

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та
енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

«На правах рукопису»
УДК 621.311

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Д.Г. Дерев'янку

«___»_____ 2022 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

на тему: *«Підвищення рівня енергозабезпечення офісно-складського приміщення»*

Виконав:

студент 2-го року навчання, групи ОН-11мп

Вовк Антон Романович _____

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Веремійчук Ю.А. _____

Консультант з нормоконтролю:

Рецензент:

к.т.н., доцент, Алла БОСАК. _____

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

Студент _____

Київ – 2022 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»

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

В.о. завідувача кафедри

Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Вовку Антону Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема дисертації** «Підвищення рівня енергозабезпечення офісно-складського приміщення»

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Веремійчук Ю.А.,

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

затверджені наказом по університету від 09 листопада 2022 р. №4127-с

2. **Строк подання студентом дисертації** 15 грудня 2022 року

3. **Об'єкт дослідження** системи автономного енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії

4. **Предмет дослідження** методи та засоби підвищення рівня енергозабезпечення офісно-складського приміщення

Перелік завдань, які потрібно опрацювати:

- Провести аналіз напрямків застосування сучасних технологій в системах енергозабезпечення;
- Визначити технології та підходи реалізації інтелектуальних систем енергозабезпечення;

- Сформувати систему безперебійного забезпечення електроенергією офісно-складського приміщення.

5. Розробка стартап-проекту за результатами досліджень

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація,

7. Орієнтовний перелік публікацій Вовк А.Р. «ENERGY ACCUMULATION SYSTEM». Матеріали XXII міжнародної науково-практичної онлайн конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених. с.107-108. Дата проведення – 10 листопада 2021 року.

8. Консультанти розділів дисертації

9. Дата видачі завдання 30 травня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Отримання завдання	30.05.2022	
2	Аналіз літературних джерел	08.09.22-13.09.22	
3	Складання плану роботи	17.09.22-19.09.22	
4	Робота над першим та другим розділом	20.09.22-07.10.22	
5	Робота над третім розділом	10.10.22-20.10.22	
6.	Розробка стартап проекту	21.10.22-01.11.22	
7.	Оформлення дисертації	16.11.22-25.11.22	
8.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	26.11.22-10.12.22	
9.	Передзахист МД	09.12.22-12.12.22	
10.	Захист дисертації	19.12.22-21.12.22	

Студент

_____ (підпис)

А.Р. Вовк
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Ю.А. Веремійчук
(ініціали, прізвище)

Реферат

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 74 сторінки, у тому числі 63 сторінки основного тексту, 23 рисунки, 10 таблиць, переліку використаних джерел зі 30 найменувань.

Актуальність теми.

Міністерство енергетики затвердило на 2021 рік програму забезпечення надійності роботи електричних мереж, роботи такі як ремонт 46,76 тис. км повітряних ліній та 20,6 тис. трансформаторних підстанцій. У міністерстві наголошують, що 61% основного обладнання електропідстанцій та 4,95% від загальної довжини повітряних ліній електропередач в Україні повністю спрацювали свій ресурс[17]. Неналежний стан електромереж через які зазвичай розподіляють електроенергію обумовлює відсутність стабільного та надійного електрозабезпечення. Така ситуація вимушує кінцевого споживача переходити на автономну систему електрозабезпечення. Серед різних варіантів найбільш розповсюдженим є АСЕ з використання відновлювальних джерел енергії. Вибір на ВДЕ припадає завдяки зручності використання таких систем на відстані від основних магістралей електропостачання, відсутність викидів у навколишнє середовище, тобто вони є екологічно чистими, та при малому власному споживанні дозволяє отримувати додатковий прибуток.

Метою магістерської дисертації є підвищення рівня енергоефективності за рахунок вибору і встановлення автономних систем енергозабезпечення на основі відновлюваних джерел енергії.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні **завдання**:

- Провести аналіз напрямків застосування сучасних технологій в системах енергозабезпечення;
- Визначити технології та підходи реалізації інтелектуальних систем енергозабезпечення;

- Сформувати систему безперебійного забезпечення електроенергією офісно-складського приміщення.

