біомаси на тепло та електроенергію за допомогою процесів, подібних до тих, що використовуються з викопним паливом. Існує три способи вивільнити енергію, що зберігається в біомасі, для виробництва біоенергії: спалювання, розпад бактерій і перетворення на газ/рідке паливо.

Спалювання: більшість електроенергії, що виробляється з біомаси, виробляється шляхом прямого спалювання. Біомаса спалюється в котлі для отримання пари високого тиску. Ця пара тече по ряду лопатей турбіни, змушуючи їх обертатися. Обертання турбіни приводить в дію генератор, виробляючи електроенергію. Біомаса також може служити заміною частини вугілля в існуючій печі електростанції в процесі, званому спалення (спалювання двох різних типів матеріалів одночасно).

Розпад бактерій: органічні відходи, такі як гній тварин або людські стічні води, збираються в безкисневих резервуарах, які називаються копачами. Тут матеріал розкладається анаеробними бактеріями, які виробляють метан та інші побічні продукти для формування відновлюваного природного газу, який потім може бути очищений і використаний для виробництва електроенергії.

Перетворення на газ/рідке паливо: біомасу можна перетворити на газоподібне або рідке паливо за допомогою газифікації та піролізу. Газифікація - це процес, який піддає матеріал твердої біомаси високим температурам з дуже малою кількістю кисню для отримання синтез-газу (або сингазу) - суміші, яка складається в

основному з окису вуглецю та водню. Потім газ можна спалювати в звичайному котлі для виробництва електроенергії. Він також може бути використаний для заміни природного газу в парогазовій турбіні.

Піроліз використовує аналогічний процес газифікації, але в різних умовах експлуатації. У цьому сценарії біомаса нагрівається при більш низькому діапазоні температур, але при повній відсутності кисню для отримання сирової біо-нафти. Потім ця біоолія замінюється на мазут або дизельне паливо в печах, турбінах і двигунах для виробництва електроенергії.

Крім електроенергії та палива, біомасу можна використовувати для створення цінних хімікатів і матеріалів, відомих як «біопродукти». Біологічні хімікати та матеріали можуть служити відновлюваною альтернативою багатьом продуктам, отриманим з нафти чи природного газу, таким як пластмаси, добрива, мастильні матеріали та промислові хімікати. Вони також часто потребують менше енергії під час виробництва та виробляють менше парникових газів, ніж їхні нафтові еквіваленти.

Геотермальна енергія

Геотермальна енергія — це теплова енергія землі — Гео (земля) + термальна (тепло).

Геотермальні ресурси — це резервуари гарячої води, які існують або створені людиною при різних температурах і на глибинах під земною поверхнею. Свердловини глибиною від кількох футів до кількох миль можуть бути пробурені в підземних резервуарах для отримання пари та дуже гарячої води, які можна вивести на поверхню для використання в різноманітних цілях, включаючи виробництво електроенергії, пряме використання та опалення та охолодження.

Тепло, що витікає з надр Землі, постійно поповнюється за рахунок розпаду природних радіоактивних елементів і залишатиметься доступним протягом мільярдів років.

Базове навантаження — геотермальні електростанції постійно виробляють електроенергію та можуть працювати практично 24 години на добу/7 днів на

тиждень, незалежно від погодних умов. Також геотермальні ресурси можна використовувати для виробництва електроенергії, опалення й охолодження без імпорту палива.

Сучасні геотермальні електростанції не виділяють парникових газів і мають викиди протягом життєвого циклу в чотири рази нижчі, ніж сонячні фотоелектричні станції, і в 6-20 разів нижчі, ніж природний газ. Геотермальні електростанції в середньому споживають менше води протягом усього терміну експлуатації, ніж більшість звичайних технологій виробництва електроенергії.

Гідроенергетика

Гідроенергетика, або гідроелектроенергетика, — це відновлюване джерело енергії, яке генерує електроенергію за допомогою дамби або водовідвідної споруди для зміни природного потоку річки чи іншої водойми. Гідроенергетика покладається на нескінченну систему кругообігу води, яка постійно поповнюється, для виробництва електроенергії, використовуючи паливо — воду, — яке не зменшується та не виключається в процесі. Існує багато типів гідроенергетичних установок, але всі вони живляться за рахунок кінетичної енергії текучої води, яка рухається вниз за течією. Гідроенергетика використовує турбіни та генератори для перетворення цієї кінетичної енергії в електрику, яка потім подається в електричну мережу для живлення будинків, підприємств і промисловості.

Гідроелектростанція - це електростанція, яка виробляє електроенергію за рахунок тиску води, яка надходить на лопаті гідроелектричної турбіни і, таким чином, приводить в дію генератор. Для роботи гідроелектростанцій необхідна різниця у висоті русла річки. Для її створення будується гребля, яка також служить водосховищем і дозволяє працювати гідроелектростанціям в будь-який час. В результаті вода падає з висоти, потрапляє на лопатки турбіни і обертається, а вони обертають вал генератора для вироблення електроенергії. Також для створення необхідного тиску води використовується відведення води з русла річки до гідротехнічної споруди по системі водних шляхів або водопровідних труб.

Існує два основних типи гідроенергетичних турбін: реакційні та імпульсні.

Реакційна турбіна

Реакційна турбіна генерує енергію за рахунок об'єднаних сил тиску та рухомої води. Бігун розміщено безпосередньо в потоці води, що дозволяє воді текти по лопатям, а не вдаряти по кожному окремо. Реакційні турбіни, як правило, використовуються для об'єктів з нижчим напором і більшою витратою, і вони є найпоширенішим типом, який зараз використовується в Сполучених Штатах.

Два найпоширеніші типи реакційних турбін - це пропелер (включаючи турбіни Каплана) і Френсіс. Кінетичні турбіни також є різновидом реакційних турбін.

Пропелерна турбіна

Пропелерна турбіна, як правило, має бігун із трьома-шістьма лопатями. Вода постійно контактує з усіма лезами. Зобразіть човновий гвинт, що рухається в трубі. Через трубу тиск постійний; якби цього не було, бігун вийшов би з рівноваги. Крок лопатей може бути фіксованим або регульованим. Основними компонентами, окрім полозка, є ковзанка, хвіртка та тяга. Існує кілька різних типів пропелерних турбін зображених на рис. 1.6, рис. 1.7, рис. 1.8, рис. 1.9:

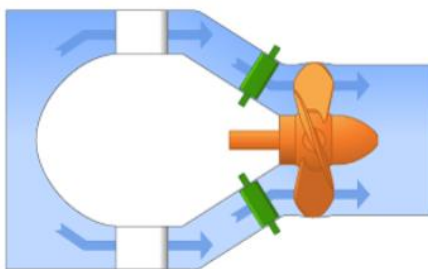


Рисунок 1.6 - Турбіна з колбою: Турбіна та генератор є герметичним блоком, розміщеним безпосередньо в потоці води

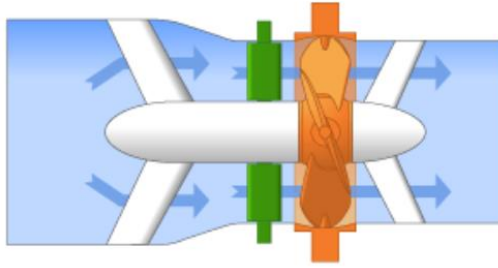


Рисунок 1.7 - Генератор кріпиться безпосередньо до периметру турбіни

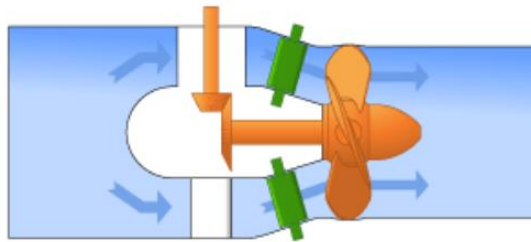


Рисунок 1.8 - Трубчаста турбіна: напірний патрубок вигинається безпосередньо перед або після робочого колеса, що забезпечує пряме з'єднання з генератором

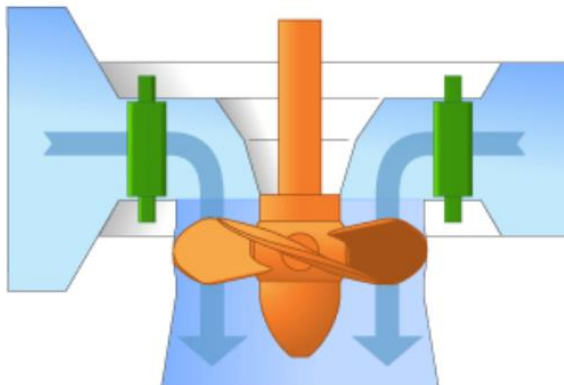


Рисунок 1.9 - Турбіна Kaplan: як лопаті, так і ворота хвіртки регулюються, що забезпечує більш широкий діапазон роботи. Ця турбіна була розроблена австрійським винахідником Віктором Капланом у 1919 році

Імпульсна турбіна

Імпульсна турбіна, як правило, використовує швидкість води для переміщення бігуна та викидів при атмосферному тиску. Струмінь води б'є по кожному відру бігуна. За відсутності всмоктування на нижній стороні турбіни вода витікає з нижньої частини корпусу турбіни після попадання на бігунок. Імпульсна турбіна, як правило, підходить для застосування з високим напором і низьким потоком. Двома основними типами імпульсних турбін є турбіни Пелтона та турбіни з поперечним потоком.

Гідроенергетика - єдиний сектор "зеленої" енергетики, який може збирати надлишки енергії і зберігати її до тих пір, поки мережа не розрядиться. Крім того, гідроелектростанції, на відміну від сонячних і вітряних, безпосередньо не залежать від погодних умов і можуть виробляти електроенергію в будь-який час.

ГАЕС - це електростанція, що використовує генераторно-Насосний комплекс або Реверсивний гідроагрегат, який може працювати як в генераторному, так і в насосному режимах. Під час "збою" в нічний час електростанції, що працюють на підкачці енергії, отримують дешеву електроенергію з мережі і використовують її для перекачування води. Під час ранкових та вечірніх піків споживання енергії ГАЕС відводить воду і, таким чином, генерує високу "пікову" електроенергію для мережі.

ГАЕС - це унікальна електростанція з 2 режимами роботи: насосним і турбінним. Під час першого введення в експлуатацію ГАЕС є "споживачем" надлишкової потужності, яка забезпечує інші станції. У цей час ГАЕС перекачує воду з нижнього резервуару у верхній (накопичувальний басейн). Простіше кажучи, станція накопичує воду. І під час 2-го турбінного режиму вода з верхнього резервуару спускається в нижній резервуар, приводячи в дію генератор. Таким чином, ГАЕС забезпечує мережу всією зібраною енергією, коли це найбільш необхідно.

Найчастіше гідроелектростанції будуються поблизу потужних споживачів енергії, але в той же час вони повинні знаходитися в межах досяжності теплових і

атомних електростанцій. Вони не можуть бути розташовані де завгодно: необхідно дотримуватися відповідний рельєф і гідрологічні умови. Зрештою, в обраному районі повинні бути обладнані верхів'я і водосховище. Іноді для будівництва ГАЕС вибирають місце, де існуюче водосховище або верхній басейн мають природний стік.

Гідроенергетика має кілька вагомих переваг, які роблять її привабливою для виробництва електроенергії.

Гідроенергетика є однією з найекологічніших форм виробництва енергії. При виробництві електроенергії не викидаються парникові гази чи інші шкідливі речовини, що сприяє зменшенню впливу на зміни клімату та допомагає збереженню навколишнього середовища.

Вода в природі є вичерпним ресурсом, але для гідроенергетики використовують потенційну чи кінетичну енергію води, яка є великою та відновлюваною. Запаси води оновлюються природним шляхом через опади та інші процеси.

Гідроелектростанції можуть забезпечувати стабільне виробництво електроенергії, оскільки їхній робочий режим можна легко регулювати відповідно до змін попиту на електроенергію. Це особливо важливо для забезпечення електроенергії в пікові часи попиту.

Гідроенергетика може також використовуватися для зберігання енергії. У періоди низького попиту енергії, електроенергія може використовуватися для накопичення води на водосховищах, а потім використовуватися в періоди високого попиту.

Гідроелектростанції можуть мати високий коефіцієнт корисної дії, особливо у порівнянні з іншими джерелами відновлюваної енергії. Це означає, що велика частина енергії води може бути перетворена в електроенергію.

Гідроелектростанції можуть дуже швидко адаптуватися до мінливих потреб енергетичного ринку, збільшення або зменшення виробництва в будь-який час. ГЕС може бути введена в експлуатацію протягом декількох хвилин.

Головною перевагою гідроелектростанцій є відсутність витрат на "паливо", оскільки для виробництва електричної води тут використовуються поновлювані джерела енергії. Крім того, гідроелектростанції мають тривалий період "використання": деякі можуть працювати до 100 років. В результаті кінцева вартість виробленої електроенергії буде значно нижче, ніж у електростанцій інших типів.

Недоліки гідроенергетики

Хоча гідроенергетика має багато переваг, вона також має свої недоліки та обмеження.

Будівництво великих гідроелектростанцій може мати серйозний вплив на екосистеми річок та водойм. Затоплення великих площ може впливати на рослини, тварин та рибу, призводячи до втрати біорізноманіття та змін в екосистемах.

Побудова великих водосховищ може вимагати переміщення місцевого населення, що може мати серйозні соціальні та економічні наслідки. Це може призводити до втрати землі, знищення населених пунктів та втрати традиційного способу життя.

Рівень виробництва електроенергії від гідроелектростанцій залежить від гідрологічних умов, таких як рівень води та потік ріки. У періоди посухи чи низького рівня води ефективність гідроенергетики може зменшитися.

Будівництво та експлуатація гідроелектростанцій може вимагати великих інженерних робіт та капіталовкладень. Також існують технічні труднощі, такі як знос обладнання через вплив води, потреба в регуляції водостоку та управління водосховищами.

Незважаючи на ці недоліки, багато з них можуть бути пом'якшені за допомогою правильного планування, технологічних вдосконалень та управління процесами будівництва та експлуатації гідроелектростанцій.

Сонячна енергія

Кількості сонячного світла, яке падає на поверхню землі за півтори години, достатньо, щоб забезпечити споживання енергії в усьому світі протягом цілого року. Сонячні технології перетворюють сонячне світло в електричну енергію через

фотоелектричні (PV) панелі або через дзеркала, які концентрують сонячне випромінювання. Цю енергію можна використовувати для виробництва електроенергії або зберігати в батареях чи термоакумуляторах.

Сонячне випромінювання – це світло, також відоме як електромагнітне випромінювання, яке випромінює сонце. Хоча кожне місце на Землі отримує деяку кількість сонячного світла протягом року, кількість сонячного випромінювання, яке досягає будь-якої точки на поверхні Землі, змінюється. Сонячні технології вловлюють це випромінювання та перетворюють його на корисні форми енергії.

Існує два основних типи технологій сонячної енергії — фотоелектрична (PV) і концентрована сонячно-теплова енергія (CSP).

Основи сонячної фотоелектричної технології

Фотоелектричні матеріали та пристрої перетворюють сонячне світло в електричну енергію. Один фотоелектричний пристрій відомий як клітина. Індивідуальна фотоелектрична комірка, як правило, невелика, зазвичай виробляє близько 1 або 2 Вт потужності. Ці клітини зроблені з різних напівпровідникових матеріалів і часто менше, ніж товщина чотирьох людських волосків. Для того, щоб витримати на відкритому повітрі протягом багатьох років, клітини затискаються між захисними матеріалами в поєднанні скла і/або пластмас.

Для підвищення потужності фотоелементів вони з'єднуються в ланцюги, утворюючи більші блоки, відомі як модулі або панелі. Модулі можуть бути використані окремо, або кілька можуть бути підключені до форми масивів. Потім один або кілька масивів підключається до електричної мережі як частина повної фотоелектричної системи. Завдяки цій модульній структурі PV-системи можуть бути побудовані для задоволення практично будь-якої потреби в електроенергії, малої або великої.

PV-модулі та масиви є лише частиною PV-системи. Системи також включають монтажні конструкції, які направляють панелі до сонця, а також компоненти, які приймають електрику постійного струму, вироблену модулями, і

перетворюють її на електрику змінного струму, яка використовується для живлення всіх приладів у вашому домі.

Батареї дозволяють накопичувати сонячну фотоелектричну енергію, тому ми можемо використовувати її для живлення наших будинків вночі або коли погодні умови не дають сонячному світлу досягати фотоелектричних панелей. Батареї не тільки можуть використовуватися вдома, але й відіграють дедалі важливішу роль для комунальних служб. Оскільки клієнти повертають сонячну енергію в мережу, батареї можуть накопичувати її, щоб її можна було повернути клієнтам пізніше. Збільшення використання акумуляторів допоможе модернізувати та стабілізувати електромережу нашої країни.

Сонячна продуктивність і ефективність

Ефективність перетворення фотоелектричного елемента або сонячного елемента - це відсоток сонячної енергії, що світиться на фотоелектричному пристрої, який перетворюється на корисну електроенергію. Підвищення цієї ефективності перетворення є ключовою метою досліджень і допомагає зробити PV-технології економічно конкурентоспроможними з традиційними джерелами енергії.

Не все сонячне світло, яке досягає фотоелемента, перетворюється в електрику. Насправді більша частина втрачена. Кілька факторів в дизайні сонячних батарей грають роль в обмеженні здатності клітини перетворювати сонячне світло, яке вона отримує. Проектування з урахуванням цих факторів - це те, як можна досягти більш високої ефективності.

Світло складається з фотонів, або пакетів енергії, які мають широкий діапазон довжин хвиль і енергій. Сонячне світло, яке досягає земної поверхні, має довжини хвиль від ультрафіолету через видимий діапазон до інфрачервоного. Коли світло потрапляє на поверхню сонячного елемента, деякі фотони відбиваються, а інші проходять наскрізь. Деякі з поглинених фотонів мають свою енергію, перетворену в тепло. Решта мають потрібну кількість енергії, щоб відокремити електрони від їх атомних зв'язків для отримання носіїв заряду та електричного струму.

Один із способів потоку електричного струму в напівпровіднику полягає в тому, щоб «носії заряду», такий як негативно заряджений електрон, протікав через матеріал. Інший такий носій заряду відомий як «дірка», яка являє собою відсутність електрона всередині матеріалу і діє як позитивний носій заряду. Коли електрон стикається з дірою, вони можуть рекомбінувати і, отже, скасувати свій внесок в електричний струм. Пряма рекомбінація, в якій генеровані світлом електрони і дірки стикаються один з одним, рекомбінують і випромінюють фотон, змінює процес, з якого виробляється електрика в сонячному елементі. Це один з фундаментальних факторів, який обмежує ефективність. Непряма рекомбінація - це процес, в якому електрони або дірки стикаються з домішкою, дефектом кристалічної структури або інтерфейсу, що полегшує їм рекомбінацію та вивільнення своєї енергії як тепла.

Температура - сонячні елементи зазвичай працюють найкраще при низьких температурах. Більш високі температури змушують напівпровідникові властивості зміщуватися, що призводить до невеликого збільшення струму, але набагато більшого зниження напруги. Екстремальне підвищення температури також може пошкодити клітинку та інші матеріали модуля, що призводить до скорочення терміну експлуатації. Оскільки велика частина сонячного світла, що світить на клітинах, стає теплом, правильне управління температурою покращує ефективність і термін служби.

Відображення - ефективність клітини може бути збільшена за рахунок мінімізації кількості світла, відбитого від поверхні клітини. Наприклад, необроблений кремій відбиває більше 30% падаючого світла. Покриття проти відбиття та текстуровані поверхні допомагають зменшити відбиття. Високоєфективна клітинка буде виглядати темно-синім або чорним.

Основи проектування сонячної фотоелектричної системи

Сонячні фотоелектричні модулі – це місце, де генерується електроенергія, але це лише одна з багатьох частин повної фотоелектричної системи. Для того, щоб

вироблена електроенергія була корисною в домі чи на підприємстві, має бути застосована низка інших технологій.

Фотоелектричні батареї повинні бути встановлені на стабільній, міцній конструкції, яка може підтримувати масив і протистояти вітру, дощу, граду та корозії протягом десятиліть. Ці конструкції нахиляють фотоелектричну матрицю під фіксованим кутом, який визначається місцевою широтою, орієнтацією конструкції та вимогами до електричного навантаження. Щоб отримати найбільший річний вихід енергії, модулі в північній півкулі спрямовані на південь і нахилені під кутом, рівним місцевій широті. Монтаж у стійку на даний момент є найпоширенішим способом, оскільки він надійний, універсальний і простий у виготовленні та встановленні. Більш складні та менш дорогі методи продовжують розроблятися.

Для фотоелектричних матриць, встановлених на землі, механізми стеження автоматично переміщують панелі, щоб слідувати за сонцем по небу, що забезпечує більше енергії та вищу віддачу від інвестицій. Одноосьові трекери зазвичай призначені для відстеження сонця зі сходу на захід. Двоосьові трекери дозволяють модулям залишатися спрямованими прямо на сонце протягом дня. Природно, відстеження вимагає більших початкових витрат, а складні системи дорожчі та потребують більшого обслуговування. З удосконаленням систем аналіз витрат і вигод все більше надає перевагу відстеженню наземних систем.