Об'єкт дослідження.

Системи автономного енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії

Предмет дослідження.

Методи та засоби підвищення рівня енергозабезпечення офісно-складського приміщення

Наукова новизна одержаних результатів.

Одержали подальший розвиток підходу щодо забезпечення надійного і автономного електропостачання за рахунок інтеграції ВДЕ і СНЕ, що дозволяє підвищення рівня енергоефективності підприємства.

Практичне значення роботи. Полягає у підвищенні енергоефективності офісно-складського приміщення шляхом інтеграції ВДЕ та СНЕ до системи енергозабезпечення

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюднені:

XIV науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина», Науково-навчальний Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Дата проведення – 2-3 червня 2022 року.

Публікації: Вовк А.Р. «ENERGY ACCUMULATION SYSTEM». Матеріали XXII міжнародної науково-практичної онлайн конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених. с.107-108. Дата проведення – 10 листопада 2021 року.

Ключові слова: НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ.

Abstract

The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions, and a list of used sources. The total volume of the work is 74 pages, including 63 pages of the main text, 23 figures, 10 tables, and a list of used sources from 30 names.

Actuality of theme.

The Ministry of Energy approved for 2021 the program for ensuring the reliability of electrical networks, works such as the repair of 46.76 thousand km of overhead lines and 20.6 thousand transformer substations. The ministry emphasizes that 61% of the main equipment of electrical substations and 4.95% of the total length of overhead power lines in Ukraine have fully worked their resource [17]. The improper condition of the power grids through which electricity is usually distributed causes the lack of a stable and reliable power supply. Such a situation forces the final consumer to switch to an autonomous power supply system. Among the various options, the most widespread is ACE for the use of renewable energy sources. The choice of RES is due to the convenience of using such systems at a distance from the main electricity supply lines, the absence of emissions into the environment, i.e. they are environmentally friendly, and with low own consumption, it allows you to earn additional income.

The goal of the master's thesis is to increase the level of energy efficiency due to the selection and installation of autonomous energy supply systems based on renewable energy sources.

To achieve this goal, the following **tasks** were solved:

- To analyze directions of application of modern technologies in energy supply systems;
- Decide on the technologies and approaches to the implementation of intelligent energy supply systems;
- To create a system of uninterrupted supply of electricity to the office and warehouse premises.

Object of study.

Autonomous energy supply systems using renewable energy sources

Subject of study.

Methods and means of increasing the level of energy supply of office and warehouse premises

Scientific novelty of the obtained results.

We received further development of approaches to ensure reliable and autonomous power supply due to the integration of RES and SNE, which allows increasing the level of energy efficiency of the enterprise.

Practical meaning of work. It consists in increasing the energy efficiency of the office and warehouse space by integrating RES and SNE into the energy supply system

Approval of work results. The results of the master's thesis were published:

XIV scientific and technical conference, "Energy. Ecology. Human", Scientific and Educational Institute of Energy Saving and Energy Management, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". The date of the event is June 2-3, 2022.

Publications: Vovk A.R. "ENERGY ACCUMULATION SYSTEM". Materials of the XXII international scientific and practical online conference of higher education seekers and young scientists. p. 107-108. The date of the event is November 10, 2021.

Keywords: RELIABILITY OF ELECTRICITY SUPPLY, RENEWABLE ENERGY SOURCES, ENERGY STORAGE SYSTEMS.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
1 НАПРЯМИ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	14
1.1 Аналіз стану впровадження та використання відновлюваних джерел енергії.....	14
1.2 Переваги та впровадження технологій накопичення енергії	19
1.3 Аналіз технології автономного енергозабезпечення споживачів	32
Висновки до розділу 1	33
2 ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПІДХОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	35
2.1 Концепції та підходи щодо інтелектуалізації електроенергетичних систем	35
2.2 Оптимізація роботи гібридної система мікромережі (HMS).....	40
2.3 Аналіз інструментів для проектування системи енергозабезпечення об'єкта	43
Висновки до розділу 2	47
3 ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ ОФІСНО-СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ.....	49
3.1 Проектування СЕС для гібридної системи мікромережі об'єкта	49
3.2 Розрахунок ємності акумуляторних батарей для забезпечення електропостачання об'єкту	57
3.3 Вибір автономного джерела живлення.....	59
3.4 Підключення генератора	61

Висновки розділу 3.....	61
РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	63
4.1 Ідея стартап-проекту.....	63
4.2 Аналіз можливості запуску стартап-проекту	63
4.3 Особливості пелетного виробництва.....	65
4.4 Планові виробничі площі та електропостачання підприємства. 66	
4.5 SWOT-аналіз	68
Висновки розділу 4.....	69
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

Перелік умовних скорочень

- АКБ - Акумуляторна батарея;
- ВДЕ - Відновлювані джерела енергії;
- ККД - Коефіцієнт корисного дії;
- ОЕС - Об'єднана енергосистема;
- МЕА – Міжнародне енергетичне агентство;
- ЕЕ – Електрична енергія;
- ВЕС – Вітрова електростанція;
- СЕС – Сонячна електростанція;
- ГПА – Газо-поршневі апарати;
- ЕМ – Електромережа;
- ДБЖ – Джерело безперебійного живлення;
- АСЕ – Автономна система електрозабезпечення.

ВСТУП

Енергетична ефективність це не тільки про сам об'єкт, це про здатність держави самостійно забезпечувати, регулювати та розподіляти рівномірно ресурси між споживачами, це питання самостійності та незалежності країни на енергетичному фронті. Чим більш стабільна система електропостачання, чим вища якість переданої електричної енергії тим вищий загальний рівень «життя» країни.

На сьогоднішній день питання стабільного та безперебійного електропостачання постає як ніколи раніше. Через велику кількість застарілого обладнання (трансформаторні підстанції, розподільчі підстанції, лінії електропередач), кінцеві споживачі не отримують необхідну кількість електроенергії або ж отримують її неналежної якості. Через це зростає попит на автономні системи електрозабезпечення.

Відновлювальні джерела енергії зручні у використанні для досягнення мети автономності, так як на місцевості їх влаштування не потрібно ніяких комунікацій та підвозу палива. Також в процесі експлуатації вони не створюють викидів, що в свою чергу позитивно впливає на навколишнє середовище. В поєднанні з системами накопичення енергії (СНЕ), ВДЕ стають потужним інструментом для отримання енергетичної незалежності для будь-якого споживача електричної енергії.

Актуальність теми.

Міністерство енергетики затвердило на 2021 рік програму забезпечення надійності роботи електричних мереж, роботи такі як ремонт 46,76 тис. км повітряних ліній та 20,6 тис. трансформаторних підстанцій. У міністерстві наголошують, що 61% основного обладнання електропідстанцій та 4,95% від загальної довжини повітряних ліній електропередач в Україні повністю спрацювали свій ресурс[17]. Неналежний стан електромереж через які зазвичай розподіляють електроенергію обумовлює відсутність стабільного та надійного електрозабезпечення. Така ситуація вимушує кінцевого споживача

переходити на автономну систему електрозабезпечення. Серед різних варіантів найбільш розповсюдженим є АСЕ з використання відновлювальних джерел енергії. Вибір на ВДЕ припадає завдяки зручності використання таких систем на відстані від основних магістралей електропостачання, відсутність викидів у навколишнє середовище, тобто вони є екологічно чистими, та при малому власному споживанні дозволяє отримувати додатковий прибуток.

Метою магістерської дисертації є підвищення рівня енергоефективності за рахунок вибору і встановлення автономних систем енергозабезпечення на основі відновлюваних джерел енергії.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні **завдання**:

- Провести аналіз напрямків застосування сучасних технологій в системах енергозабезпечення;
- Визначити технології та підходи реалізації інтелектуальних систем енергозабезпечення;
- Сформувати систему безперебійного забезпечення електроенергією офісно-складського приміщення.