Будівна ПВ

Хоча більшість сонячних модулів розміщують у спеціальних монтажних конструкціях, їх також можна інтегрувати безпосередньо в будівельні матеріали, такі як покрівля, вікна чи фасади. Ці системи відомі як інтегровані в будівлі. Інтеграція сонячної енергії в будівлі може підвищити ефективність використання матеріалів і ланцюжків поставок за рахунок поєднання зайвих частин і знизити вартість системи за рахунок використання існуючих будівельних систем і опорних конструкцій.

Інвертори

Інвертори використовуються для перетворення електроенергії постійного струму, виробленої сонячними фотоелектричними модулями, в електроенергію змінного струму, яка використовується для місцевої передачі електроенергії, а також більшість побутових приладів у наших будинках. Фотоелектричні системи мають або один інвертор, який перетворює електроенергію, вироблену всіма модулями, або мікроінвертори, які приєднані до кожного окремого модуля. Один інвертор, як правило, менш дорогий, його можна легше охолоджувати та обслуговувати за потреби. Мікроінвертор дозволяє незалежно працювати з кожною панеллю, що корисно, наприклад, якщо деякі модулі можуть бути затінені. Очікується, що інвертори потрібно буде замінити принаймні один раз протягом 25 років життя фотоелектричної системи.

Удосконалені інвертори, або «розумні інвертори», забезпечують двосторонній зв'язок між інвертором і електричною системою. Це може допомогти збалансувати попит і пропозицію автоматично або через дистанційний зв'язок з операторами комунальних служб. Дозволяючи комунальним підприємствам мати таке розуміння (і можливий контроль) пропозиції та попиту, це дозволяє їм зменшити витрати, забезпечити стабільність мережі та зменшити ймовірність відключень електроенергії.

Енергія вітру

Вітрова енергія - це форма відновлювальної енергії, яка використовує кінетичну енергію вітру для виробництва електроенергії. Процес виробництва електроенергії з вітрової енергії зазвичай включає в себе використання вітрогенераторів, які перетворюють кінетичну енергію вітру у механічну, а потім в електричну енергію.

Вітрові турбіни працюють за простим принципом: замість того, щоб використовувати електрику для виробництва вітру, як вентилятор, вітрові турбіни використовують вітер для виробництва електроенергії. Вітер обертає гвинтоподібні лопаті турбіни навколо ротора, який обертає генератор, що створює електрику.

Вітер — це форма сонячної енергії, що виникає в результаті комбінації трьох одночасних подій:

- Сонце нерівномірно нагріває атмосферу;
- Нерівності земної поверхні;
- Обертання землі.

Терміни «енергія вітру» та «енергія вітру» описують процес, за допомогою якого вітер використовується для виробництва механічної енергії або електрики. Цю механічну потужність можна використовувати для конкретних завдань (таких як помел зерна або перекачування води), або генератор може перетворювати цю механічну енергію в електрику.

Вітрова турбіна перетворює енергію вітру в електрику за допомогою аеродинамічної сили від лопатей ротора, які працюють як крила літака або лопаті ротора вертольота. Коли вітер тече поперек лопаті, тиск повітря з одного боку лопаті зменшується. Різниця тиску повітря з обох сторін леза створює як підйомну силу, так і опір. Підйомна сила сильніша за силу опору, і це змушує ротор обертатися. Ротор з'єднується з генератором або безпосередньо (якщо це турбіна з прямим приводом), або через вал і ряд шестерень (коробка передач), які прискорюють обертання та дозволяють фізично зменшити генератор. Цей перехід аеродинамічної сили в обертання генератора створює електрику.

Принцип роботи вітряних турбін

Робота турбіни заснована на перетворенні енергії вітру в механічне обертання вітроколеса. Завдяки вітряної вежі колеса знаходяться на значній висоті, і енергія вітру є найбільш оптимальною для ефективної роботи вітрогенератора.

Енергія вітру може передаватися механічно, пневматично, аеродинамічно або гідравлічно.

Існують різні типи вітрових турбін. Аеродинамічний метод передбачає використання вторинного генератора вітряної турбіни. Ці допоміжні двигуни прикріплені до кінця лопаті і діють як мультиплікатори.

Існує 2 основних типи вітрових турбін: вертикальні та горизонтальні. У першому з них вісь вітряної турбіни розташована вертикально. Лопать турбіни цього типу має дугоподібну форму. Перевага полягає в тому, щоб максимально використати потенціал енергії вітру, незалежно від напрямку вітру.

Горизонтальні вітряні турбіни встановлюються на вершині вежі. У цьому випадку осі розташовані горизонтально. Потужність вітряної турбіни залежить від кількості лопатей ротора. При невеликій їх кількості система буде обертатися швидше. Оптимальна вироблення вітрової електроенергії залежить від щільності вітрового потоку і контакту з робочою поверхнею лопаті. Залежно від положення вітряної турбіни щодо опори горизонтальна вітряна турбіна ділиться на підвітряну і проти вітру.

Вітрові турбіни є одними з найбільш екологічно безпечних методів генерації електроенергії, а частка вітрової електрики у виробництві електроенергії постійно зростає по всьому світу. Багато людей можуть і навіть не усвідомлювати, що освітлення їхніх будинків, включаючи звичайні настінні лампи, працює завдяки енергії, виробленій вітровими генераторами. З метою забезпечення себе чистою та сталою енергією, важливо розглядати використання домашніх міні-вітрогенераторів.

Загальні можливості вітрової енергії у світі вражають. За оцінками фахівців, відновлювана енергія вітру вважається практично необмеженим джерелом електроенергії. Це досягається шляхом встановлення та експлуатації зростаючої кількості вітрових турбін та застосування різноманітних типів вітрогенераторів. Такий підхід сприяє створенню стійкої та екологічно чистої електроенергетичної системи, сприяючи зменшенню впливу на навколишнє середовище та забезпечуючи сталий розвиток.

Запровадження технологій вітроенергетики у всіх сферах життя може стати важливим кроком у напрямку сталого розвитку та зменшення залежності від традиційних джерел енергії.

Морська енергія

Морська енергія, також відома як морська та гідрокінетична енергія або морська відновлювана енергія, є відновлюваним джерелом енергії, яке використовується за рахунок природного руху води, зокрема хвиль, припливів, річкових і океанських течій. Морська енергія також може бути використана з різниці температур у воді за допомогою процесу, відомого як перетворення теплової енергії океану.

Океани і моря є величезними акумуляторами і трансформаторами сонячної енергії, яка перетворюється в енергію хвиль, течій, тепла і вітру. Енергетичні ресурси моря стійкі і практично невичерпні. Досвід експлуатації існуючих морських енергетичних систем показав, що це завдає невеликої шкоди навколишньому середовищу. Світові океани мають величезний енергетичний потенціал. Це сонячна енергія, що поглинається морською водою, яка, по-перше, міститься в енергії океанських течій, хвиль, серфінгу, перепадів температур між різними шарами морської води, а по-друге, в гравітаційній енергії Місяця і сонця, що викликає морські припливи. Цей величезний і екологічно чистий потенціал ще не використаний в повній мірі.

Енергія припливів, породжена впливом Місяця та Сонця на океани і моря, є важливим ресурсом для людства. Періодичні коливання рівня води викликають потенційну та кінетичну енергію, які можна використовувати для виробництва електроенергії. Загальна енергетична потужність припливів Світового океану оцінюється в 1 млрд кВт, що перевищує енергію всіх річок планети разом узятій.

Припливи та відпливи зумовлені гравітаційним притяганням Місяця та Сонця, яке піднімає та знижує рівень води. Ці явища повторюються двічі на добу, а їх сила залежить від положення небесних тіл. Є також величезний варіаційний потенціал в різних частинах Світового океану.

Використання енергії припливів вже відоме з Середньовіччя, коли використовувалися для приводу млинів та лісопильних механізмів. Сучасні спроби використовувати цей ресурс для виробництва електроенергії вимагають створення

припливних електростанцій. Хоча це технічно складне завдання через незмінність припливів, на сьогоднішній день існують близько 300 проектів будівництва припливних електростанцій.

Однак існують труднощі, пов'язані з характером припливів та їх впливом на навколишнє середовище. Найбільш вигідні області для спорудження таких електростанцій - це ділянки узбережжя з високою амплітудою припливів. Загалом, потужність океанських припливів оцінюється у 3000 ГВт, але реалізація проектів вимагає значних витрат капіталу та врахування екологічних аспектів.

Враховуючи великий потенціал енергії припливів, важливо розвивати технології для ефективного використання цього ресурсу, з урахуванням екологічних та економічних аспектів.

Біологічні наслідки будівництва великої припливної електростанції можуть суттєво вплинути на припливну зону океану, яка є важливим біологічним середовищем. Ця зона, яка простирається від точки найвищого припливу до нижньої точки, оголеної при відпливі, служить домівкою для різноманітних морських організмів, таких як краби, креветки, черв'яки та інші.

Створення припливної електростанції може призвести до порушення балансу між видами в цій зоні через зміну припливної енергії. Мігруючі види, такі як риби, можуть стикатися з труднощами при проходженні через турбіни електростанції. Для запобігання цьому, можливо, буде використано захисні сітки, але ефективність сходових рибоходів залишається під сумнівом.

Крім того, перелітні птахи, такі як побережники і сивки, які полюють на солоних маршах, можуть стикатися з втратою джерела їжі в припливному басейні за електростанцією через гинення організмів при проходженні через турбіни.

Біологічні наслідки будівництва припливної електростанції повинні бути уважно вивчені, оскільки вони можуть вплинути на екосистему припливної зони та прилеглих областей.

1.3 Керовані та некеровані відновлювані джерела енергії

Керовані та некеровані відновлювані джерела енергії вказують на різницю у можливості контролювати чи регулювати виробництво енергії з використанням конкретного джерела. Контроль є ключовою сприятливою технологією для розгортання систем відновлюваної енергії.

Керовані відновлювані джерела енергії – це джерела енергії, виробництво якої може бути кероване або регульоване з метою відповіді на попит на електроенергію.

Гідроелектростанції з резервуарами можуть керувати рівнем води у резервуарі, відкриваючи або закриваючи шлюзи в залежності від потреб споживачів та стану системи. Наприклад, в періоди високого попиту на електроенергію або низьких витрат води, станція може збільшити виробництво енергії, а в періоди низького попиту або великих опадів води рівень в резервуарі може збільшуватися.

Термальні електростанції, що використовують геотермальну енергію, також можуть бути керованими. Регулювання витрати тепла може відбуватися шляхом коригування робочого середовища або зміни глибини свердловин.

Некеровані відновлювані джерела енергії – це джерела енергії, виробництво якої важко або неможливо регулювати в залежності від попиту на електроенергію.

Приклади некерованих відновлювальних джерел енергії:

Сонячна енергія, сонячні панелі генерують енергію в залежності від наявності сонячного світла, і це не може бути безпосередньо регульовано. Виробництво енергії підвищується протягом дня, коли світло сонця доступне, і зменшується вночі.

Вітряна енергія, вітряні турбіни генерують енергію в залежності від швидкості вітру. Якщо вітер занадто слабкий або занадто сильний, виробництво енергії може бути обмеженим або вимкненим. Це є некерованим аспектом вітряної енергії.

Обидва типи відновлюваних джерел мають свої переваги та недоліки. Керовані джерела дозволяють більш ефективно використовувати енергію, але можуть вимагати великих інфраструктурних витрат. Некеровані джерела є чистими та екологічно безпечними, але можуть бути менш ефективними в умовах зміни погоди або часу доби. Важливо забезпечити баланс між різними джерелами енергії для стабільності та стійкості енергетичної системи.

Збір енергії у великих масштабах, безсумнівно, є одним з головних викликів нашого часу. Майбутнє енергетичної стійкості в значній мірі залежить від того, як проблема відновлюваних джерел енергії буде вирішена в найближчі кілька десятиліть. Хоча в більшості енергогенеруючих систем основним джерелом енергії (паливом) можна маніпулювати, це не вірно для сонячної та вітрової енергії. Основними проблемами з цими джерелами енергії є вартість і доступність: вітрова і сонячна енергія не завжди доступні там, де і коли це необхідно. На відміну від звичайних джерел електроенергії, ці поновлювані джерела не піддаються розподілу - потужність не може контролюватися. Щоденні та сезонні ефекти та обмежена передбачуваність призводять до періодичної генерації. Розумні мережі обіцяють сприяти інтеграції відновлюваних джерел енергії і забезпечать також інші переваги.

Промисловість повинна подолати ряд технічних проблем для доставки відновлюваної енергії в значних кількостях. Контроль є однією з ключових технологій, що дозволяють розгортання систем відновлюваної енергетики. Сонячна і вітрова енергія вимагають ефективного використання передових методів управління. Крім того, розумні мережі не можуть бути досягнуті без широкого використання технологій управління на всіх рівнях. Цей розділ доповіді буде зосереджений на двох формах відновлюваної енергії - вітровій та сонячній - та на ролі розумних мереж у вирішенні проблем, пов'язаних з ефективною та надійною доставкою та використанням електроенергії та інтеграцією відновлюваних джерел. Соняч Використання більш ефективних стратегій управління не тільки підвищить продуктивність цих систем, але й збільшить кількість робочих годин сонячних і

вітрових установок і, таким чином, знизить вартість виробленої кіловат-години (кВт-год).

Хоча енергія вітру є чистим і поновлюваним джерелом електроенергії, необхідно вирішити багато проблем. Вітрові турбіни - це складні машини, з великими гнучкими конструкціями, що працюють в турбулентних і непередбачуваних умовах навколишнього середовища, і підключені до постійно змінюваної електричної мережі зі зміною напруги, частоти, потоку електроенергії тощо. Вітрові турбіни повинні адаптуватися до цих змін, тому їх ефективність та надійність значною мірою залежать від застосованої стратегії управління. Оскільки проникнення вітрової енергії в мережу зростає, з'являються додаткові проблеми: відповідь на порушення мережі, активне регулювання потужності та регулювання частоти, контроль реактивної потужності та регулювання напруги, відновлення мережевих послуг після відключень електроенергії та прогноз вітру, наприклад. Іншим багатим, стійким джерелом енергії є сонце. Однією з найбільших науково-технічних можливостей, з якими ми стикаємося, є розробка ефективних способів збору, перетворення, зберігання та використання сонячної енергії за доступною ціною. Сонячна енергія, що досягає земної поверхні, становить близько 86 000 ТВт. Покриття 0,22% нашої планети сонячними колекторами з ККД 8% було б достатньо для задоволення поточного глобального енергоспоживання.

Вітер і сонячна енергія мають величезний потенціал для задоволення світових енергетичних потреб. У випадку вітру, якщо звичайні наземні вітрові турбіни з 80-метровими вежами були встановлені на 13% земної поверхні, розрахункова енергія вітру, яка може бути комерційно життєздатною, становить 72 терават. Це майже в п'ять разів перевищує глобальне споживання енергії у всіх формах, яке в даний час становить близько 15 ТВт. Завдяки потужності, яка зросла втричі за останні п'ять років, енергія вітру є найшвидше зростаючим джерелом енергії у світі. Використання великих вітрових турбін для перетворення кінетичної енергії в електроенергію значно збільшило середню потужність вітротурбінного агрегату; більшість великих виробників розробили великі турбіни, які виробляють

від 1,5 до 3,5 мегават (МВт) електроенергії, навіть досягаючи в деяких випадках від 5 до 6 МВт на турбіну. Наприкінці 2009 року, з потужністю 159,2 гігават (ГВт) вітрових генераторів по всьому світу, в основному об'єднані для створення невеликих вітрових електростанцій, глобальна колективна потужність становила 340 терават-годин (ТВт-год) енергії на рік, або 2% світового споживання електричної енергії. Деякі країни досягли відносно високого рівня проникнення вітрової енергії: близько 19% в Данії, 14% в Іспанії та Португалії, і 7% в Німеччині та Ірландії. Державні субсидії стали ключовим фактором збільшення виробництва вітрової енергії.

Технологічна платформа SmartGrids узагальнює переваги розумних мереж. Краще полегшують підключення та експлуатацію генераторів всіх розмірів та технологій, дозволяють споживачам брати участь в оптимізації роботи системи, надають споживачам більше інформації та варіантів вибору постачальника, значно зменшують екологічний вплив всієї системи постачання електроенергії, тощо.

Розумна мережа подальше розширює вже високорозподілену природу енергетичних систем, розширюючи контроль на рівень споживача. Розумну мережу можна концептуалізувати як обширну кібер-фізичну систему, яка підтримує та значно покращує управління та відгук розподілених ресурсів та активів в електроенергетичних системах. Зображення концептуального режиму NIST smart grid зображено на рис. 1.10.

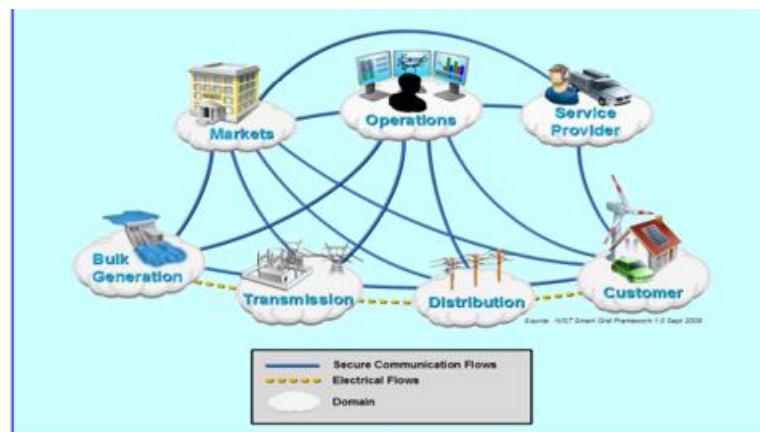


Рисунок 1.10 - Зображення концептуального режиму NIST smart grid

Термін "розумна мережа" підказує, що існуюча мережа є нерозумною, що в дійсності далеко відійшло від правди. Поточна структура мережі відображає ретельно обмірковані компроміси між вартістю та надійністю. Проте концепції розумної мережі відіграють важливу роль у досягненні широкомасштабної інтеграції нових форм виробництва та споживання енергії. Відновлювана генерація буде все більше вносити важливий вклад у виробництво електроенергії у майбутньому. Інтеграція цих високоваріативних та широкорозподілених ресурсів вимагатиме нових підходів до експлуатації та управління енергетичною системою. Також нові типи навантажень, такі як електромобілі та їх потенціал для взаємодії з енергетичною мережею, створять виклики і можливості. Встановлення кіберінфраструктури, яка забезпечує всюдисущі можливості відчуття та активізації, буде невід'ємним для досягнення необхідної відзивчивості для майбутньої експлуатації мережі. Проте відчуття та активізація будуть марними без відповідних систем управління [9].

Значна кількість одиниць децентралізованого виробництва підключена до мікромережі. З'єднання між ними повинно бути належним для кращої продуктивності мікромережі. Основне завдання потужності електроніки - підбирати максимальну потужність від джерел та захищати її від динаміки навантаження. Передача потужності може бути обмежена під час витoku. Електроніка потужності також контролює якість та активну та реактивну потужність на боці мережі. Вона регулює частоту та усуває гармонії з системи. Мікроінвертор контролює напругу мікромережі, де мікромережа налаштована на два петлі. Внутрішню петлю називають контролером струму, в якому мікроінвертор контролює якість потужності, регулюючи струм. Електроніка потужності контролює активну та реактивну потужність для підтримки потоку потужності в зовнішній петлі. Зовнішню петлю називають контролером напруги, який регулює напругу мережі та збільшує стабільність системи. Методи синхронізації, такі як фазозамкнений цикл, метод перетину нуля і т. д., використовуються для контролю активної та реактивної потужності.

Різні системи зберігання енергії, такі як акумулятори, маховики, суперконденсатори, використовуються для поліпшення несправностей, введених у систему.

1.4 Особливості побудови гібридних систем з відновлювальними джерелами енергії

Відновлювані джерела енергії є ключовим рішенням для боротьби зі зміною клімату та зменшення залежності від викопного палива. Інвестуючи в ці джерела енергії, можна створити робочі місця та сприяти сталому економічному розвитку. Таким чином, відновлювані джерела енергії є ключовою альтернативою для забезпечення чистішого та безпечнішого майбутнього для майбутніх поколінь.

Гібридні системи відновлюваної енергії – це ті, які поєднують два або більше відновлюваних джерел енергії для виробництва електроенергії. Ці системи особливо корисні в місцях, де немає доступу до звичайної електричної мережі, або де зв'язок обмежений або нестабільний.

Гібридні системи відновлюваної енергії можуть бути більш ефективними та надійними, ніж системи, які використовують одне джерело енергії. Крім того, вони дозволяють краще використовувати наявні ресурси та зменшити вартість виробленої енергії. З цих причин гібридні системи стають все більш популярними в усьому світі, особливо в сільській або віддалених районах.

Дослідження, проведені на HRES, здебільшого стосуються методів використання різних структур для розподілу електроенергії. На сьогоднішній день існує три варіанти, які використовуються в залежності від програми, обраної розробником системи. Ці конфігурації: мікромережа постійного струму, мікромережа змінного струму та мікромережа змінного/постійного струму. Мікромережа постійного струму — це система живлення, яка використовує постійний струм для розподілу електроенергії замість змінного. Він складається з різних відновлюваних джерел енергії, систем зберігання енергії та навантажень

постійного струму. Використання постійного струму для розподілу електроенергії має кілька переваг, таких як усунення перетворень AC-DC-AC, необхідних у мікромережах змінного струму, що покращує ефективність і зменшує втрати енергії. Крім того, усунення потреби в синхронізації розподіленого генератора також спрощує конструкцію системи та знижує витрати. Мікромережі постійного струму також можуть інтегрувати системи зберігання енергії для підвищення ефективності та енергонезалежності.

У мікромережі змінного струму для живлення навантажень постійного струму використовується перетворювач змінного струму в постійний. Інші відновлювані джерела енергії також можуть бути включені через відповідний інтерфейс перетворювачів енергії. Кожне джерело живлення підключається до шини змінного струму через окремий перетворювач живлення, що дозволяє їм продовжувати працювати, навіть якщо одне з них відключено, що підвищує надійність системи. Однак синхронізація є основною перешкодою в цій конфігурації.

Системи накопичення енергії акумуляторів (BESS) є важливою частиною системи для якісної оптимізації, оскільки вони дозволяють зберігати електричну енергію для подальшого використання в разі потреби. Це робить їх особливо корисними для інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, в енергетичну мережу. Таким чином, BESS можуть збалансувати мінливість виробництва енергії з відновлюваних джерел і забезпечити електроенергію, коли попит високий або коли виробництво електроенергії низьке. Акумуляторні системи накопичення енергії (BESS) мають ряд переваг перед іншими формами накопичення енергії. По-перше, вони високоефективні та можуть накопичувати велику кількість енергії. По-друге, вони гнучкі та можуть використовуватися в різноманітних програмах, включаючи системи резервного живлення та системи управління енергією. На рис. 1.11 зображено схему типової гібридної енергетичної системи [11] – [15].

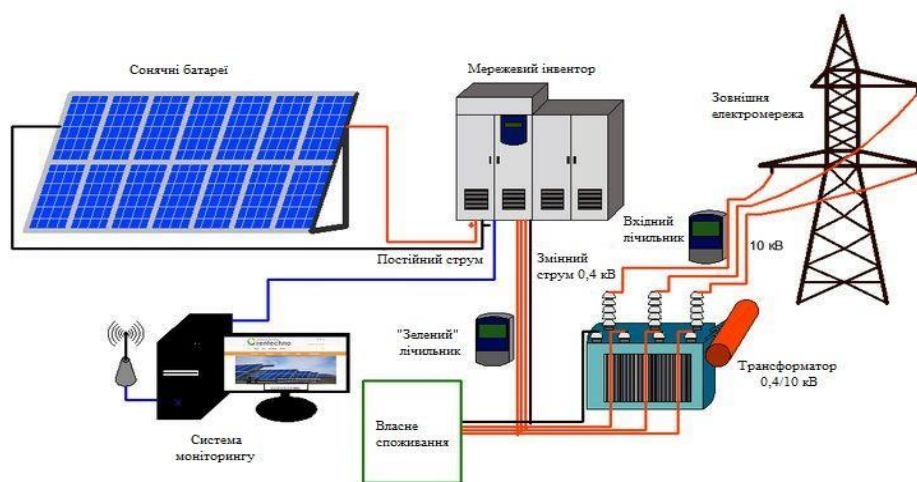


Рисунок 1.11 - Принципова схема типової гібридної енергетичної системи

Крім того, BESS мають довший термін служби, ніж інші форми зберігання енергії, і менш схильні до поломок. Загалом BESS є важливою частиною переходу до більш сталої та безпечної енергетичної системи.

Методи оптимізації є основоположними для досягнення ефективної та надійної системи управління та зберігання енергії. Ці методи полягають у розробці відповідних стратегій для збалансування виробництва електроенергії та попиту на навантаження, навіть якщо використовуються невизначені відновлювані джерела. Це досягається завдяки використанню алгоритмів керування, які можуть передбачити доступність відновлюваної енергії та відповідно регулювати навантаження. Крім того, ці методи також можуть допомогти оптимізувати використання систем зберігання енергії, таких як BESS, щоб забезпечити ефективне та ефективне зберігання та вивільнення енергії. Загалом, вибір правильної техніки оптимізації має вирішальне значення для максимізації енергоефективності та стабільності системи. Підходи до моделювання та оптимізації, що використовуються для HRES, можна класифікувати на інтелектуальні методи, ітераційні методи та обчислювальні методи.

Гібридні ВДЕ можна розглядати як альтернативу звичайним джерелам енергії, що призводить до зменшення викидів шкідливих газів та підвищення показників стійкості. Різноманітні тематичні дослідження довели, що в гібридних

системах багатозмінні не мають переваги над різними наборами змінних. Наприклад, у випадку ВДЕ комбінації лише нетрадиційних джерел енергії підвищать порядок системи, але ступінь залишиться незмінним. Як наслідок, гібридна система збільшить порядок і ступінь системи таким чином, що збалансовані алгоритми можуть бути виражені разом, щоб контролювати вихід у діапазоні. Гібридні ВДЕ, в яких ВДЕ різних типів поєднуються разом і розбиваються на різні масиви, також змінюють міф про те, що ВДЕ не є економічно ефективними. Більшість гібридних ВДЕ можуть поєднувати звичайні джерела енергії разом із нетрадиційними джерелами енергії, в результаті чого утворюються мікромережі та комплексні енергетичні системи, які працюватимуть одночасно як базові електростанції та як пікові електростанції. Такі типи термінології дають достатньо простору для нових технологій для розвитку, є економічно ефективними для інвесторів і легкими для впровадження у віддалених місцях. Гібридні ВДЕ можуть бути комбінацією традиційних і нетрадиційних джерел енергії.

Гібридні ВДЕ також працюють у різних конфігураціях, а саме традиційному режимі або режимі, що розвивається. У традиційному режимі всі з'єднані разом джерела працюватимуть разом одночасно, і мережа, що працює таким чином, працюватиме як базова електростанція, але не буде економічною, оскільки не буде ефективнішою за звичайні джерела енергії. Наприклад, якщо сонячна та вітрова системи об'єднані разом і працюють одночасно, дві системи працюватимуть разом, але їхні входи будуть змінними та періодичними за своєю природою, а отже, ненадійними. З іншого боку, якщо один елемент системи виходить з ладу, то інша система також може вийти з ладу, що призведе до колапсу всієї системи.

Іншим режимом роботи є режим появи, який також відомий як послідовний режим. У послідовному режимі джерела, з'єднані разом, працюють не разом («одночасно»), а послідовно. Цей тип роботи є кращим, ніж конфігурація традиційного режиму, але обмежений для роботи лише як пікові електростанції, є економічно ефективним із коефіцієнтом навантаження («попиту») $< 100\%$. Через ці недоліки гібридні енергетичні системи повинні працювати в послідовному режимі,

коли дві системи мають різну природу, наприклад традиційні та нетрадиційні джерела енергії, в результаті чого одна із систем працює як базова електростанція, тоді як інша буде працювати як пікова електростанція. У гібридних системах живлення до системи буде додано одне джерело, яке буде служити резервним джерелом для одного члена системи, щоб зробити гібридну систему ефективною. Гібридні системи відновлюваної енергії (ВДЕ) складаються з принаймні одного традиційного та іншого нетрадиційного джерела енергії. Через недоліки, пов'язані з поточними гібридними системами ВДЕ, багато дослідницьких груп формують і моделюють інтегральні схеми, що складаються з нетрадиційних джерел енергії в поєднанні з перевіреними джерелами, у підключених традиційних мережесхематичних кодах і дерегульованому середовищі, щоб забезпечити конкуренцію серед клієнтів постачальників електроенергії. В Індії дерегульоване середовище обмежене лише окремими користувачами чи окремою організацією, тоді як в інших країнах, особливо в Європі, дерегульоване середовище оцінюється та аналізується за кількома атрибутами для різних кінцевих користувачів. Ці можливості призводять до кращих мереж і більшої надійності.

У віддалених і ізольованих районах використання гібридних енергетичних систем є більш переважним, ніж використання мережесхематичних систем. Поряд із системами розподіленої генерації або мікромережами, використання гібридних систем було популярним протягом кількох років і стало темою великого інтересу. Різноманітні дослідження аналізували гібридні енергетичні системи на основі різних робочих характеристик і шляхом оцінки значущих параметрів у межах гібридної роботи. Певні параметри, які здаються важливими для ВДЕ, не мають відношення до звичайних джерел енергії, хоча багато параметрів є спільними як для ВДЕ, так і для традиційних систем. Вони вивчаються з мікромережами відповідно до вимог розумних мереж з вимогами для гібридних систем. Досягнення в технології силових електронних перетворювачів і в автоматичних контролерах призвели до покращення продуктивності систем гібридної системи, зробивши їх більш надійними, ефективними та економними.

Комбінування різних джерел енергії може допомогти компенсувати коливання виробництва, що може виникнути через зміну погодних умов або інші фактори. Це робить систему більш стійкою та надійною.

Гібридні системи дозволяють максимально використовувати різноманітні джерела енергії в залежності від умов. Наприклад, сонячні панелі можуть бути ефективними вдень, тоді як вітряні турбіни можуть генерувати енергію вночі або при недостатку сонячного світла.

Гібридні системи дозволяють зменшити ризик енергетичного виробництва, пов'язаного з одним конкретним джерелом, таким як сонячна або вітрова енергія.

Використання відновлюваних джерел енергії допомагає зменшити викиди парникових газів, сприяючи більш екологічно чистому енергетичному виробництву.

Гібридні системи можуть бути використані для створення автономних систем живлення в областях, де немає доступу до централізованих мереж електропостачання.

Використання акумуляторів або інших систем зберігання дозволяє гнучко використовувати вироблену енергію, щоб забезпечити стабільність постачання навіть при відсутності сонячної чи вітрової активності.

Типи гібридних систем

Гібридні системи можуть бути дуже різноманітними в залежності від комбінації використовуваних джерел енергії та технологій. Приклади гібридних систем:

- Сонячно-вітрові системи. Цей тип гібридної системи використовує сонячні панелі та вітрові турбіни для генерації електроенергії. Сонячні панелі працюють під час денного світла, а вітрові турбіни можуть генерувати енергію в будь-який час, коли є вітер. Така система забезпечує стабільніше виробництво електроенергії протягом доби та різних погодних умов.
- Гібридні сонячно-гідроелектричні системи. Ці системи поєднують сонячні панелі з малими гідроелектростанціями. Сонячні панелі можуть генерувати

електроенергію протягом дня, а гідроелектростанції можуть використовувати водні резервуари для генерації енергії в той час, коли сонце не світить.

— Вітро-гідроелектричні системи. Ці системи поєднують вітрові турбіни з гідроелектростанціями. Вітрові турбіни та гідроелектростанції можуть працювати взаємно, забезпечуючи електроенергію в той час, коли один із джерел є більш ефективним.

— Сонячно-вітро-гідроелектричні системи. Це комплексні гібридні системи, які включають в себе сонячні панелі, вітрові турбіни та гідроелектростанції. Такий підхід дозволяє зменшити залежність від конкретного джерела енергії та забезпечити стабільніше виробництво.

— Сонячно-вітро-батарейні системи. Вони поєднують в собі сонячні панелі та вітрові турбіни з системами зберігання енергії, такими як акумуляторні батареї. Це дозволяє зберігати електроенергію для використання в періоди низької виробництва або недостатньої сонячної чи вітрової активності.

Ці типи гібридних систем відображають лише деякі можливі комбінації. Гібридні системи можуть бути розроблені та налаштовані відповідно до конкретних потреб та умов конкретного проекту.

Приклад гібридної системи, що поєднує сонячну та вітрову енергію. Протягом дня, коли світить сонце, сонячні панелі виробляють електроенергію, яка зберігається в батареях для подальшого використання. Вночі, коли сонця немає, системи перетворення енергії вітру використовують вітер для отримання додаткової електроенергії та зарядки акумуляторів. Ще один приклад гібридної системи, що поєднує сонячну та гідроенергію. Протягом дня сонячні панелі виробляють електроенергію, яка використовується для перекачування води з річки чи озера до греблі. Вночі, коли сонця немає, вода, що зберігається в дамбі, випускається через гідротурбіну для отримання додаткової електроенергії.

Microgrid

Microgrid (мікромережа) - це маленька, автономна електромережа, яка зазвичай включає в себе джерела виробництва електроенергії, системи зберігання

енергії та системи управління. Основна ідея мікромережі полягає в тому, щоб надавати електроенергію для обмеженої території або специфічних вузлів споживання, незалежно від централізованої електричної мережі.

Мікромережі можуть використовувати різноманітні джерела енергії, такі як сонячні батареї, вітрогенератори, генератори на базі внутрішньосгорюючих двигунів, а також можуть включати сховища енергії, наприклад акумулятори чи системи зберігання теплоти. Управління мікромережею може включати в себе інтелектуальні системи, які оптимізують виробництво та розподіл енергії в залежності від потреб споживачів та доступних ресурсів.

Мікромережі можуть бути корисними в областях, де може бути проблематично підключитися до централізованої електромережі або де важлива надійність постачання електроенергії. Також вони можуть сприяти збереженню енергії та зменшенню викидів шляхом ефективного використання відновлюваних джерел енергії. Принцип роботи microgrid показано нижче на рис. 1.12.

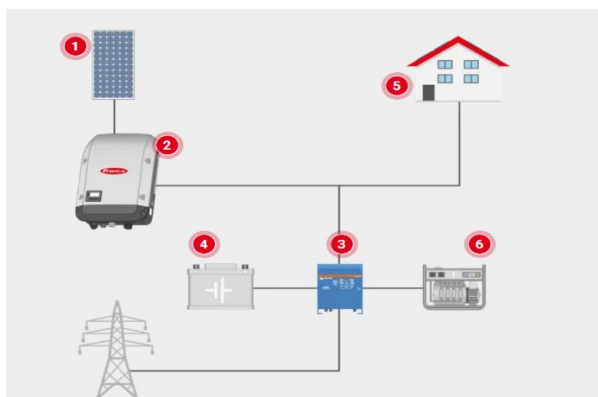


Рисунок 1.12 - Принцип роботи microgrid

Мікромережі можуть бути розгорнуті в різноманітних контекстах, таких як віддалені регіони, відсутність стабільного підключення до централізованої електромережі, або в інших умовах, де потрібна незалежність та стійкість системи енергопостачання. Такий підхід сприяє використанню відновлюваних джерел енергії та може поліпшити загальну енергоефективність та стійкість системи.

Що таке контролер мікромережі?

Контролер мікромережі визначається як пристрій, здатний контролювати та керувати енергетичними ресурсами та навантаженнями, підключеними до мікромережі, пов'язаними з активами в керований об'єкт. Це підтримуватиме стабільність локальної мережі, одночасно знижуючи експлуатаційні витрати за рахунок найменших витрат на диспетчеризацію активів. Він повинен мати систему керування енергоспоживанням у режимі реального часу, щоб адаптуватися до будь-яких обставин, і може отримати прогностичний підхід від системи керування енергією. Крім того, система мікромережі повинна мати можливість аналізувати та приймати швидкі рішення у випадку надзвичайної ситуації, допомагаючи збалансувати виробництво енергії та споживання навантаження та забезпечуючи енергію навіть у разі відключення електроенергії.

Як керувати системою мікрогрід?

У контексті мікромережі, де робота локальної електричної мережі не може залежати від зовнішньої мережі передачі, необхідна система керування в режимі реального часу. Система управління живленням має можливість обчислювати та застосовувати оптимальне розподілення електроенергії для активів, щоб забезпечити стабільність мережі, а також керувати аварійним запуском (повторне живлення глобальної системи у випадку знеструмлення системи) і надавати послуги мережі, як опора частоти та напруги. Система управління живленням може використовувати вхідні прогнози, такі як погода, щоб враховувати найближчі години роботи. Для більш ефективної оптимізації локальний контролер отримує оперативне планування від системи енергоменеджменту, яка має можливість збирати численні прогнози та моделювати майбутню поведінку активів на наступні дні.

Мікромережа також може стосуватися постійної або періодичної локальної мережі, підключеної до основної мережі. Коли мікромережа підключена, контроль полягає головним чином у дотриманні обмежень і характеристик точки підключення та трансформатора з одночасним збільшенням фінансових

надходжень, а також для підтримки основної мережі у разі відхилення частоти або напруги з допоміжними послугами.

Як працюють мікросітки та які переваги?

Хто каже мережа, той каже електрика. Підключення до основної мережі забезпечує стабільне з'єднання в більшості країн. Однак є деякі місця, де підключення неможливе або через відсутність інфраструктури, або у випадку віддалених районів, таких як острови, далеко від основної мережі. У цьому випадку рішенням є ізольована мікросітка. Він може працювати, будучи підключеним до мережі, але також може від'єднатися та використовувати власні місцеві джерела енергії, особливо в разі надзвичайних ситуацій (шторм, технічне обслуговування, поломка активу...). Наприклад, енергетичні спільноти, як правило, незалежні та використовують енергію, вироблену на місці, оскільки все частіше встановлюють сонячні батареї на дахах і систему зберігання енергії від акумуляторів, щоб збільшити коефіцієнт власного споживання та власного виробництва.

Властивості мікромережі

Мікромережа може забезпечити надійне джерело електроенергії в районах з частими відключеннями електроенергії або ненадійною мережевою інфраструктурою. Завдяки власній генеруючій потужності та накопиченню енергії мікромережа може забезпечити постійне живлення критичних навантажень.

Мікромережа може допомогти вам оптимізувати витрати на енергію за допомогою комбінації відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна або вітрова енергія, паливні елементи та системи зберігання енергії. Зменшуючи залежність від традиційних джерел викопного палива, мікромережа може допомогти знизити витрати на енергію та підвищити прибутковість.

Мікромережа може зменшити ваш вуглецевий слід, виробляючи та зберігаючи відновлювану енергію на місці. Це може допомогти вам досягти ваших цілей сталого розвитку та зменшити ваш вплив на навколишнє середовище.

Мікромережа може забезпечити енергетичну незалежність, дозволяючи виробляти та зберігати власну енергію. Це може бути особливо корисним у

віддалених місцях або місцях, де немає мережі, де доступ до електромережі може бути обмеженим або відсутнім.

Мікромережа може забезпечити стійкість перед обличчям стихійних лих, екстремальних погодних явищ або інших збоїв у мережі. Маючи власні можливості генерації та зберігання, мікромережа може продовжувати забезпечувати енергією критичні навантаження, навіть коли більша мережа не працює.

Електрифікація ізольованих районів: наразі 10% населення світу не мають доступу до електрики, отже, ізольована система мікромережі може дати рішення.

Висновки до розділу 1

Використання відновлюваних джерел енергії та мікромереж відкриває нові перспективи для сталого розвитку енергетики. Відновлювані джерела, такі як сонячна та вітрова енергія, дозволяють зменшити викиди та залежність від традиційних, невідновлюваних джерел. Мікромережі, у свою чергу, створюють незалежні, ефективні та стійкі системи енергопостачання для різних потреб - від житлових районів до промислових об'єктів та віддалених регіонів. Гібридні системи відновлюваної енергії, зокрема мікромережі, представляють собою перспективний шлях до створення ефективних та стійких систем енергопостачання. Їх поєднання відновлюваних та традиційних джерел дозволяє оптимізувати використання енергії в залежності від умов та потреб. Гнучкість гібридних систем забезпечує стабільність постачання енергії та редукцію викидів, сприяючи переходу до сталого енергетичного майбутнього. Такі інноваційні підходи є ключовим елементом боротьби з кліматичними змінами та формування сталого та відновлюваного енергетичного ландшафту.

Ці технології сприяють зменшенню енергетичної нерівності, збереженню ресурсів та формуванню більш екологічно чистого енергетичного ландшафту.

2. МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВДЕ

2.1 Загальні схеми до побудови гібридних систем електропостачання з ВДЕ

Є сильні стимули використовувати розподілені генератори (РГ) для зменшення викидів парникових газів, поліпшення ефективності енергосистеми, а також її надійності, конкурентоспроможних енергетичних стратегій і відкладення модернізації передачі та розподілу енергії. Фактично РГ складаються з відновлюваних одиниць, таких як вітроенергетичні установки (ВЕУ), фотоелектричні панелі (ФЕП), паливні елементи (ПЕ), біомаса, а також неодноразові, такі як мікротурбіни (МТ), газові двигуни (ГД), дизельні генератори (ДГ) тощо. РГ усувають потребу в передавальній системі, оскільки вони встановлюються близько до споживачів. Інтеграція та управління РГ разом із пристроями для зберігання та гнучкими навантаженнями можуть створювати низьковольтажну розподільну мережу, яку називають мікрогрідом, який може працювати в ізольованому або підключеному до мережі режимі. Загальна концепція мікрогріду показана на рис. 2.1.