Об'єкт дослідження.

Системи автономного енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії

Предмет дослідження.

Методи та засоби підвищення рівня енергозабезпечення офісно-складського приміщення

Наукова новизна одержаних результатів.

Одержали подальший розвиток підходів щодо забезпечення надійного і автономного електропостачання за рахунок інтеграції ВДЕ і СНЕ, що дозволяє підвищення рівня енергоефективності підприємства.

Практичне значення роботи. Полягає у підвищенні енергоефективності офісно-складського приміщення шляхом інтеграції ВДЕ та СНЕ до системи енергозабезпечення

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюднені:

XIV науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина», Науково-навчальний Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Дата проведення – 2-3 червня 2022 року.

Публікації: Вовк А.Р. «ENERGY ACCUMULATION SYSTEM». Матеріали XXII міжнародної науково–практичної онлайн конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених. с.107-108. Дата проведення – 10 листопада 2021 року.

Ключові слова: надійність електропостачання, відновлювальні джерела енергії, системи накопичення енергії.

1 НАПРЯМИ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

1.1 Аналіз стану впровадження та використання відновлюваних джерел енергії

Загалом міжнародне енергетичне агентство (МЕА) виділяє такі види відновлювальних джерел: енергія біомаси, геотермальна енергія, гідроенергія, енергія океану, сонячна енергія, енергія вітру. ВДЕ пропонують найефективніший метод зменшення споживання енергії, і виробники в усьому світі впроваджують унікальні способи використання відновлюваної енергії з цією метою.

В Україні, як і в європейських країнах, діє система стимулювання розвитку відновлюваної енергетики. Ця система включає номіновані в євро «зелені» тарифи, диференційовані за типом та потужністю об'єктів, а також за строками введення в експлуатацію об'єктів енергетики. Держава зобов'язується купляти у станцій ВДЕ електроенергію за «зеленим» тарифом до 2030 року.

Встановлені потужності генерації електроенергії з відновлюваних джерел становлять 10219 МВт. Вони генерують приблизно 8% електроенергії, що споживається в Україні, хоча у нас один з найбільш вигідних «зелених» тарифів серед європейських країн.

«Зелений» тариф – один із способів підтримки генерації з ВДЕ, що використовувався у десятках країн. Його суть у тому, що оператор ринку викуповує енергію з ВДЕ за спеціальною підвищеною ціною.

Розвиток ВДЕ в Україні загалом спрямований на сприяння залученню інвестицій у розвиток сфери відновлюваної енергетики України, тобто на будівництво електростанцій, що працюють на ВДЕ.

Відновлювальна енергетика поділяється на декілька напрямків:

Вітрова енергетика – Існуючі на сьогоднішній день в Україні потужності вітрових електростанцій перевищують 51 МВт, а з моменту,

коли запрацювала перша вітчизняна вітрова електростанція, вироблено понад 80 млн кВт·год. електроенергії. За оцінками фахівців, загальна потенційна потужність української вітроенергетики становить 5000 МВт. Узбережжя Чорного та Азовського морів, гористі райони Кримського півострова (особливо північно-східне узбережжя) і Карпат, Одеська, Херсонська, Запорізька, Донецька, Луганська і Миколаївська області найбільш підходять для будівництва вітрових електростанцій. Тільки потенціал Криму достатній для виробництва більш ніж 40 млрд кВт·год. електроенергії щороку.

Підраховано, що за нинішнього рівня розвитку вітроенергетики спорудження у «вітряних» регіонах України вітрових електростанцій (ВЕС) дозволило б покрити ледве не третину потреби електроенергії, яку ми споживаємо. Із технічної точки зору вітрова електроенергетика на сьогодні вже впритул наблизилася до традиційної: на сучасних вітрових турбінах коефіцієнт використання встановленої потужності сягає 42 відсотків.

Сонячна енергетика – У 2020 році встановлена потужність ВЕС та СЕС зросла на 41%, а їхня частка у структурі виробництва електроенергії – вдвічі.