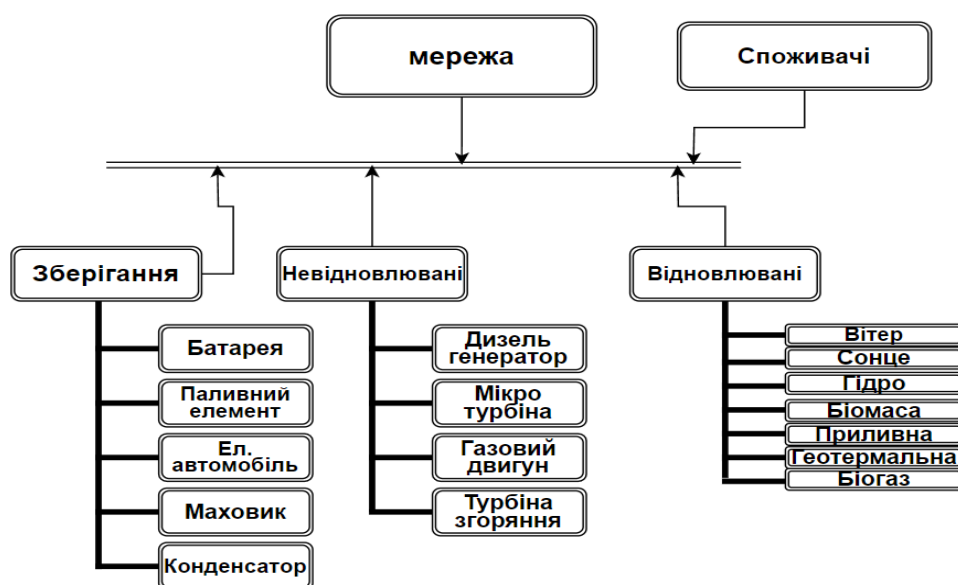


Рисунок 2.1 – Схема гібридного електропостачання споживачів

Наведемо приклад схем деяких гібридних систем.

Гібридна енергетична система на основі використання енергії біопалива, сонячної енергії та дизель-генератора зображено на рис. 2.2.

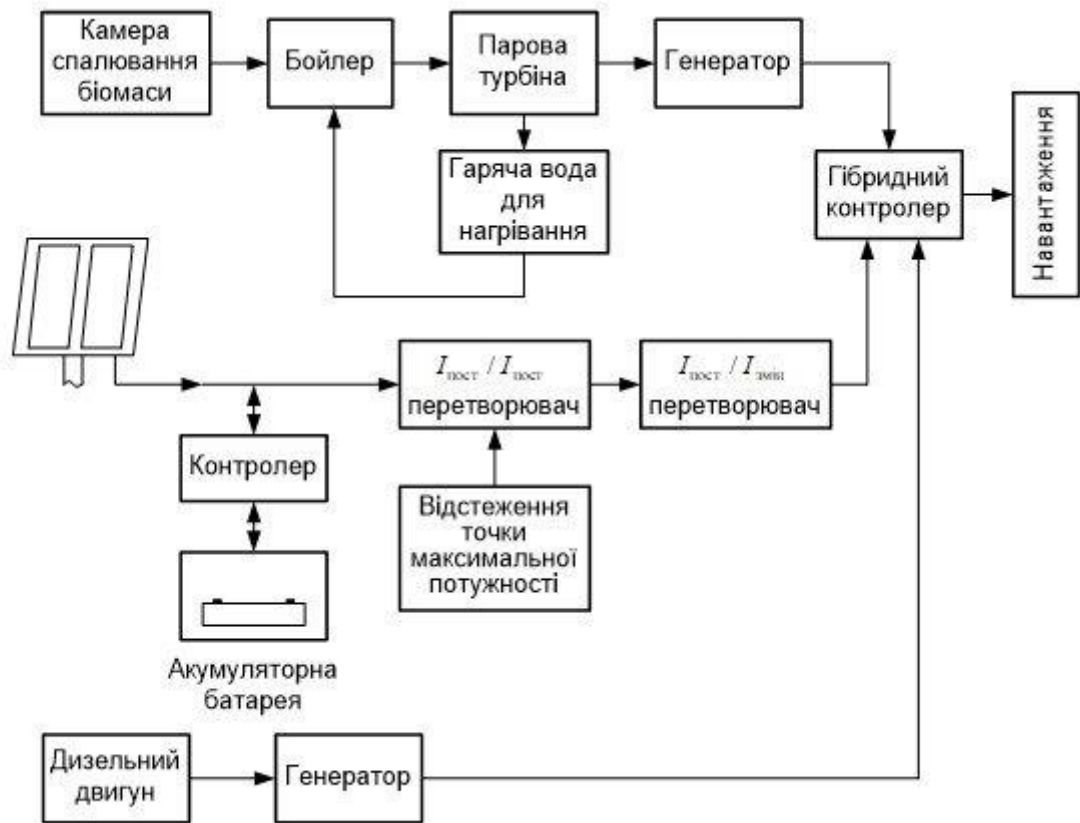


Рисунок 2.2 - Структурна схема типової гібридної енергетичної системи на основі використання енергії біопалива, сонячної енергії та дизель-генератора

Передбачається, що в якості біопалива використовується сміття (мертві дерева, гілки, скошена трава, залишки культурних рослин, деревна тріска, кора й стружка з лісопильних заводів шини, тощо). Як було сказано раніше, дизель використовується у гібридній системі як резервне джерело у піковий період навантаження.

У системі використовується гібридний контролер, який підтримує баланс енергії під час зміни навантаження та призначає пріоритет серед джерел енергії. Гібридний контролер забезпечує реалізацію наступних функцій: підключення живлення до споживача від джерела енергії, синхронізація сигналів напруг з різних джерел.

Загальна ідея полягає в тому, щоб гібридна система використовувала оптимальним чином різні джерела енергії, забезпечуючи стабільне живлення споживача та уникнення перешкод при зміні навантаження.

Типова гібридна енергетична система на основі використання джерел сонячної та гідро енергій зображена на рис. 2.3.

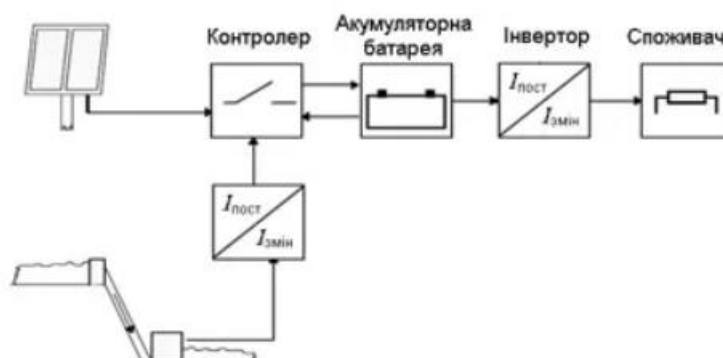


Рисунок 2.3 - Структурна схема типової гібридної енергетичної системи на основі використання джерел сонячної та гідро енергій

В інноваційних рішеннях з використання гідроенергії важливим аспектом є використання невеличких резервуарів для накопичення води. Ця система виявляється ефективною завдяки вдалому розташуванню, обраному враховуючи географічні особливості доступних джерел води, що знаходяться на відповідній висоті. Це дозволяє використовувати природні водоймища для створення стійкого та сталого джерела гідроенергії.

При цьому потужність системи стає залежною від кількості накопиченої води та сонячного випромінювання. Інтеграція сонячних технологій дозволяє підвищити ефективність гідроенергетичної системи, забезпечуючи стабільніше функціонування навіть при менших обсягах води.

Типова гібридна енергетична системи з відкритим контуром на основі використання енергії вітру та сонця зображена на рис. 2.4.

Гібридна енергетична система, яка використовує енергію фотовольтаїки, теплової сонячної енергії та електромережі, поєднує фотовольтаїку для генерації електрики та сонячні колектори для теплогенерації. Інтелектуальна система управління контролює потужність, використовує акумулятори для зберігання надлишкової енергії і може взаємодіяти з електромережею через бідирекційний інвертор. Такий гібридний підхід забезпечує стабільне електропостачання, оптимізуючи використання відновлювальних ресурсів та інтегруючи систему в електромережу для обміну електроенергією.

2.2 Гібридні системи електропостачання з некерованими ВДЕ

Як приклад найпростішої гібридної системи з джерелом РГ розглянемо схему електропостачання котеджного містечка, яке живиться від мережі та СЕС (рис. 2.6).

Ця схема демонструє як сонячна електростанція інтегрується в електричну мережу та як електроенергія може використовуватися для живлення різних видів навантажень. Також, через трансформатор, енергія може бути передана в електричну мережу для споживання на інших ділянках енергосистеми.

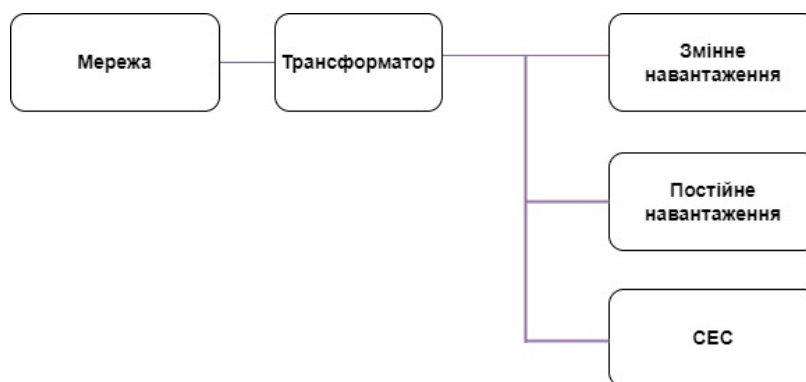


Рисунок 2.6 - Схема сонячної електростанції + мережа

Для моделювання використано блоки з програми MATLAB. MATLAB (Matrix Laboratory) - це інтерактивне середовище та мова програмування, спроектовані для виконання чисельних обчислень, візуалізації та розв'язання складних математичних

задач. Ця програма широко використовується в наукових, інженерних та прикладних дослідженнях.

MATLAB включає мову програмування високого рівня, яка спеціально призначена для чисельних обчислень та наукового програмування. Вона базується на синтаксисі математичного мовлення. MATLAB спеціалізується на роботі з матрицями та векторами, що робить його особливо ефективним для лінійної алгебри та інших математичних операцій. Програма дозволяє вам легко візуалізувати дані та результати обчислень за допомогою графіків, діаграм, зображень та інших візуальних елементів. MATLAB має обширну бібліотеку математичних функцій та пакетів для вирішення різноманітних завдань, включаючи чисельні обчислення, статистику, оптимізацію та інші області. Користувачі можуть писати скрипти та функції, які дозволяють виконувати послідовні операції та групувати їх для подальшого використання. MATLAB може взаємодіяти з іншими мовами програмування, такими як C, C++, Python, а також інтегруватися з іншими програмами та зовнішніми інструментами. MATLAB має інтегрований інструмент Simulink, який дозволяє моделювати та симулювати динамічні системи, включаючи електричні та механічні системи.

Програма є потужним інструментом для наукових та інженерних досліджень, від обчислень до моделювання та аналізу. Розглянемо ьбільш детально блоки які ми використовуємо для моделювання.

Основні елементи схеми включають в себе:

Блок мережа - Трифазне джерело напруги послідовно з гілкою RL. Трифазне джерело напруги послідовно з гілкою RL означає систему з трьох фазних джерел напруги, які підключені послідовно до гілки з опором (R) та індуктивністю (L).

Трифазне джерело напруги включає три джерела напруги, кожне з яких випромінює напругу у своїй фазі. Такі системи часто зустрічаються в електроенергетичних системах, де генератори напруги працюють в трьохфазному режимі. У кожній фазі напруга відстає або випереджує інші фази на 120 градусів.

Гілка RL містить опір (R) та індуктивність (L). Опір представляє собою резистивну частину гілки, а індуктивність — індуктивну частину. В гілці RL може відсутній або додатково присутній конденсатор (C) з певною ємністю, який також може впливати на характеристики гілки.

Така система, зображено на рис. 2.7, може бути використана для моделювання та аналізу електричних коліс, включаючи системи змінного струму (AC) в електроенергетичних мережах. Аналіз таких систем дозволяє визначити електричні параметри, такі як струм, напруга, активна та реактивна потужність, а також динаміку системи відповідно до змін часу.

Block Parameters: Utility Point-of-Connection

Three-Phase Source (mask) (link)

Three-phase voltage source in series with RL branch.

Parameters Load Flow

Configuration: Yg

Source

☐ Specify internal voltages for each phase

Phase-to-phase voltage (Vrms): (13800)*1.00243

Phase angle of phase A (degrees): 0.071468

Frequency (Hz): 60

Impedance

☒ Internal ☒ Specify short-circuit level parameters

3-phase short-circuit level at base voltage(VA): 250e6

Base voltage (Vrms ph-ph): 13.8e3

X/R ratio: 7

OK Cancel Help Apply

Рисунок 2.7 – Параметри трифазного джерела напруги

Блок трансформатор - у цьому блоці реалізовано трифазний трансформатор з використанням трьох однофазних трансформаторів.

Трифазний трансформатор - це пристрій, який використовується для перетворення напруги та потужності в трифазних електричних системах. Його можна скласти з трьох окремих однофазних трансформаторів, які зазвичай з'єднуються у специфічний спосіб для створення трифазного трансформатора.

Однофазні трансформатори мають два обмотки: первинну і вторинну. Первинна обмотка приєднана до джерела живлення, а вторинна - до навантаження. Таким чином, у трифазному трансформаторі існують три пари обмоток.

Таке з'єднання дозволяє трифазному трансформатору працювати в трифазній системі безперервного живлення, забезпечуючи потрібні напруги та струми для ефективного функціонування електричної системи. Трифазні трансформатори широко використовуються в промислових, комерційних та резиденційних системах для подачі та розподілу електроенергії. На рис. 2.8 показано параметри трифазного трансформатора з використанням трьох однофазних трансформаторів.

Block Parameters: Three-Phase Transformer (Two Windings)

Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)

This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Configuration Parameters

Units **pu**

Nominal power and frequency [Pn(VA) , fn(Hz)] [250e6 , 60]

Winding 1 parameters [V1 Ph-Ph(Vrms) , R1(pu) , L1(pu)] [13.8e3 , 0.002 , 0.08]

Winding 2 parameters [V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(pu) , L2(pu)] [5000 , 0.002 , 0.08]

Magnetization resistance Rm (pu) 500

Magnetization inductance Lm (pu) 500

Saturation characteristic [i1 , phi1 ; i2 , phi2 ; ...] (pu) [0.0024,1.2 ; 1.0,1.52]

OK Cancel Help Apply

Рисунок 2.8 – Параметри трифазного трансформатора з використанням трьох однофазних трансформаторів

Блок змінного навантаження - змінне навантаження в електротехніці вказує на те, що споживана електрична потужність чи опір змінюється з часом або в залежності від інших факторів. Таке навантаження є характерним для багатьох електричних пристроїв і систем, які працюють в режимі змінного струму (ЗС).

При тестуванні та випробуваннях електричних систем, таких як генератори, трансформатори чи мережі змінного струму, важливо мати змогу враховувати змінні навантаження для коректного аналізу та визначення робочої ефективності цих систем. Змінне навантаження може виникати як у домені резиденційних систем, так і в промислових та комерційних додатках. Параметри блоку змінного навантаження показано на рис. 2.9.

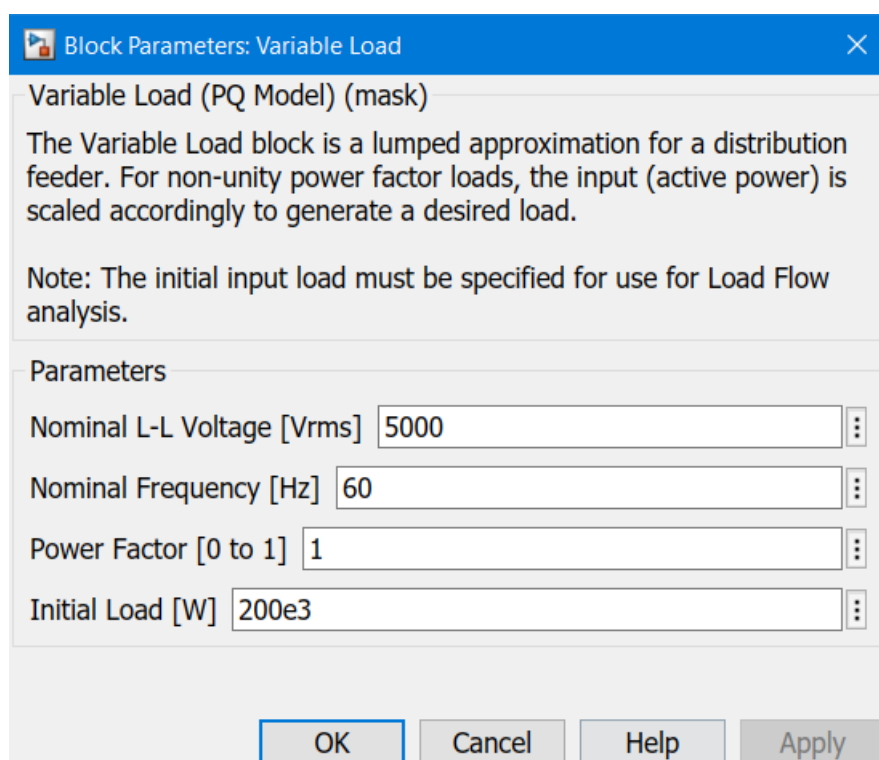


Рисунок 2.9 – Параметри блоку змінного навантаження

Блок постійне навантаження

Реалізує трифазне послідовне навантаження RLC. Трифазне послідовне навантаження RLC - це система електричного навантаження, що складається з трьох незалежних, але однакових за параметрами (опір, індуктивність, ємність)

гілок, підключених послідовно в одній фазі трифазної системи. Така система може використовуватися для аналізу та вивчення електричних характеристик в трьохфазних системах змінного струму. На рис. 2.10 показано його параметри.

Також така система може бути використана для вивчення реакції трьохфазних систем на різноманітні умови та навантаження. Важливо враховувати, що трьохфазні системи дуже поширені в електроенергетиці та промисловості, і вони дозволяють ефективно розподіляти та використовувати електричну енергію.

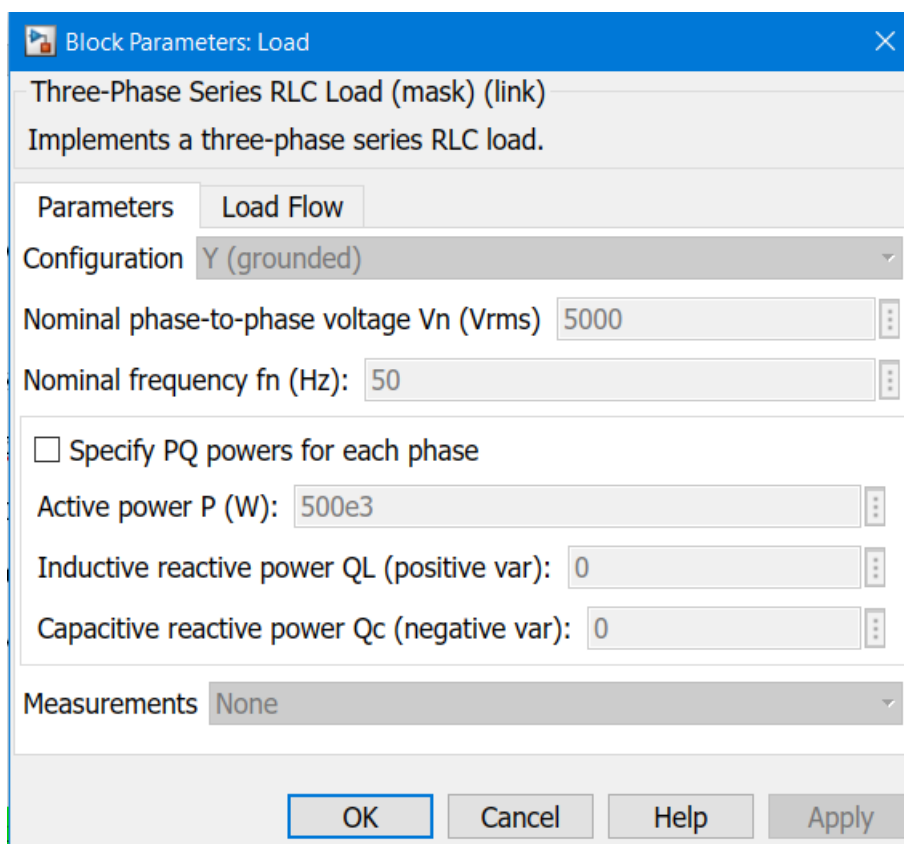


Рисунок 2.10 – Параметри блоку постійного навантаження

Блок СЕС

Цей блок моделює підключену до мережі сонячну батарею за допомогою блоку трифазного динамічного навантаження. Параметри цього блоку показано на рис. 2.11.

"Грід-підключення" сонячної батареї означає її підключення до електричної мережі, яка вже існує. У випадку грід-підключення сонячна батарея працює разом

із звичайною електричною мережею, і вироблена нею енергія може бути використана для живлення домашніх апаратів чи передана назад у мережу.

Цей тип підключення дозволяє максимально використовувати вироблену сонячною батареєю енергію, забезпечуючи живлення споживачів і внесення надлишкової енергії у мережу. Такий підхід може бути ефективним способом енергозабезпечення та зменшення використання традиційних джерел енергії.

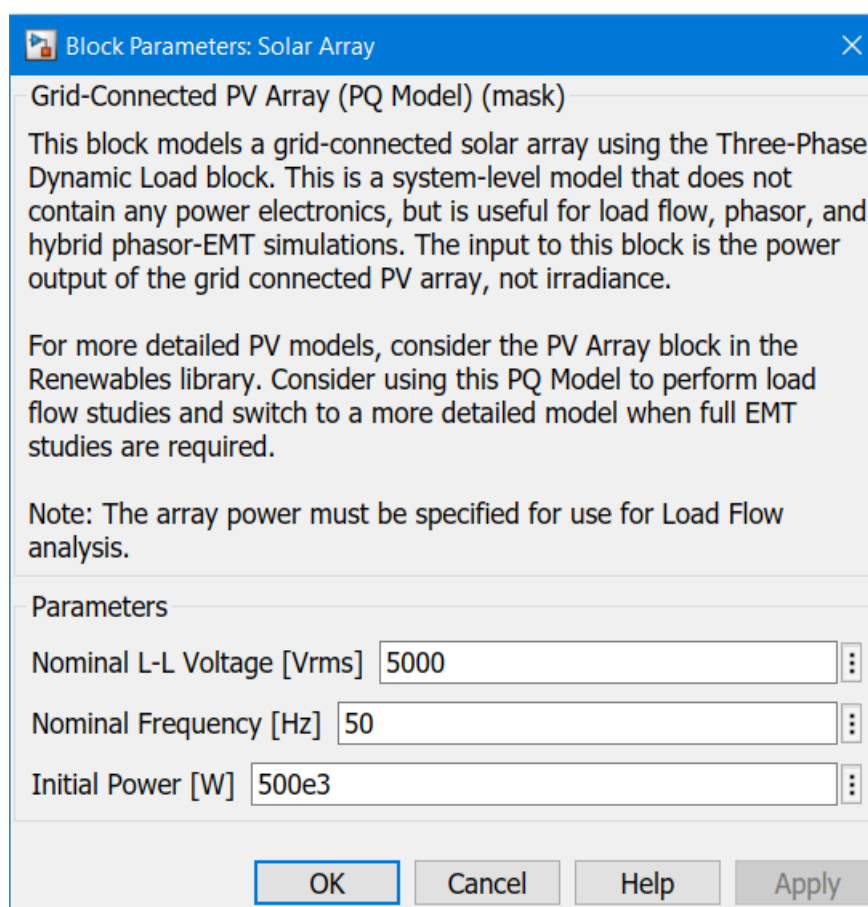


Рисунок 2.11 – Параметри блоку СЕС

2.3 Гібридні системи електропостачання з керованими ВДЕ

На відміну від попередньої схеми з некерованим джерелом РГ, схема з кількома джерелами РГ, якими можна керувати є більш гнучкою а отже і більш ефективною при енергозабезпеченні навантажень котеджного містечка. Гібридна система, яка об'єднує сонячні електростанції (СЕС) та гідроелектростанції (ГЕС),

може бути ефективним способом вироблення електроенергії, особливо в умовах різноманітних кліматичних умов та енергетичних потреб. ГЕС може забезпечувати стабільне виробництво електроенергії, оскільки вона може працювати безперервно, навіть коли сонячні панелі не отримують сонячне випромінювання (наприклад, вночі або при хмарному небі). Гібридна система може враховувати сезонні зміни в виробництві енергії, використовуючи сонячні панелі більш ефективно влітку, коли триває більше сонячних годин, та залучаючи гідроелектростанцію взимку, коли сонячне випромінювання може бути менше і менш ефективне. Сполучення різних джерел енергії дозволяє зменшити залежність від одного джерела та забезпечити більш стабільне виробництво енергії при збільшенні енергетичної ефективності.

Гідроелектростанції та сонячні електростанції є досить "чистими" джерелами енергії, що може сприяти зменшенню викидів парникових газів та негативного впливу на навколишнє середовище.

Енергія, зібрана сонячними панелями, може бути використана для живлення споживачів або надходити до системи енергозберігання (наприклад, акумуляторів). Це дозволяє зберігати надлишкову енергію для використання в періоди, коли сонце не світить або виробництво енергії від сонячних панелей недостатнє.

Гідроелектростанція може бути використана як додаткове джерело енергії. Вона використовує потік води для обертання турбін, які генерують електричну енергію. Гідроенергія може бути використана для компенсації змін енергетичного виробництва від сонця, забезпечуючи стабільніше виробництво енергії. Нижче, на рис. 2.12 зображено схему гібридної системи СЕС+ГЕС.

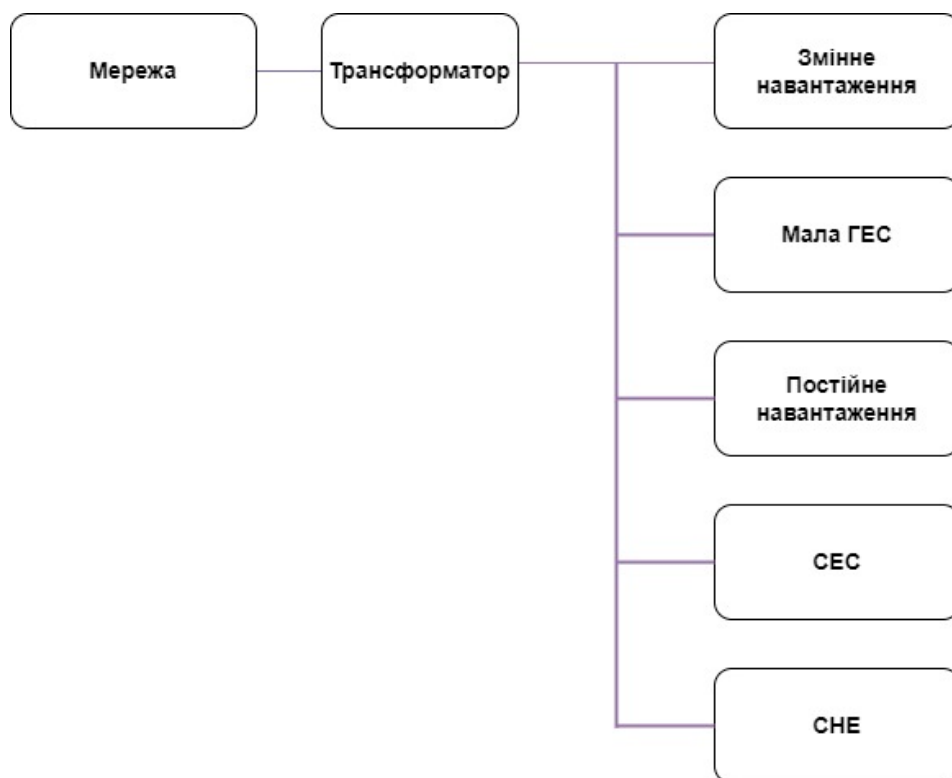


Рисунок 2.12 – Схема гібридної системи СЕС+ГЕС

Розглянемо більш детально блоки які ми використовуємо для моделювання.

Блок мережа – представляє собою трифазне джерело напруги послідовно з гілкою RL. Якщо у вас є трифазне джерело напруги, що з'єднане послідовно з гілкою RL, це означає, що в системі є три фази, і кожна фаза має послідовно з'єднану гілку, в якій є резистор R і котушка індуктивності L .

У цій схемі:

- Кожна гілка містить резистор R та котушку індуктивності L .
- Фаза 1, Фаза 2 і Фаза 3 представляють трифазне джерело напруги.
- Послідовне з'єднання означає, що елементи кожної гілки з'єднані один за одним, тобто струм, що протікає через резистор, потім протікає через котушку індуктивності. Для цього блоку, на рис. 2.13, показано його параметри.

Block Parameters: Utility Point-of-Connection

Three-Phase Source (mask) (link)

Three-phase voltage source in series with RL branch.

Parameters Load Flow

Configuration: Yg

Source

☐ Specify internal voltages for each phase

Phase-to-phase voltage (Vrms): (13800)*1.00243

Phase angle of phase A (degrees): 0.071468

Frequency (Hz): 60

Impedance

☒ Internal ☒ Specify short-circuit level parameters

3-phase short-circuit level at base voltage(VA): 250e6

Base voltage (Vrms ph-ph): 13.8e3

X/R ratio: 7

OK Cancel Help Apply

Рисунок 2.13 – Параметри трифазного джерела напруги гібридної системи СЕС+ГЕС

Блок трансформатор – у цьому блоці реалізовано трифазний трансформатор з використанням трьох однофазних трансформаторів.

Трифазний трансформатор відзначається рядом особливостей у своїй роботі, які роблять його важливим компонентом в системах електропостачання та електроенергетиці. Ось деякі основні особливості трифазних трансформаторів:

В системі трифазного трансформатора важливою є симетричність. У трьох фазах величини напруги та струму взаємно збалансовані, що дозволяє зменшити величину потужності та розмір трансформатора порівняно із зазначенням для трансформатора з одною фазою.

Трифазні системи є більш економічними з точки зору передачі та розподілу електроенергії, оскільки потребують менше кількості провідників та мають менше втрат електроенергії порівняно з системами однофазних трансформаторів.

Трифазні трансформатори, як правило, мають високий коефіцієнт корисної дії та малі втрати енергії. Це дозволяє їм ефективно перетворювати електричну енергію з одного рівня напруги на інший. На рис. 2.14 показано параметри

Таким чином, трифазні трансформатори мають кілька переваг, таких як ефективність, економічність та можливість передачі великих потужностей, які роблять їх популярними у різних електротехнічних застосуваннях.

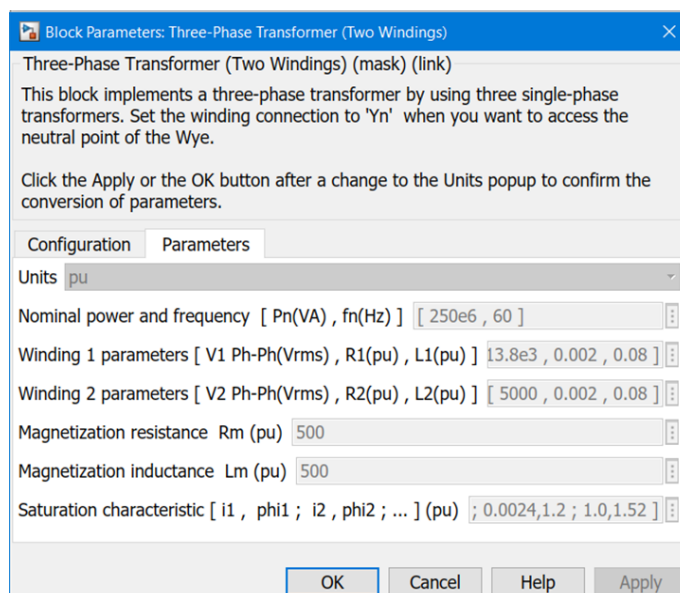


Рисунок 2.14 – Параметри трифазного трансформатору з використанням трьох однофазних трансформаторів гібридної системи СЕС+ГЕС

В даній схемі (Схема гібридної системи СЕС+ГЕС) параметри блоку змінного та постійного навантаження являються ідентичними відносно схеми СЕС.

Блок Мала ГЕС - гідроелектростанція невеликої потужності, яка використовує енергію річок чи струмків для виробництва електроенергії. Такі станції зазвичай мають потужність від кількох десятків кВт (кіловат) до кількох мегават (МВт). МГЕС є екологічно чистим та стійким джерелом енергії, і вони

можуть бути використані для забезпечення електроенергії в сільських районах або в областях з віддаленими населеними пунктами.

МГЕС мають невелику потужність порівняно з великими гідроелектростанціями. Зазвичай їх потужність знаходиться в діапазоні від кількох десятків кВт до декількох сотень МВт.

Малі гідроелектростанції можуть використовувати різні технічні рішення, такі як підводний турбінний генератор, протипаводкові споруди та інші конструктивні елементи, щоб використовувати потік води для обертання турбін та виробництва електроенергії.

МГЕС можуть бути використані для забезпечення електроенергії в сільських районах, віддалених регіонах або в місцях з низьким обсягом водоспоживання.

МГЕС можуть забезпечити енергетичну незалежність для віддалених споживачів, де інші джерела енергії можуть бути дорогими або недоступними.

На рис. 2.15 показано параметри для блоку МГЕС гібридної системи СЕС+МГЕС.

Рисунок 2.15 – Параметри МГЕС гібридної системи СЕС+МГЕС

Параметри блоку СЕС для схеми 2 залишаються незмінними. Цей блок моделює підключену до мережі сонячну батарею за допомогою блоку трифазного динамічного навантаження (параметри до цього блоку на рис. 2.16).

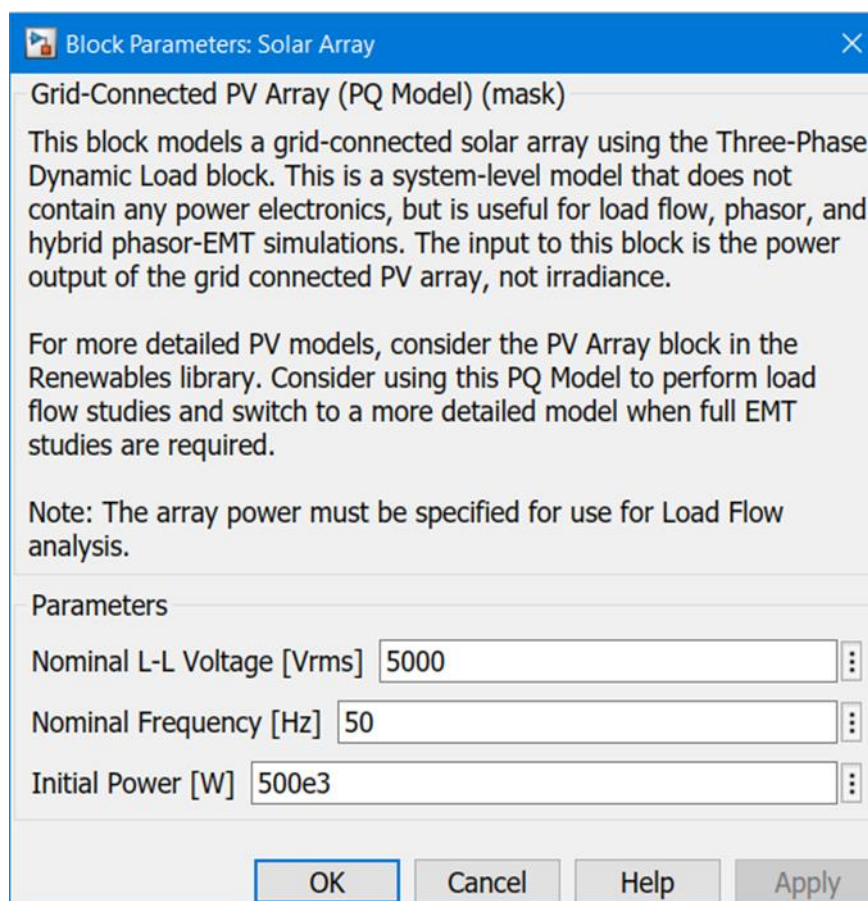


Рисунок 2.16 – Параметри СЕС гібридної системи СЕС+МГЕС

Блок СНЕ - блок накопичення енергії моделює загальну підключену до мережі систему накопичення енергії (ESS), найчастіше акумуляторну систему.

Блок накопичення енергії (Energy Storage System, ESS) є системою, яка здатна зберігати та віддавати електроенергію для подальшого використання. В моделюванні системи енергонакопичення, також відомої як акумуляторна система, враховуються різноманітні параметри та характеристики для досягнення оптимальної та ефективної роботи системи.

Ємність акумулятора визначається кількістю електричної енергії, яку може зберігати акумуляторна система. Вимірюється у ватт-годинах (Wh) або кількості електричної енергії, яку система може надавати протягом певного часу.

Напруга та струм визначає електричні характеристики системи. Для акумуляторних систем це може бути напруга або струм, які можуть варіюватися відповідно до конкретного типу акумуляторів.

Коефіцієнт ефективності враховує втрати енергії під час процесів зберігання та віддачі енергії. Цей коефіцієнт визначає, наскільки ефективно система використовує електроенергію.

Час зберігання це тривалість, протягом якої акумуляторна система може постачати електроенергію без підключення до джерела живлення.

Модель може включати алгоритми управління, які оптимізують зарядку та розрядку системи відповідно до конкретних умов та цілей.

Різні типи акумуляторів (літій-іонні, свинцеві кислотні, суперконденсатори тощо) мають різні характеристики, які можуть бути враховані в моделі.

Ці параметри та характеристики можуть варіюватися в залежності від конкретної моделі ESS та її призначення. Моделювання таких систем допомагає розробникам оптимізувати роботу блоку накопичення енергії для задоволення конкретних вимог та умов. Параметри СНЕ показано на рис. 2.17.

Block Parameters: Energy Storage

Grid-connected Energy Storage (PQ Model) (mask)

The energy storage block models a generic grid-connected energy storage system (ESS), most commonly a battery system. This is a system-level model that does not contain any power electronics, but is useful for load flow, phasor, and hybrid phasor-EMT simulations. The inputs to this block are the commanded active and reactive power of the ESS. The ESS is assumed to have four quadrant operation.

For more detailed ESS models, consider the battery block in the Drives library. Consider using this PQ Model to perform load flow studies and switch to a more detailed model when full EMT studies or more advanced controls are required.

Note: The initial active/reactive power commands must be specified for use for Load Flow analysis.

Parameters

Grid Connection Properties

Nominal L-L Voltage [Vrms] 5000

Nominal Frequency [Hz] 60

Rated Power [kW] 500

Rated Capacity [kWh] 100

Overall System Efficiency [%] 96

Charge/Discharge Controls

Upper/Lower Charge Limits [%] [90 10]

SOC to Recharge [%] 11

Recharge Rate [% of Rated Power] 50

☐ Enable Auto-Recharge

Initial Conditions

Initial State-of-Charge [0-100%] 80

Initial Active/Reactive Cmds [500e3 0]

OK Cancel Help Apply

Рисунок 2.17 - Параметри блоку накопичення енергії гібридної системи
СЕС+МГЕС

Гібридна енергетична система, яка комбінує сонячну електростанцію (СЕС) і малу гідроенергостанцію (МГЕС), може мати численні переваги і створювати ефективний та стійкий енергетичний комплекс. Основні висновки можуть бути наступними:

Об'єднання сонячних і гідроенергетичних джерел дозволяє використовувати два різні та відновлювані джерела енергії, що сприяє зменшенню використання традиційних джерел енергії.

Сонячні панелі та мала гідроенергостанція можуть працювати в деякій мірі незалежно один від одного. Це забезпечує постійне виробництво електроенергії, оскільки сонячні панелі можуть працювати під час сонячних днів, а мала гідроенергостанція може виробляти енергію протягом усього року.

Комбінування різних джерел енергії дозволяє зменшити вплив непередбачуваних факторів, таких як зміни погодних умов чи сезонні варіації виробництва енергії.

Взаємодії сонячної електростанції та малої гідроенергостанції можна досягти максимальної ефективності та мінімізувати втрати енергії.

Гібридна система може допомогти вирішити питання енергетичної автономії, забезпечуючи стійке та надійне енергозабезпечення в різних умовах.

Застосування відновлюваних джерел енергії сприяє зменшенню викидів та впливу на навколишнє середовище, сприяючи сталому розвитку.

Загальною ідеєю є те, що гібридна система сонячної електростанції та малої гідроенергостанції може створити ефективний, стійкий і сталий джерело енергії, зменшуючи залежність від традиційних та нестійких джерел.

Висновки до розділу 2

Гібридні енергетичні системи представляють собою перспективний напрямок в розвитку сучасних енергетичних технологій. Вони використовують комбінацію різних джерел енергії, спрямовану на забезпечення стабільного та

стійкого енергозабезпечення. Схеми гібридних систем можуть об'єднувати сонячні електростанції (СЕС) та інші відновлювальні джерела енергії, щоб оптимізувати виробництво та забезпечити стійкість системи у різних умовах.

Сонячна енергія, як одне з ключових складових гібридних систем, використовує сонячні панелі для перетворення сонячної радіації на електроенергію. Її використання сприяє зменшенню викидів та залежності від традиційних джерел енергії, забезпечуючи екологічно чистий та відновлюваний джерело електроенергії.

Гібридні системи на основі сонячної електростанції та малої гідроелектростанції додають до цього підходу ще один елемент. Мала гідроелектростанція використовує потік води для виробництва енергії, що дозволяє забезпечувати стійке виробництво електроенергії протягом усього року. Комбінація обох джерел визначається оптимальним використанням природних умов та технічних можливостей.