Найбільше зросла встановлена потужність СЕС, пік виробництва яких у весняно-літній період припадає на години денного зниження споживання (з 12:00 до 17:00), що потребує гнучких інструментів для їхнього балансування.

В.о. Міністра енергетики Ольга Буславець і Надзвичайний і Повноважний Посол Королівства Данія в Україні Оле Егберг Міккельсен обговорили перспективи продовження роботи Українсько-Данського енергетичного центру, реалізацію проєктів «зеленої» енергетики та енергоефективності, зокрема - будівництво офшорних вітрових електростанцій та потужностей із виробництва водню.

У липні 2020 року група «Нафтогаз» запустила сонячну електростанцію (СЕС) «Андріївка» у Балаклійському районі Харківської області.

Компанія UDP Renewables ввела в промислову експлуатацію нову сонячну електростанцію «Терслав» на території Обухівської селищної ради, Дніпропетровської області.

Станом на жовтень 2020 року кількість сімей, що використовують «чисту» електроенергію, сягнула 27 623. Загальна потужність сонячних електростанцій приватних домогосподарств склала 712 МВт.

Гідроенергетика – В енергетичному комплексі України гідроелектростанції посідають третє місце після теплових та атомних. Сумарна встановлена потужність ГЕС України нині становить 8 % від загальної потужності об'єднаної енергетичної системи країни. Середньорічний виробіток електроенергії гідроелектростанціями дорівнює 10,8 млрд кВт·год. Встановлено, що економічні та технічні можливості використання гідроенергоресурсів України дорівнюють близько 20 млрд кВт·год., а нині використовується не більше 50 %. Основний використовуваний потенціал зосереджений на ГЕС Дніпровського каскаду (потужність — 3,8 ГВт, виробіток — 9,9 ГВт·год): Дніпровська ГЕС, Київська ГАЕС (гідроакумуюча), Ташлицька ГАЕС.

Окрім ГЕС і ГАЕС, в Україні нині експлуатуються 49 так званих малих ГЕС, які виробляють понад 200 млн кВт·год електроенергії. Але вони мають недоліки: швидке зношення обладнання, пошкодження споруд напірного фонтана, замулення водосховищ, недостатнє використання засобів автоматики та контролю.

Воднева енергетика – В травні 2019 року інновації у водневій енергетиці та перспективи їх впровадження в Україні розглянув Голова Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України Сергій Савчук із представниками потужної японської компанії «Asahi Kasei»[37] та енергетичної асоціації «Українська воднева рада». Зустріч стала продовженням перемовин, розпочатих із компанією у квітні 2019 року на найбільшій водневій та енергетичній виставці Європи «Hydrogen + Fuel Cells Europe» у Ганновері (Німеччина)

Біоенергетика – В Україні існує високий потенціал біогазу. В Україні мало прикладів впровадження біогазових технологій. Перша з активних повномасштабних біогазових установок на відходах тваринництва була побудована в 1993 році на свинофермі «Запоріжсталь». Після цього були запуснені біогазові установки компаній "Агро-Овен", "Еліта", "Українська молочна компанія". Станом на 2012 рік на базі сільськогосподарських підприємств в Україні функціонували чотири біогазові заводи.

Аграрний сектор України, що виробляє великі обсяги органічних відходів, потенційно має ресурси для виробництва біогазу, який здатний замінити 2,6 млрд. м³ природного газу на рік. З подальшим розвитком сільського господарства та широким використанням зеленого матеріалу (силос, трава) цей потенціал можна розширити за різними оцінками від 7,711 до 1812 млрд. м³ природного газу на рік. У першому випадку передбачається використовувати 6% орних земель (50% покинутих земель) в Україні для вирощування кукурудзяного силосу для біогазу з консервативним виходом 30 т / га. Частка біогазу з силосу кукурудзи забезпечить 53,0% загального потенціалу; біогаз з побічних продуктів та рослинних залишків - 5,7%; біогаз з побічних продуктів та відходів харчової промисловості - 5,3%; і біогаз з відходів тваринництва - 36%. Другий варіант з вищим прогнозом передбачає використання 7,9 млн. га землі для вирощування кукурудзи для біогазу з урахуванням підвищення продуктивності.