Узагальнюючи, гібридні системи, які поєднують сонячні електростанції та гідроелектростанції, визначають новий рівень стійкості та ефективності в сфері виробництва електроенергії. Вони сприяють розвитку сталої та екологічно чистої енергетики, сприяючи переходу до більш сталого та стійкого енергетичного майбутнього.

3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВДЕ

3.1 Моделювання гібридної системи електропостачання з некерованими ВДЕ

Розглянемо схему, яка включає в себе сонячну електростанцію (СЕС) та мережу, це є інтегрованим підходом для забезпечення стійкої та сталої енергії, зображено на рис. 3.1, яку було змодельовано з рис. 2.6 за допомогою блоків у програмі MATLAB. Ця схема демонструє як сонячна електростанція інтегрується в електричну мережу та як електроенергія може використовуватися для живлення різних видів навантажень. Також, через трансформатор, надлишкова енергія може бути передана в електричну мережу для споживання на інших ділянках енергосистеми, а енергія якої не вистачає для живлення навантаження котеджного містечка може бути спожита з загальної мережі. В якості споживача електроенергії ми розглядаємо базове навантаження 500 кВт та котеджне містечко, яке складається з 8-ми котеджів де максимальне споживання електроенергії кожного 25 кВт. і має загальне навантаження 200 кВт.

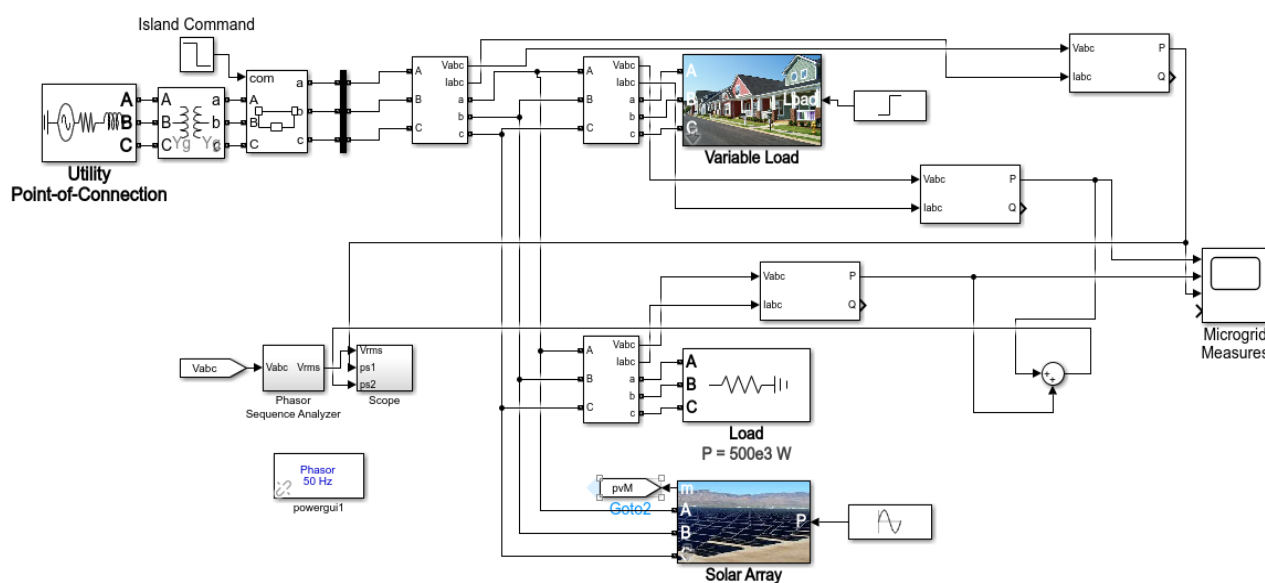


Рисунок 3.1 – Схема СЕС + мережа з блоків програми MATLAB

Характеристика та параметри блоків даної схеми була приведена в розділі 2.2, котеджне містечко змодельоване в блоці змінного навантаження. Блок сонячної електростанції (СЕС), який моделює підключену до мережі сонячну батарею за допомогою блоку трифазного динамічного навантаження, представляє собою систему, що об'єднує технології сонячного енергетичного виробництва та трифазного змінного струму для ефективного використання сонячної енергії та її інтеграції в мережу змінного струму.

Провівши моделювання даної схеми в програмі MATLAB, результати якого зображено на рис. 3.2, можна провести аналіз доцільності та ефективності використання даної схеми в даних умовах.

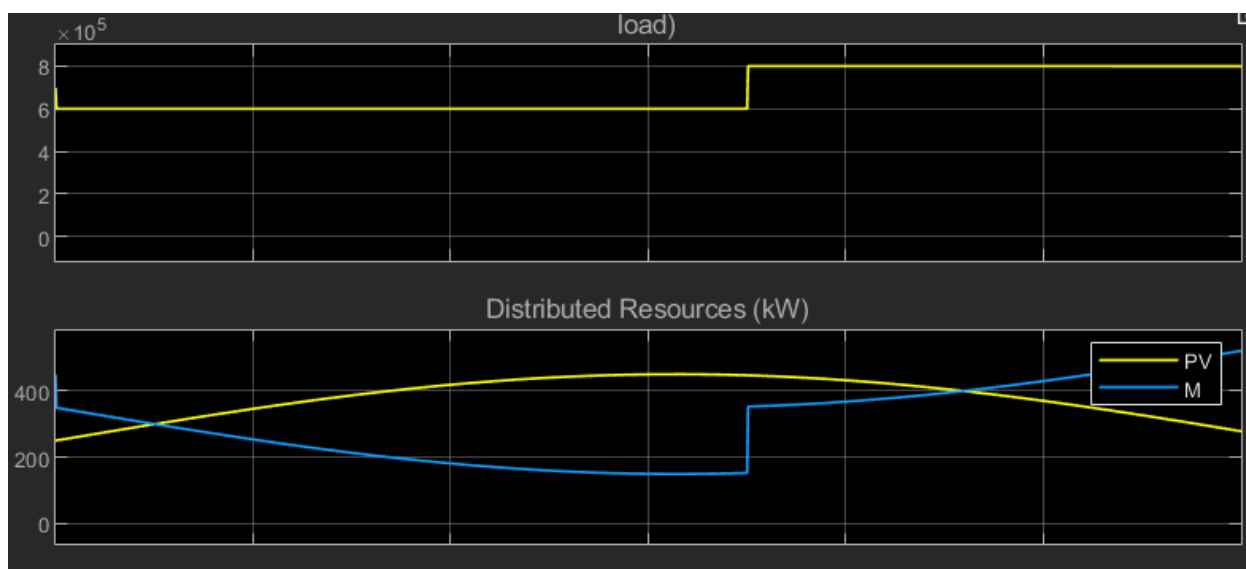


Рисунок 3.2 – Результати моделювання схеми СЕС + мережа

В результаті моделювання, ми можемо бачити на рис. 3.2 наступне:

На верхньому графіку:

- Графік навантаження котеджного містечка;

На нижньому графіку:

- Використання сонячної електростанції для покриття потреб в електрозабезпеченні котеджного містечка, позначено жовтим кольором.
- Використання мережі в результаті нестачі електрозабезпечення від сонячної електростанції, позначено синім кольором.

3.2 Моделювання гібридної системи електропостачання з керованими ВДЕ

Гібридна система, що поєднує сонячну електростанцію (СЕС) та малу гідроелектростанцію (ГЕС), створює ефективну та стійку систему виробництва електроенергії з використанням двох відновлювальних джерел енергії рис. 3.3, яку було змодельовано з блоків схеми в програмі MATLAB, використовуючи рис. 2.12 для моделювання. В якості споживача електроенергії ми розглядаємо базове навантаження 500 кВт та котеджне містечко, яке складається з 8-ми котеджів де максимальне споживання електроенергії кожного 25 кВт. і має загальне навантаження 200 кВт.

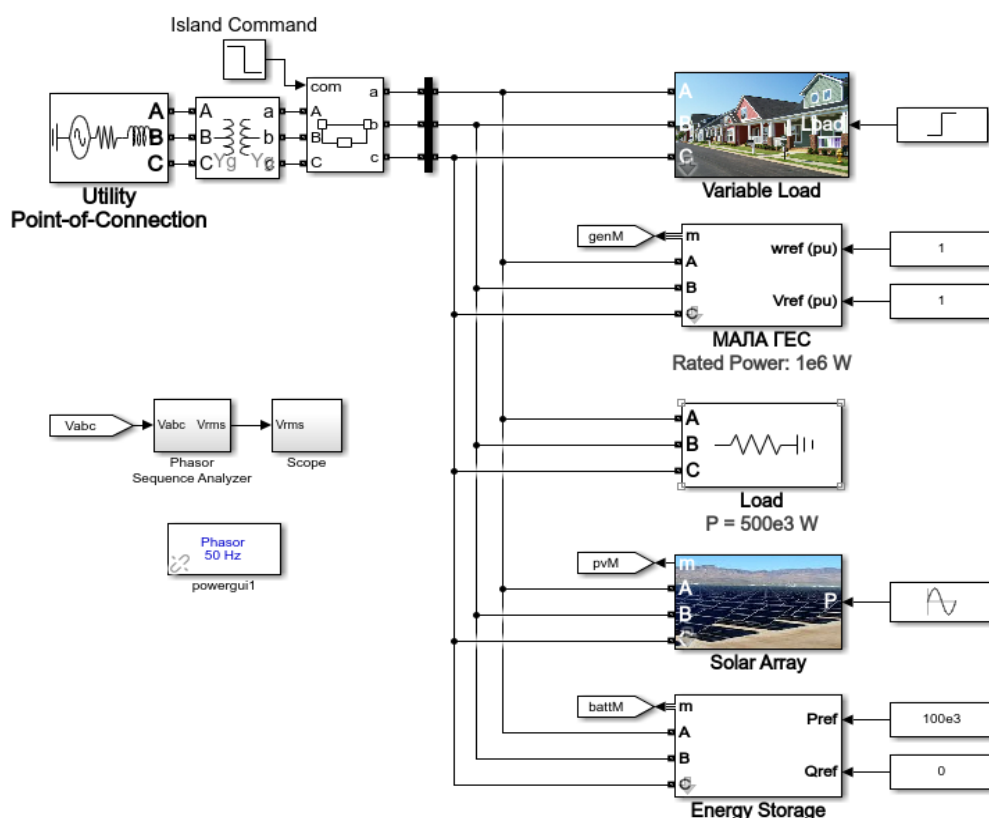


Рисунок 3.3 - Схема гібридної системи електрозабезпечення СЕС + мала ГЕС

вимірювань може знадобитися використовувати спеціалізовані блоки, які представляють функціонал мультиметра.

На рис. 3.5 наведено результати моделювання схеми (гібридної системи електрозабезпечення СЕС + мала ГЕС).

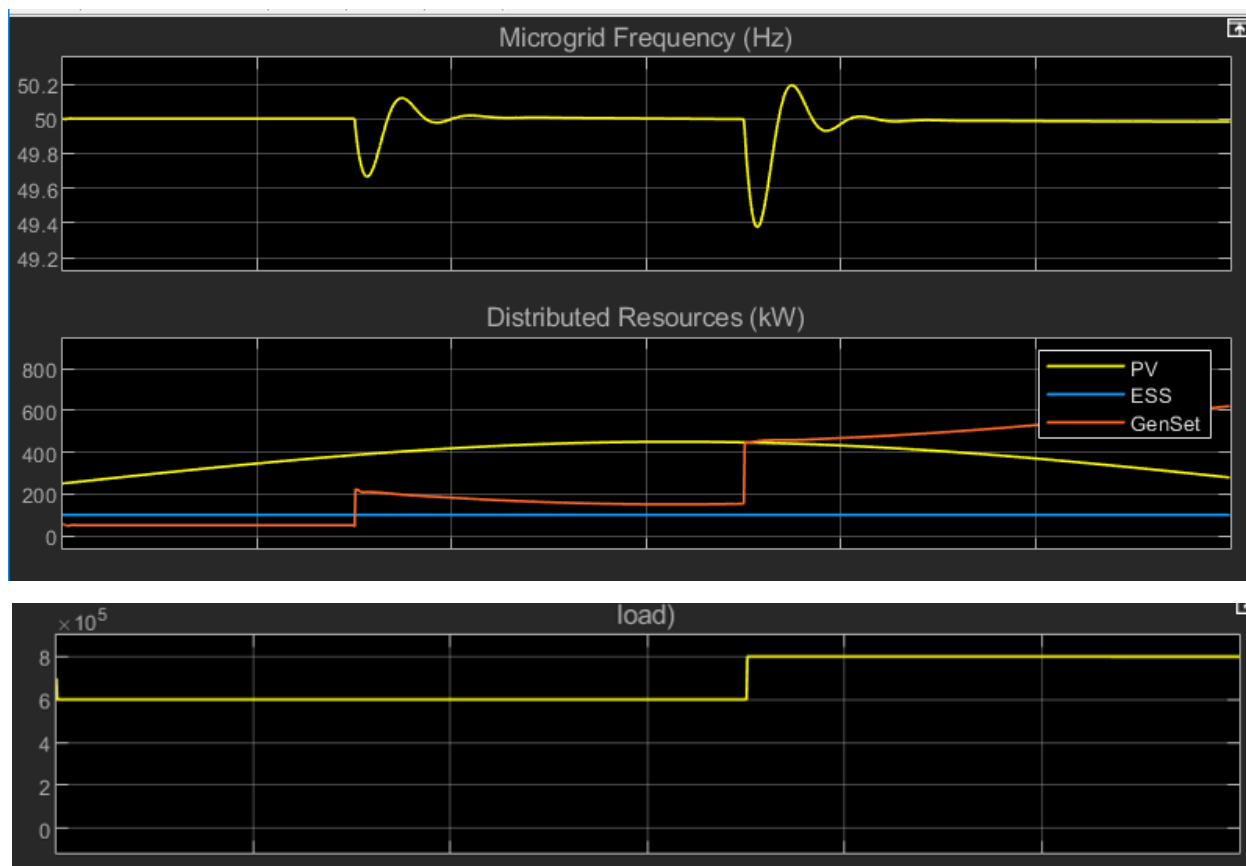


Рисунок 3.5 – Результати моделювання схеми

Верхній графік показує коливання частоти мережі при зміні навантаження та генерації відповідно.

На нижньому графіку зображено роботу генераторів, де жовтим кольором позначено ресурс сонячної енергії, червоним – малої ГЕС та синім накопичення.

На третьому зображено графік навантаження котеджного містечка.

3.3 Аналіз результатів моделювання роботи гібридних систем електропостачання з керованими та некерованими ВДЕ

Проаналізувавши результати моделювання схеми гібридної системи СЕС + мережа, зображеної на рис. 3.1 та гібридної системи СЕС + мала ГЕС + накопичувач зображеної на рис. 3.3 можемо обрати найбільш ефективну систему для живлення котеджного містечка.

Результати моделювання першої схеми, показали нам, що для повного забезпечення котеджного містечка електроенергією не достатньо потужності СЕС тому нестачу покриває мережа.

Розглядаючи результати моделювання другої схеми бачимо можливості даної гібридної системи повністю забезпечити котеджне містечко електроенергією при максимальному споживанні за рахунок поєднання керованої відновлювальної енергії в уособленні малої ГЕС та накопичувачів та некерованої сонячної – СЕС. На графіку рис. 3.6 наочно представлено результати моделювання які підтверджують дане твердження.

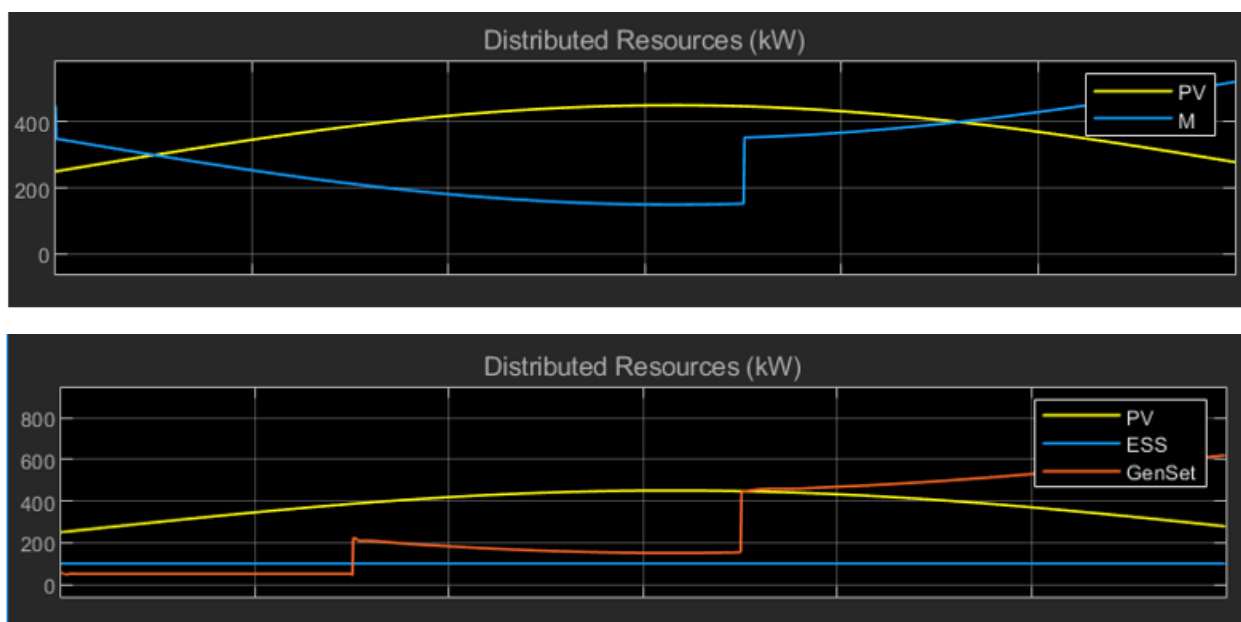


Рисунок 3.6 – Результати моделювання схем 1 та 2

3.4 Порівняльний аналіз СЕС та гібридної системи електропостачання з керованими ВДЕ

Економічний аналіз гібридної системи електропостачання з керованими відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ), такими як сонячна електростанція (СЕС) та мала гідроелектростанція (ГЕС), включає оцінку вартості будівництва, експлуатаційних витрат та економічну вигоду.

Цей аналіз допоможе визначити економічну доцільність гібридної системи та визначити її конкурентоспроможність на ринку відновлювальної енергії.

Для економічного аналізу, оцінимо вартість СЕС. Комплектація та ціни орієнтовні, кожен проект прораховується індивідуально під конкретні умови та задачі. Для даної СЕС використовуємо параметри указані на рис 2.16.

У комплект сонячної електростанції на 500 кВт призначеної для генерування виробленої електроенергії, входять:

- Мережевий трифазний інвертор Solis-50K-5G-DC + моніторинг - 10 шт;
- Пристрій регулювання генерації Solis EPM-5G-Plus - 1 шт;
- Сонячна панель RSM156-6-430M Risen 9BB, JAGER - 1162 шт;
- Провід Solar * - 5000 м; Кабель ВВГнг * - 750 м;
- Захист по DC (плавкі запобіжники, ОПН) - 1 комп .;
- Захист по AC (Авт. Вимикачі, УЗО) - 1 комп .;
- Металоконструкція і кріпильні матеріали * - 1 комп .;
- Проектно-монтажні роботи та транспортні витрати.

Для детального економічного аналізу проведемо оцінку вартості будівництва та вартість комплектації станції.

Орієнтовний кошторис системи зображено в табл. 3.1:

Таблиця 3.1 – Орієнтовний кошторис СЕС

№	Назва	Сума, USD
1	Попередня оцінка можливості виконання проекту: — виїзд на об'єкт; — оцінка потенціалу об'єкта; — аналіз документів; — підготовка попередньої комерційної пропозиції на основі зібраної інформації.	-
2	Передпроектні та проектні роботи, оформлення "зеленого" тарифу та дозвільної документації: — уточнення вихідних даних; — підготовка проектно-кошторисної документації; — узгодження проектно-кошторисної документації; — отримання ліцензії на виробництво електроенергії; — підключення "зеленого" тарифу; — юридичний супровід об'єкта.	12500
3	Обладнання	205000
4	Монтаж і пуско-налагоджувальні роботи	15000
Всього		232500

Для подальших розрахунків та аналізу даної сонячної електростанції використаємо програму PVsyst для отримання більш точних даних.

PVsyst є програмним забезпеченням для проектування та моделювання сонячних електростанцій. Це потужний інструмент для професіоналів у галузі сонячної енергетики, і він дозволяє виробляти докладні технічні та фінансові аналізи сонячних проектів.

В програмі PVsyst виставимо значення об'єму згенерованої потужності сонячними панелями, кут нахилу сонячних панелей до горизонту (30°) та азимуту (азимут= -15°) показано на рис. 3.7.