Потенціал для виробництва біогазу на існуючих сільськогосподарських підприємствах України, а також вирощування силосу кукурудзи для виробництва біогазу на 50% вільної орної землі (з виходом 40 тон зеленої маси на 1 га і вихід біогазу 180 м³/т).

Геотермальна енергетика – Прогнозні експлуатаційні ресурси термальних вод України за запасами тепла еквівалентні використанню близько 10 млн т у.п. на рік.

Серед перспективних районів для пошуків і розвідки геотермальних ресурсів знаходиться Донецький басейн. Геотермальні електростанції

завжди географічно «прив'язані» до районів геотермальних родовищ. Крім того, Дніпровсько-Донецька западина може розглядатися як перспективний район з геотермальними ресурсами. Техніко-економічний аналіз показав, що на базі нафтових та газових свердловин ДДЗ можна побудувати геотермальні електростанції з глибиною буріння або розкриття свердловин до 3 - 4,5 км. На таких глибинах 90% теплового потенціалу геотермальних вод у продуктивних нафтогазоносних горизонтах карбонів не перевищує 108 ° С. У цьому випадку заміна органічного палива та електроенергії теплом геотермальних вод та гірських порід набагато вигідніше для забезпечення теплом та опаленням (у 3 - 5 разів). Дві свердловини з глибини карбонів родовищ можуть забезпечити 0,4 - 4,5 МВт теплової енергії.

Значні масштаби розвитку геотермальної енергетики в майбутньому можливі лише при одержанні теплової енергії безпосередньо з гірських порід (петрогеотермальна енергія). В цьому випадку теплоносій визначеного потенціалу утворюється в результаті теплообміну води, яка нагнітається при контакті у тріщині, з високотемпературними гірськими породами в зоні природної чи штучно створеної проникності з наступним виведенням теплоносія на поверхню.

Частка виробництва електричної енергії з відновлювальних джерел у загальному річному обсязі становить 7,3% (Рисунок 1.1).

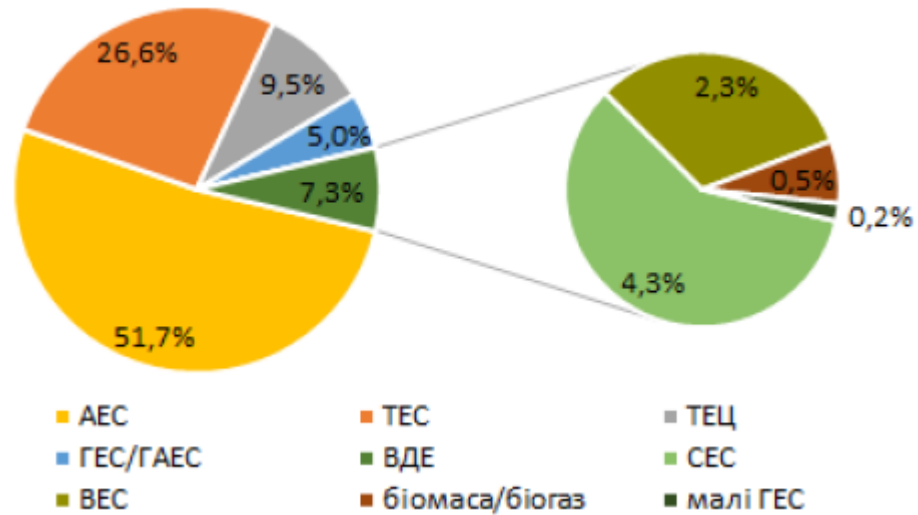


Рисунок 1.1 – Частка виробництва електроенергії з ВДЕ у загальному річному обсязі

Динаміка кількості суб'єктів господарювання що виробляють ЕЕ з ВДЕ наведено нижче (Рисунок 1.2).

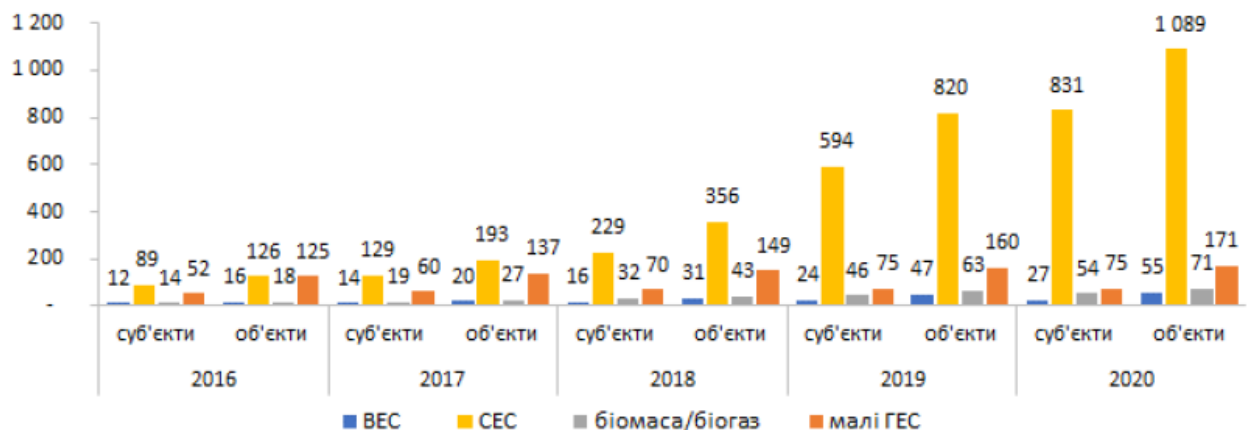


Рисунок 1.2 – Динаміка кількості суб'єктів господарювання що виробляють ЕЕ з ВДЕ

1.2 Переваги та впровадження технологій накопичення енергії

Системи накопичення електроенергії (СНЕ) є одним з самих швидкозростаючих секторів електроенергетики, за 10 років сектор зріс у 48 разів, середньорічні темпи зростання склали 47%. Крім того, приблизно до

1 ГВт невеликих накопичувачів в сумі встановлені у споживачів «за лічильником». Цей сегмент почав показувати надвисокі темпи зростання останні 3 роки, і за прогнозом, Об'єм накопичувачів «за лічильником» буде зростати випереджаючими темпами до 2021 року, обсяг сумарної потужності цього сегмента накопичувачів перевищить 50% від загального обсягу встановлених у світі накопичувачів. За різними прогнозами, до 2024-2025 р. ринок накопичувачів досягне в світі від 50 до 100 ГВт, за прогнозами Bloomberg NEF, до 2040 сумарна потужність накопичувачів перевищить 1 ТВт.

Спочатку причиною підвищення інтересу до СНЕ стали прогнози зростання частки ВДЕ у сучасній енергетиці. В результаті виникли дві проблеми, які передбачається вирішити за допомогою СНЕ:

Пік вироблення ВДЕ не збігається з піком споживання, при цьому з'являється надлишок генеруючої потужності в певні періоди. СНЕ дозволяють усувати добовий дисбаланс між виробленням ВДЕ і попитом на електроенергію, і, тим самим, дозволити збільшувати і надалі частку ВДЕ в балансі енергосистеми.

Різкі скидання потужності (зокрема у вітрових електростанціях) призводять до погіршення якості електроенергії, різкої зміни напруги, і формують потребу у «швидкому» резерві потужності. Так, Електрохімічні СНЕ мають значно коротший час відгуку, ніж традиційна теплова генерація.

Регулювання частоти є на даний момент першим значним ринковим механізмом, куди були допущені СНЕ, і він насамперед спровокував зростання обсягів будівництва і введення в експлуатацію таких систем в останні роки.