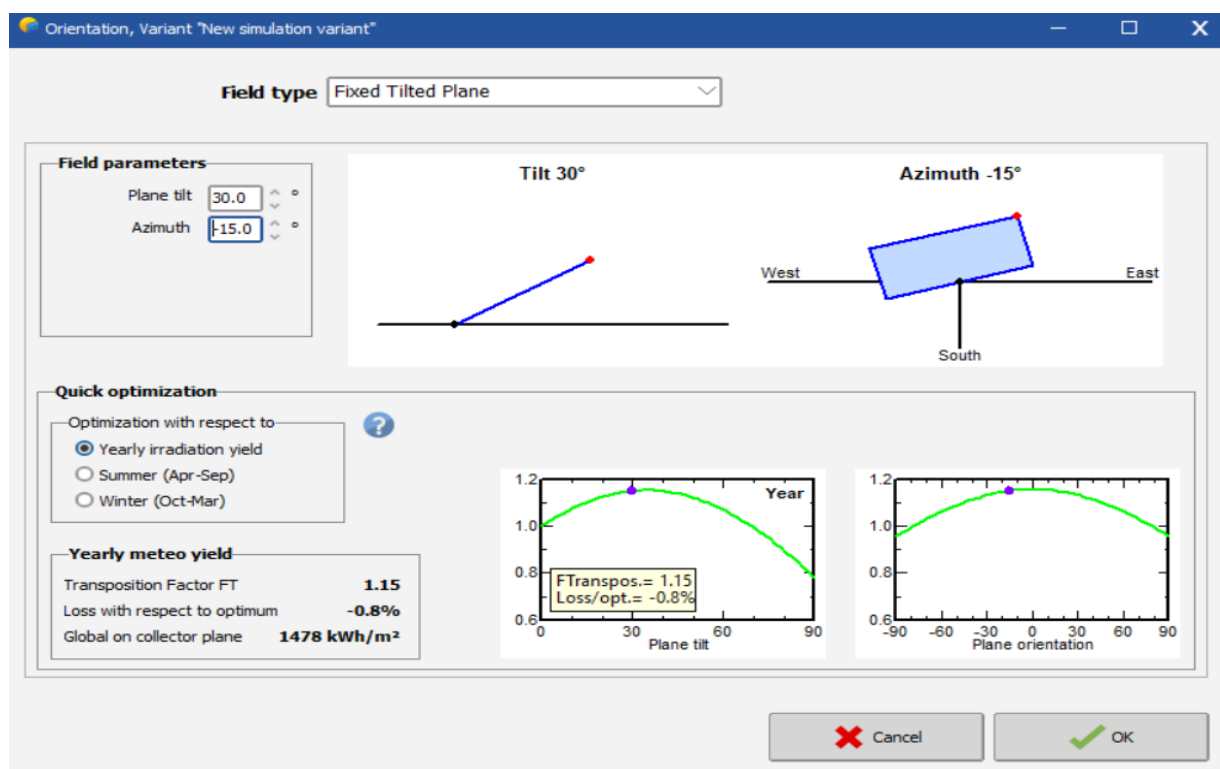


Рисунок 3.7 – Вибір кута нахилу панелей та азимута

За допомогою програми PVsyst визначимо об'єм згенерованої енергії, тобто з нахилом сонячних панелей під відповідним кутом та розміщення панелей у відповідності до заданих сторін світу, зображено на рис. 3.8.

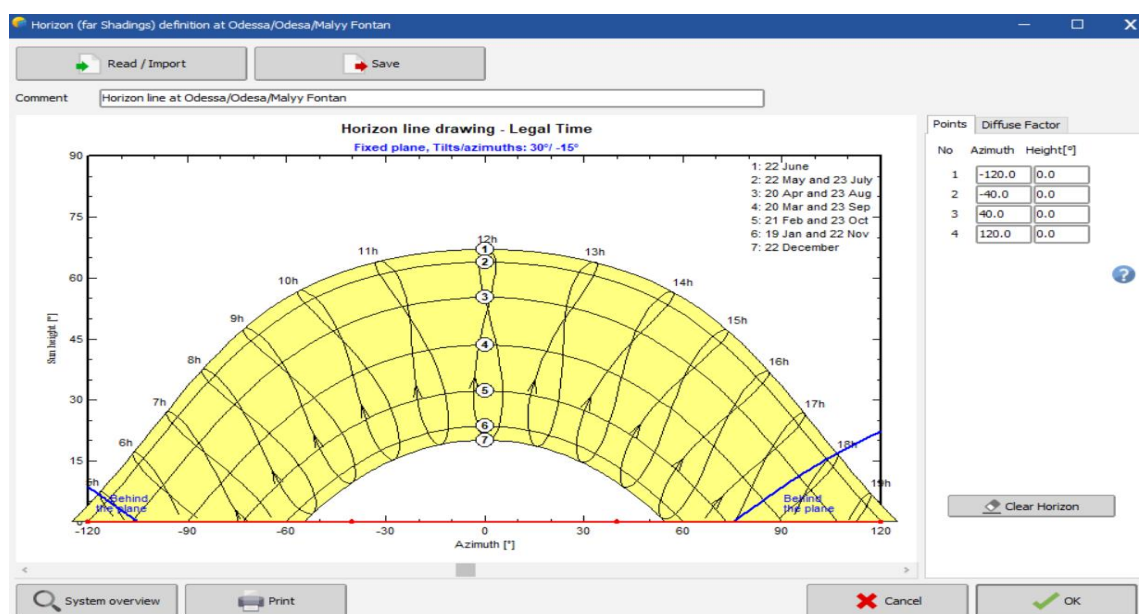


Рисунок 3.8 – Вибір лінії горизонту

На рис 3.9 зображені основні характеристики та необхідні параметри системи яка дозволяє фотовольтаїчній установці взаємодіяти з електричною мережею.

Sub-array

Sub-array name and Orientation
 Name: PV Array
 Orient: Fixed Tilted Plane
 Tilt: 30°
 Azimuth: -15°

Pre-sizing Help
☐ No sizing
☒ Enter planned power: 500.0 kWp
☐ ... or available area(modules): 2373 m²
☒ Resize

Select the PV module
 Available Now: All PV modules
 Filter: All PV modules
 Bifacial module: ☒ Bifacial system
 AE Solar: 500 Wp 33V Si-mono AE 500MD-132BD Since 2022 Manufacturer 2020
☐ Use optimizer
 Sizing voltages: Vmpp (60°C) 34.0 V
 Voc (-10°C) 51.3 V

Select the inverter
 Available Now: SMA
 Output voltage 480 V Tri 50 Hz
 50 kW 150-800 V TL 50/60 Hz Sunny Tripower STP50-US-41-Core1 Since 2018
☒ 50 Hz
☐ 60 Hz
 Nb of MPPT inputs: 47
 Operating voltage: 150-800 V Inverter power used: 392 kWac
☒ Use multi-MPPT feature
 Input maximum voltage: 1000 V inverter with 6 MPPT
 No Power sharing between MPPTs

Design the array
Number of modules and strings
 Mod. in series: 17 between 5 and 19
 Nb. strings: 59 between 47 and 69
 Overload loss: 0.4 %
 Pnom ratio: 1.28
 Nb. modules: 1003 Area: 2380 m²

Operating conditions
 Vmpp (60°C) 577 V
 Vmpp (20°C) 674 V
 Voc (-10°C) 872 V
 Plane irradiance: 1000 W/m²
 Imp (STC) 761 A
 Isc (STC) 801 A
 Isc (at STC) 801 A

35 inputs with 1 strings and 12 inputs with 2 strings, Consider disabling "Use multi-MPPT feature" for ensuring power sharing on each input.
☐ Max. in data
☒ STC
 Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C) 457 kW
 Array nom. Power (STC) 502 kWp

List of subarrays

Name	#Mod	#Inv.	#String	#MPPT
PV Array				
AE Solar - AE 500MD-132BD	17		59	
SMA - Sunny Tripower STP50-...	8		47	

Global system summary

Nb. of modules	1003
Module area	2380 m²
Nb. of inverters	7.8
Nominal PV Power	502 kWp
Maximum PV Power	474 kWDC
Nominal AC Power	392 kWAC
Pnom ratio	1.280

System overview **Single-line diagram** **Cancel** **OK**

Рисунок 3.9 – Параметри даної СЕС

Моделювання програми PVsyst зображене на рис. 3.10 описує кількість сонячної енергії, яку сонячна електростанція отримує і виробляє щоденно. Щоденний вхід (Daily Input) – це кількість сонячної енергії, яку сонячна електростанція отримує впродовж дня. Щоденний вихід (Daily Output): Це кількість електроенергії, яку сонячна електростанція генерує і подає до електричної мережі або використовує для власних потреб.

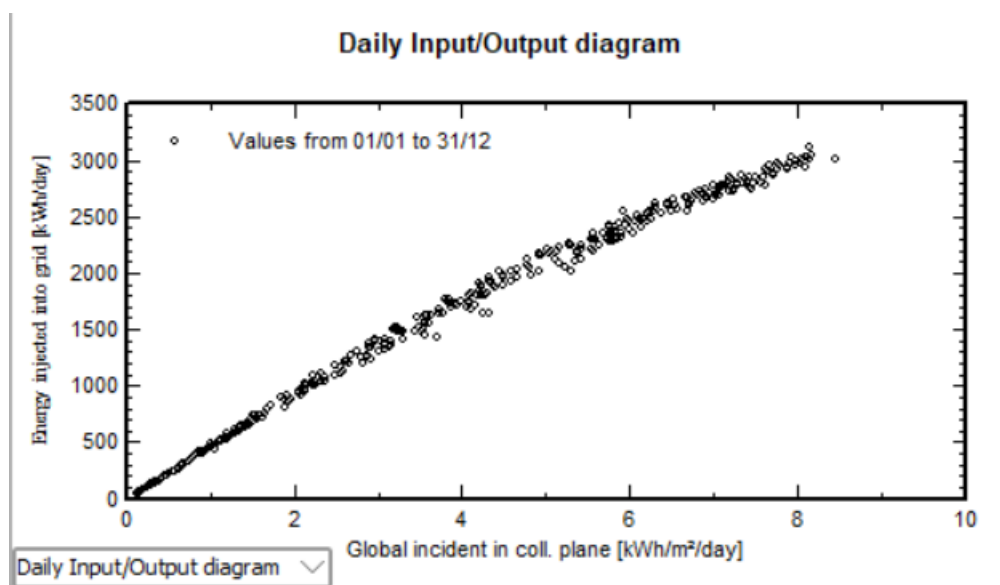


Рисунок 3.10 – Кількість сонячної енергії, яку СЕС отримує і виробляє щоденно.

Щомісячний коефіцієнт продуктивності СЕС показано на рис. 3.11. Щомісячний коефіцієнт продуктивності сонячної електростанції - це показник, який вказує на ефективність роботи сонячної електростанції протягом конкретного місяця. Враховуючи сезонні зміни у сонячному випромінюванні та інші фактори, дозволяє оцінити, наскільки добре сонячна електростанція використовує сонячну енергію для виробництва електроенергії.

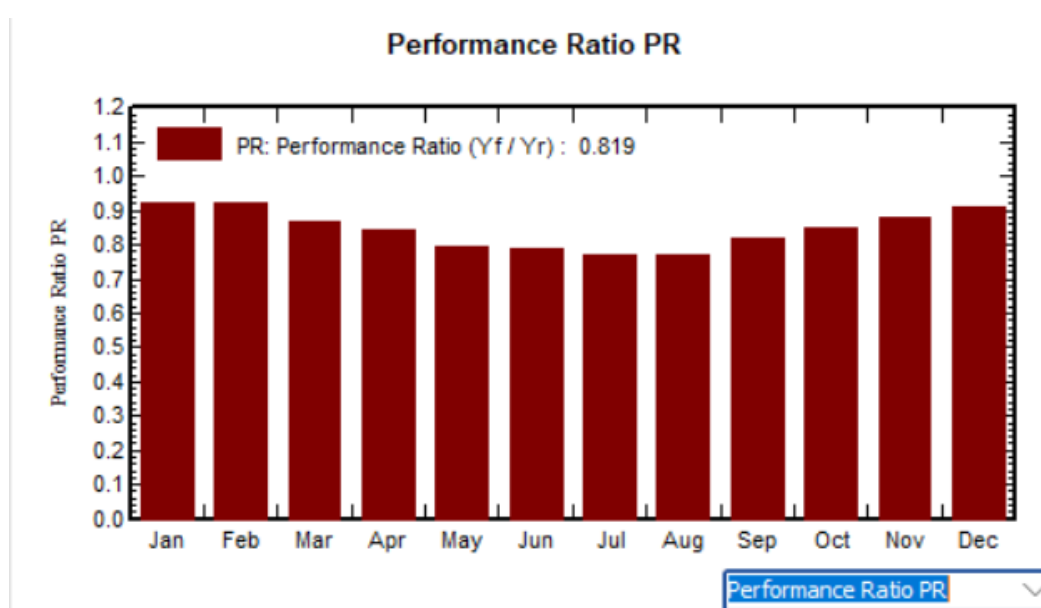


Рисунок 3.11 – Щомісячний коефіцієнт продуктивності СЕС

Графік річної генерації електричної енергії СЕС наведено на рис. 3.12.

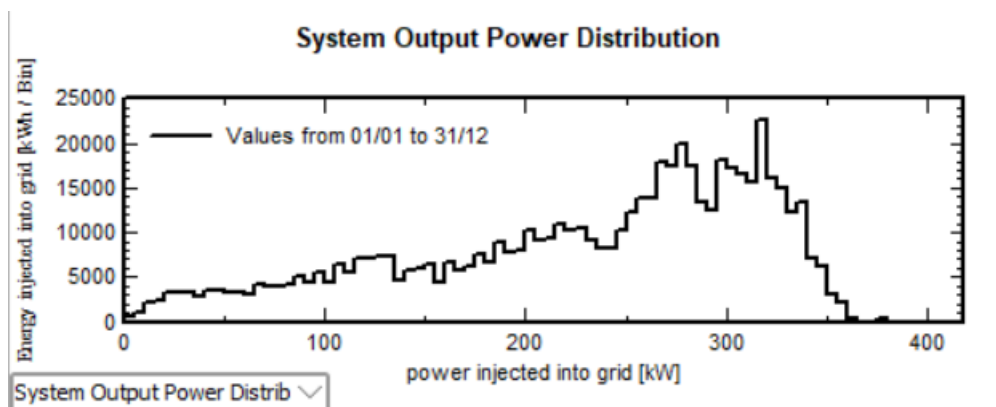


Рисунок 3.12 – Річна генерація електричної енергії СЕС

Вплив температури навколишнього середовища на ефективність PV модулів, зображено на рис. 3.13.

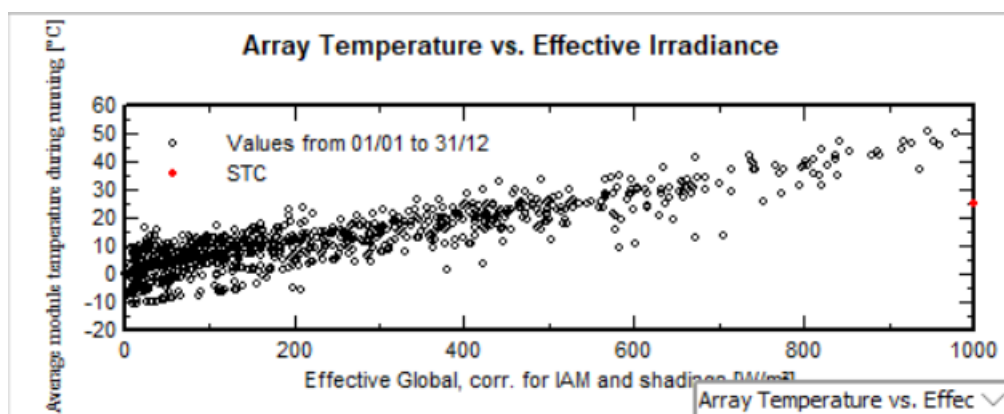


Рисунок 3.13 – Вплив температури навколишнього середовища на ефективність PV модулів

Щомісячна генерація електричної енергії, втрата електричної енергії системою та втрата PV модулів показано на рис. 3.14 та на рис. 3.15.

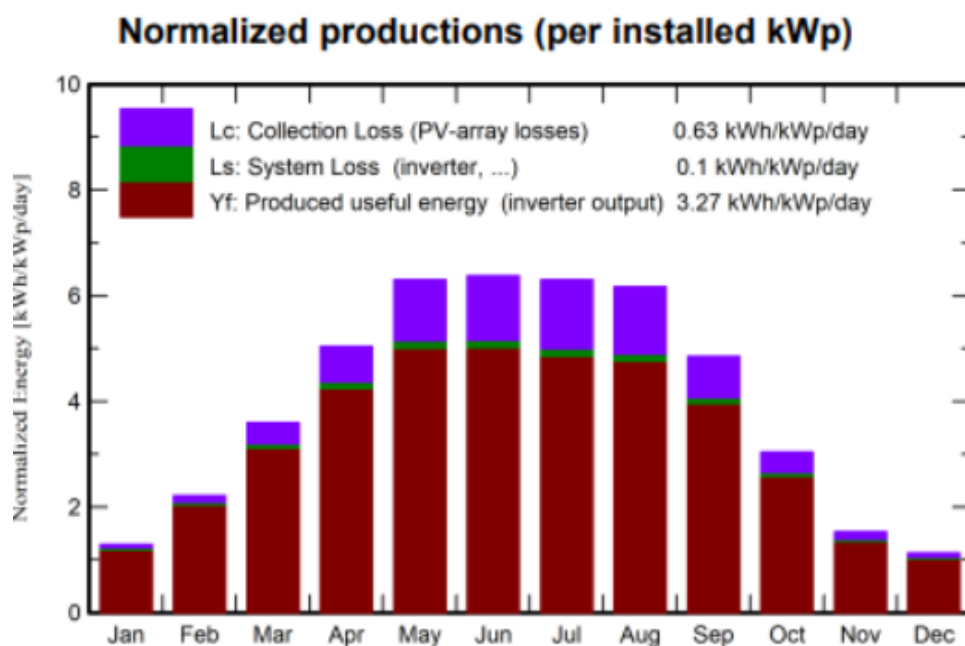


Рисунок 3.14 – Щомісячна генерація та втрата електричної енергії СЕС

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	28.0	20.30	-0.70	40.0	39.1	19130	18511	0.922
February	45.4	29.40	0.10	61.8	60.4	29473	28642	0.923
March	90.9	49.90	4.60	111.3	108.9	49844	48463	0.868
April	134.6	69.80	10.30	151.0	147.6	65741	63936	0.844
May	187.1	73.20	16.90	195.2	190.7	80091	77841	0.795
June	192.5	78.30	21.10	191.1	186.3	77727	75508	0.788
July	193.3	80.10	24.00	195.5	190.7	77803	75567	0.771
August	173.3	69.60	23.80	191.1	186.9	76270	74080	0.773
September	116.5	49.50	17.00	145.5	142.4	61344	59629	0.817
October	69.7	36.30	11.00	94.2	92.1	41358	40168	0.851
November	31.7	20.20	6.70	45.9	44.7	20934	20257	0.880
December	22.9	15.70	1.50	34.8	34.0	16455	15877	0.909
Year	1285.9	592.30	11.42	1457.4	1423.7	616170	598478	0.819

Рисунок 3.15 – Головні результати генерування та втрати сонячної електростанції

В таблиці 3.2, зображено основні результати генерування електроенергії СЕС по місяцях, із звіту моделювання програми PVsyst.

Таблиця 3.2 – Результати генерування електроенергії СЕС по місяцях

№	Місяць	кВт/год.	тис. грн.
1.	Січень	18511	48,87
2.	Лютий	28642	75,61
3.	Березень	48463	127,94
4.	Квітень	63936	168,79
5.	Травень	77841	205,50
6.	Червень	75508	199,34
7.	Липень	75567	199,50
8.	Серпень	74080	195,57
9.	Вересень	59629	157,42
10.	Жовтень	40168	106,04
11.	Листопад	20257	53,48
12.	Грудень	15877	41,92
13.	Всього	598478	1579,98

Розглянемо споживання електричної енергії по місяцях одного котеджу, показано в таблиці 3.3.

Таблиця – 3.3 Споживання електричної енергії по місяцях одного котеджу

№	Місяць	кВт/год.
1.	Січень	1538
2.	Лютий	1384
3.	Березень	957
4.	Квітень	855
5.	Травень	783
6.	Червень	747
7.	Липень	696
8.	Серпень	738
9.	Вересень	913
10.	Жовтень	1089
11.	Листопад	1374
12.	Грудень	1543
13.	Всього	12617

Оскільки загальна кількість котеджів 8 штук розрахуємо річне споживання котеджного містечка, та базове навантаження, дані розрахунків занесемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Річне споживання котеджного містечка та базового навантаження кВт/год

№	Місяць	кВт/год.	Базове	Сумарне
1.	Січень	12304	186000	198304
2.	Лютий	11072	174000	185072
3.	Березень	7656	186000	193656
4.	Квітень	6840	180000	186840
5.	Травень	6264	186000	192264
6.	Червень	5976	180000	185976

У таблиці 3.5 проілюстровано розрахунок періоду повернення капіталовкладень для СЕС на перспективу в 20 років.

Як ми бачимо за термін служби дана система окупиться за 15 років і принесе дохід інвесторам в обсязі 627,32 тис.грн.

Можемо порахувати окупність гібридної станції в комбінації СЕС, системи накопичення та МГЕС. Капітальні витрати по МГЕС та системі накопичення наведено на рисю 3.16.

Згідно даних DOE вартість 1 кВт встановленої потужності МГЕС у 2022 році становить 2881 доларів США див. рис. 3.16. Тоді вартість МГЕС 150 кВт становитиме 16637,775 тис.грн.

Average installation cost for hydropower worldwide from 2010 to 2022

(in U.S. dollars per kilowatt)

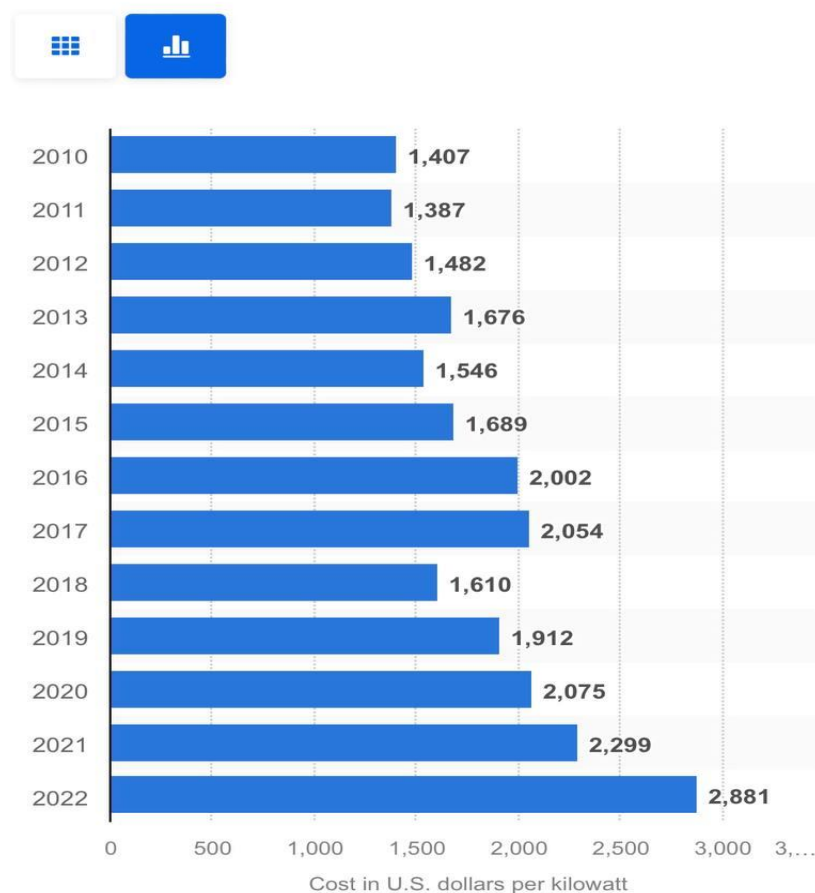


Рисунок 3.16 - вартість 1 кВт встановленої потужності МГЕС

Параметри СНЕ показано в таблиці 3.6, а її вартість становить 1537,890 тис. грн. СНЕ це BYD В-Box, літій-залізо-фосфатна (LiFePO_4) АКБ з системою керування "battery management system" (BMS) для використання з додатковим інвертором. Для моделювання використовувалося 5 таких систем.

Таблиця 3.6 – Характеристики BYD В-Box 10

Виробник	BYD
Країна	Китай
Тип акумулятора	LiFePO_4
Ємність акумулятора	200 А·год
Напруга	51.2 В
Кількість циклів заряду	6000
Гарантійний термін	10 років
Максимальний струм заряду	35 А
Мінімальна робоча температура	-10 °
Максимальна робоча температура	50 °
Матеріал корпусу	Метал
Тип клем	М6

Розрахунок проводимо в програмі Excel та заносимо до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Розрахунок окупності гібридної станції

Рік	Кап витрати, тис. грн	Експл. витрати, тис. грн	Економія, тис. грн	CF, тис. грн	Кумм CF, тис. грн	ki	NPV, тис. грн	Кумм диск CF, тис. грн
0	27126,915	0	0	-27126,9	-27126,9	1,00	-27126,92	-27126,92
1		1627,6149	6063,911	4436,296	-22690,6	0,87	3857,65	-23269,27
2		1627,6149	6063,911	4436,296	-18254,3	0,76	3354,48	-19914,79
3		1627,6149	6063,911	4436,296	-13818	0,66	2916,94	-16997,85
4		1627,6149	6063,911	4436,296	-9381,73	0,57	2536,47	-14461,39
5		1627,6149	6063,911	4436,296	-4945,43	0,50	2205,62	-12255,76
6		1627,6149	6063,911	4436,296	-509,138	0,43	1917,93	-10337,83
7		1627,6149	6063,911	4436,296	3927,158	0,38	1667,77	-8670,06
8		1627,6149	6063,911	4436,296	8363,454	0,33	1450,23	-7219,83
9		1627,6149	6063,911	4436,296	12799,75	0,28	1261,07	-5958,76
10		1627,6149	6063,911	4436,296	17236,05	0,25	1096,58	-4862,17
11		1627,6149	6063,911	4436,296	21672,34	0,21	953,55	-3908,62
12		1627,6149	6063,911	4436,296	26108,64	0,19	829,18	-3079,44
13		1627,6149	6063,911	4436,296	30544,93	0,16	721,02	-2358,42
14		1627,6149	6063,911	4436,296	34981,23	0,14	626,98	-1731,45
15		1627,6149	6063,911	4436,296	39417,53	0,12	545,20	-1186,25
16		1627,6149	6063,911	4436,296	43853,82	0,11	474,08	-712,17
17		1627,6149	6063,911	4436,296	48290,12	0,09	412,25	-299,92
18		1627,6149	6063,911	4436,296	52726,42	0,08	358,48	58,56
19		1627,6149	8776,6025	7148,988	59875,4	0,07	502,33	560,88
NPV =							560,88	

У таблиці 3.7 проілюстровано розрахунок періоду повернення капіталовкладень для гібридної станції на перспективу в 20 років.

Як ми бачимо за термін служби дана система окупиться за 18 років і принесе дохід інвесторам в обсязі 560,88 тис.грн. Це можливо лише завдяки зниженню собівартості сучасних технологій МГЕС.

Висновки до розділу 3

В цьому розділі було проведено моделювання схем гібридних систем електропостачання з ВДЕ, які було змодельовано з блоків схем в програмі MATLAB, та їхнє порівняння.

Результати моделювання першої гібридної системи, що включає в себе сонячні електростанції (СЕС) та мережу, показали, що потужність СЕС не є достатньою для повного забезпечення електроенергією котеджного містечка. Однак мережа може вирішити цю проблему, компенсуючи недостачу енергії. Термін окупності СЕС складає близько 15 років.

З аналізу другої гібридної системи, що включає малі гідроелектростанції (МГЕС), сонячні електростанції (СЕС) та накопичувачі, випливає, що ця конфігурація здатна повністю забезпечити електроенергією котеджне містечко, навіть при максимальному споживанні. Використання накопичувачів у другій схемі покращує ефективність системи, дозволяючи зберігати надлишкову енергію для використання в періоди зниженого виробництва. Як ми бачимо за термін служби дана система окупиться за 18 років і принесе дохід інвесторам в обсязі 560,88 тис.грн. Це можливо лише завдяки зниженню собівартості сучасних технологій МГЕС.

На відміну схеми 1 з некерованим джерелом РГ, схема 2 з кількома джерелами РГ, якими можна керувати є більш гнучкою а отже і більш ефективною у т.ч. і з економічної точки зору при енергозабезпеченні базового навантаження та навантаження котеджного містечка. Тому в розглянутих схемах гібридних систем, гібридна система, яка об'єднує сонячну електростанцію (СЕС) та малу гідроелектростанцію (ГЕС), може бути використана ефективніше та є кращим способом вироблення електроенергії, особливо в умовах різноманітних кліматичних умов та енергетичних потреб.

4. СТАРТАП-ПРОЕКТ

Ідея проекту

Проект передбачає розробку та впровадження гібридної системи електрозабезпечення для котеджного містечка, в якій поєднуються сонячна електростанція (СЕС) та мала гідроелектростанція (МГЕС). Метою цього проекту є забезпечення стабільного, ефективного та екологічно чистого електропостачання для жителів містечка. Гібридна система електрозабезпечення з використанням сонячної електростанції та малої гідроелектростанції є інноваційним та ефективним рішенням для забезпечення котеджного містечка сталим, чистим та ефективним електропостачанням. Переваги проекту включають сталість постачання, економічну вигоду, та позитивний вплив на довкілля, роблячи його привабливим та перспективним для реалізації. В таблиці 4.1 показано опис ідеї стартап-проекту.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Використання гібридної системи з ВДЕ для забезпечення потреб споживачів електроенергії	Населений пункт	Вартість електроенергії та безперебійність
	Підприємство	Вартість електроенергії та екологічність
	Стратегічний об'єкт	Надійність та безперебійність електропостачання

Таблиця 4.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Гібридна система електрозабезпечення	Сонячна електростанція Мала гідроелектростанція Енергетичний управлінський система	Сонячна енергія Гідроенергія Енергетичний управлінський система	Фотовольтаїчні технології Технології малих гідроелектростанцій Сучасні системи управління енергетикою

Таблиця 4.3 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3		
1.	Гібридна система з ВДЕ		Відсутній	Відсутній	Відсутній	Технічні ризики	Унікальність
2.	Технічний рівень та надійність системи		Відсутній	Відсутній	Відсутній		Сталість постачання
3.	Екологічні параметри		Відсутній	Відсутній	Відсутній		Екологічність

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Надійне електропостачання з ВДЕ	Котеджне містечко або підприємство	Тариф на електропостачання приваблює клієнтів, екологічність та безперебійність	Надійне електропостачання об'єктів

Потенційні клієнти для стартап-проекту з аналізу ефективності гібридних систем електрозабезпечення для котеджного містечка, використовуючи гібридну систему сонячної електростанції та малу гідроелектростанцію, охоплюють різноманітні сегменти. Розробники та інвестори, інтересовані у високоприбуткових та екологічно чистих енергетичних рішеннях, можуть забезпечити фінансову підтримку. Місцеві влади та комунітети сприймають проект як можливість зменшення залежності від традиційних джерел енергії та підвищення стійкості систем електрозабезпечення.

Розробники та власники котеджних містечок, враховуючи попит на екологічно чисте житло, можуть впроваджувати ці інноваційні системи для зниження енерговитрат та покращення іміджу. Організації з виробництва енергії спрямовані на розширення портфеля енергетичних проектів, відповідаючи на зростаючий попит споживачів.

Вимоги потенційних клієнтів включають фінансову підтримку, рентабельність та технічну стабільність системи. Очікується, що вони будуть позитивно сприймати екологічні аспекти проекту та будуть зацікавлені в застосуванні передових технологій у сфері відновлюваної енергії.

Стратегії просування включають інформаційні кампанії, співпрацю з місцевими органами та розробку фінансово привабливих умов для інвесторів. Пілотні проекти будуть важливим етапом для демонстрації ефективності систем та привертання уваги.

Налаштованість на мінімізацію фінансових та технічних ризиків включає в себе використання страхування та інших фінансових інструментів. Загалом,

інтеграція гібридних систем електрозабезпечення в енергетичний ландшафт для котеджних містечок може забезпечити стійке, ефективне та екологічно чисте електропостачання для різних клієнтів.

Таблиця 4.5 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Економічні ризики	Високі витрати	Витрати на обладнання
2	Екологічні аспекти	Зміна кліматичних умов	Негативна

Врахування та ефективне управління цими факторами загроз є критичним для успішної реалізації проекту. Ретельне аналізування та врахування ризиків дозволить розробити стратегії мінімізації впливу цих загроз, забезпечуючи стабільність та стійкість проекту в довгостроковій перспективі.

Таблиця 4.6 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
	Стійкість до коливань цін на енергоносії	Зменшити вплив коливань цін на традиційні види енергії	Забезпечуючи більшу економічну стійкість.
	Залучення фінансової підтримки та інвестицій	знаходять підтримку урядових та приватних ініціатив	Відкриває доступ до фінансових ресурсів та інвестицій

Таблиця 4.7 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Приватні компанії	їхня домінантність може ускладнити входження нового проекту	Інновації та Новаторство

На основі ступеневого аналізу можна визначити, що конкуренція на ринку гібридних систем електрозабезпечення є різноманітною та залежить від різних факторів. Для успішного входження в проект буде важливо враховувати та ефективно використовувати конкурентні переваги та мінімізувати негативний вплив факторів конкуренції.

Таблиця 4.8 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
	Екологічна Свідомість	Зростаючий інтерес до екологічно чистих рішень у сфері енергетики створює позитивний клімат для проектів, які сприяють зменшенню викидів та використанню відновлюваних джерел енергії.
	Технологічна Інноваційність	Високотехнологічні рішення, що використовують сучасні технології у відновлюваній енергетиці, мають потенціал вразити інвесторів та зацікавити споживачів.

Продовження таблиці 4.8

	Вартість та Ефективність	Економічна вигода та конкурентоспроможність в порівнянні з традиційними джерелами енергії можуть забезпечити привабливі умови для інвесторів та споживачів.
	Надійність та Стійкість	Гарантована постачаність електроенергії та стабільність роботи систем в разі змін у погодних умовах робить проєкт привабливим для потенційних клієнтів.

Об'єднуючи ці фактори, проєкт може стати привабливим для інвесторів, споживачів та інших зацікавлених сторін. Важливо ретельно обґрунтовувати кожен фактор у контексті конкретного ринку та його умов.

Таблиця 4.9 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Економічна вигода	10							+
2	Сприятливе Регулювання	9					+		
3	Високі Витрати на Впровадження	0	+						
4	Залежність від Погодних Умов	4							+

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін вказує на те, що проект має значний потенціал в сфері відновлюваної енергії, але вимагає уваги до фінансово-економічних та технічних викликів. Розробка стратегій для максимізації переваг та мінімізації недоліків буде ключовим етапом в успішному впровадженні проекту.

Таблиця 4.10 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Екологічна Свідомість Технологічна Інноваційність Стратегічні Партнерства	Слабкі сторони: Залежність від Погодних Умов Потреба в Інфраструктурних Змінах
Можливості: Використання відновлюваних джерел енергії сприяє створенню екологічно чистого образу проекту Використання передових технологій в галузі гібридних систем дозволяє отримати конкурентну перевагу. Встановлення партнерств з компаніями та організаціями може допомогти в розвитку та підтримці проекту.	Загрози: Нестабільність виробництва електроенергії в залежності від погодних умов може вплинути на ефективність проекту. Впровадження нових технологій може вимагати додаткових інфраструктурних змін та інвестицій.

SWOT-аналіз (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) дозволяє оцінити внутрішні та зовнішні аспекти стартап-проекту. Нижче представлений SWOT-аналіз для стартап-проекту з аналізу ефективності гібридних систем електрозабезпечення для котеджних містечок, використовуючи сонячну електростанцію та малу гідроелектростанцію.

Таблиця 4.11 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) рин-кової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
	Стратегічне Партнерство з Енергетичними Компаніями Глобальне Масштабування	Розпочати з впровадження пілотного проекту в обмеженому регіоні або котеджному містечку для тестування ефективності та прийняття виправлень.	5років

Під час вибору альтернативи важливо враховувати різні фактори, такі як ринкові умови, фінансові можливості, технічні вимоги та стратегічні цілі стартапу. Комбінація різних стратегій та уважне аналіз може допомогти максимізувати успіх проекту.

Таблиця 4.12 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
	Зосередження на розширенні проекту та збільшенні обсягів виробництва для досягнення економії масштабу.	Розширення діяльності на нові ринки та географічні області.	Підходить для ситуацій, коли існує великий попит на гібридні системи та можливості масового впровадження.	використання комбінації різних стратегій для досягнення комплексних результатів.

Висновки до розділу 4

Стартап-проект, спрямований на впровадження гібридної системи електрозабезпечення для котеджного містечка, представляє собою інноваційний підхід до забезпечення сталим, ефективним та екологічно чистим електропостачанням. Аналізуючи потреби ринку, ми визначили високий попит на альтернативні джерела енергії, особливо в таких житлових об'єктах як котеджні містечка.

Здійснюючи огляд технічно-економічних характеристик, ми впевнені у технічній виправданості та економічній вигоді запропонованого проекту. Сучасні технології сонячних електростанцій та малих гідроелектростанцій, спрощені системи моніторингу та управління, а також енергоефективні рішення дозволяють нам ефективно використовувати відновлювальні джерела енергії.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження з питань класифікації та особливостей функціонування різнотипних відновлювальних джерел енергії, а також порівняння загальних схем гібридних систем електропостачання, можна зробити наступні висновки.

Перш за все, важливо відзначити, що дослідження показало актуальність і необхідність розвитку гібридних систем, які використовують різноманітні джерела енергії. Особливий акцент в роботі був зроблений на гібридних системах, які включають сонячні електростанції та малі гідроелектростанції.

У контексті використання різних типів джерел енергії було виявлено, що взаємодія сонячних та гідроелектростанцій може значно покращити стабільність електропостачання та ефективність системи в цілому. Високий рівень варіабельності виробництва енергії від сонячних панелей компенсується більш стійким та передбачуваним виробництвом енергії від малих гідроелектростанцій, що створює більш надійну систему.

Додатково, порівняння результатів моделювання гібридних систем, де другою ключовою компонентою є мала гідроелектростанція, дозволило визначити оптимальні параметри таких систем для забезпечення оптимальної продуктивності та стабільності.

У підсумку, результати дослідження підтверджують перспективи використання гібридних систем сонячна електростанція + мала гідроелектростанція для надійного та стійкого електропостачання, що може бути особливо важливим в умовах високої варіабельності виробництва енергії від сонячних установок. Це дослідження вносить важливий внесок у розвиток відновлювальної енергетики та визначення оптимальних стратегій для забезпечення сталого розвитку енергетичних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The International Journal of Renewable Energy Development - (Int. J. Renew. Energy Dev.; p-ISSN: 2252-4940; e-ISSN:2716-4519, CODEN: IJREAC, OCLC: 830327507; LC: 2014252655)
2. Бакалін, Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент : навч. посіб. / Ю. І. Бакалін. – 3-тє вид., перероб. і доп. – Х. : Бурун і К., 2006. – 320 с.
3. Енергетика та системи керування : матеріали I Міжнародної конференції молодих вчених ERECS-2009, 14–16 травня, 2009 р., Львів / відп. за вип. О. Л. Березко. – Львів : Львівська політехника, 2009. – 84 с.
4. Денисюк С.П., Базюк Т.М., Федосенко М.М., Ярмолюк О.С. Системи електропостачання з активним споживачем: моделі та режими. – Київ: вид-во ПП «АВЕРС», 2017. – 182 с. ISBN 978-966-8777-18-9
5. GEA, 2012: Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
6. Ландау Ю.О., Сташук І.В. Значення гідроенергетики в розвитку ОЕС України відповідно до НЕС-2035 і екологічні виклики.// Гідроенергетика України, 1-2/2018.
7. Жаркін А.Ф., Павловський В.В, Лук'яненко Л.М. Електроенергетичні комплекси, системи та керування ними.// Техн. Електродинаміка 2012 №2
8. Кириленко О.В., Блінов І.І., Парус Є.В., Трач І.В. Оцінка використання систем накопичення електроенергії в електричних мережах.//Техн. електродинаміка. 2021.№4
9. Smart Grids and Microgrids: Technology Evolution. (2022). Сполучені Штати Америки: Wiley.

10. Lezama, F.; Palominos, J.; Rodríguez-González, A.Y.; Farinelli, A.; de Cote, E.M. Optimal Scheduling of On/O₂ Cycles: A Decentralized IoT-Microgrid Approach. In Applications for Future Internet; Springer: Berlin, Germany, 2017; pp. 79–90.
11. Marzband, M.; Azarinejadian, F.; Savaghebi, M.; Guerrero, J.M. An Optimal Energy Management System for Islanded Microgrids Based on Multiperiod Artificial Bee Colony Combined with Markov Chain. IEEE Syst. J. 2015
12. Литовченко В.Г., Стріха М.В. Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України / В.Г. Литовченко, М.В. Стріха. — К. : К.І.С., 2015 —40 с.
13. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлюваних енергоресурсів : монографія / А.В. Прокіп, В.С. Дудюк, Р.Б. Колісник; [за заг. ред. А.В. Прокіпа]. - Львів: ЗУКЦ, 2015. - 337 с. ISBN 978-617-655-1164
14. The XV International Scientific and Practical Conference «Multidisciplinary academic notes. Science research and practice», April 19 – 22, 2022, Madrid, Spain. 712 p.
15. International Energy Agency (IEA). "Hybrid Systems Analysis and Modeling." Доступно: <https://www.iea.org>
16. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України: вебсайт. URL:<https://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/potentsial> (дата звернення: 15.12.2023)
17. Кафедру електропостачання в КПІ ім. Ігоря Сікорського: вебсайт. URL: <https://ep.kpi.ua/uk/node/24>
18. Енергоджерела: вебсайт. URL: <https://enerhodzherela.com.ua/analitika/Перспективи-розвитку-гібридних-енергетичних-систем>
19. ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY: website. URL: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-performance-and-efficiency>