Умови для участі в регулюванні частоти накопичувачами були створені в США, Великобританії і Німеччині.

У США накопичувачам було надано окремий сегмент ринку системних послуг так званого швидкореагуючого обладнання. У роботі [1] автори приходять до висновку, що МВт швидко реагуючого резерву, яким є

електрохімічний СНЕ, може замінити 1,72 МВт резерву потужності гідроелектростанції 29 МВт потужностей паросилових станцій (Таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Співвідношення МВт швидкореагуючого резерву (Накопичувача)

Види генеруючих потужностей	Середня швидкість наростання (% від загальної потужності в хвилину)	Заміна на 1 МВт швидкого регулювання (Необмежена тривалість)	Заміна на 1 МВт швидкого регулювання (тривалість до 15 хв)
Гідроелектростанція	32,0 %	1,72	1,43
Газотурбінна станція	20,4 %	2,70	2,24
Теплоелектростанція	2,0%	27,50	22,84
Паросилова станція	1,9%	28,94	24,04

На підставі цього висновку регулятор ухвалив рішення про виділення окремого сегменту швидкореагуючих потужностей з більше високою ціною. Накопичувачу було надано можливість купувати електроенергію по ціні оптового ринку для заряду накопичувача (ця можливість існує не во всіх країнах, так, у Німеччині накопичувачі звільняються від сплати мережного тарифу лише на 20 років з моменту введення в експлуатацію). Однак згодом регулятор дещо погіршив умови для накопичувачів, підвищивши вимоги до питомий енергоемності установки. Аналогічні погіршення умов сталися на ринку Великобританії, де накопичувачі отримали доступ також на ринок потужності, ринок системних послуг та балансуєчий ринок. У результаті, об'єм введень накопичувачів для цілей регулювання частотизнизився, однак крок регулятора, «простимулював» накопичувачі на ринку системних послуг, дав потужний поштовх розвитку галузі, що сприяло зниженню цін і відпрацювання технологій.

З появою ВДЕ і просьюмерів (тих, хто самі генерують для себе електроенергію) в системі виникла велика волатильність (мінливість). Чим більше волатильність, тим більш гнучкою повинна бути система. Для будь-якої енергосистеми важливі два показники: адекватність і гнучкість. Адекватність - показник наявних генеруючих потужностей і їх можливості задовольнити попит. Гнучкість - це здатність швидко змінювати потужність так, щоб відповідати зростанню споживання, або можливість змінювати споживання так, щоб воно відповідало потужності. Проблема енергосистеми України - це її негнучкість. Основне навантаження в Україні несуть теплові та атомні станції. [2]

Розширення впровадження СНЕ пов'язано з рядом особливостей розвитку ЕМ. Йдеться про збільшення частки ВДЕ з різкими коливаннями обсягів відпуску ЕЕ, зростанням вимог до режимів електроспоживання та стрімким зменшенням вартості СНЕ. Переважна більшість запропонованих рішень орієнтована на оптимізацію режимів ЕМ з використанням СНЕ як засобу уникнення реконструкції системи передачі або розподілу ЕЕ в комплексі з іншими технічними рішеннями, а також забезпечення балансування обсягів виробництва і споживання ЕЕ в умовах обмеженої пропускної спроможності ЕМ. Наприклад, в розподільних ЕМ зі значною часткою ВДЕ використовувати СНЕ задля підтримання напруги в нормованому діапазоні. В дослідженні як цільову функцію запропоновано використовувати втрати активної потужності в ЕМ, а в цільова функція визначає тривалість резервування ЕЕ СНЕ з урахуванням обмеженої величини накопичення ЕЕ в СНЕ. Підвищення надійності електропостачання споживачів покладено в основу методики, запропонованої в, де виконується мінімізація недовідпуску ЕЕ (показник ENS). Відомі також дослідження впливу СНЕ на динамічну стійкість енергосистеми. Запропоновані методи спрямовано на вирішення окремих режимних чи техніко-економічних проблем та прив'язуються до існуючих технологічних можливостей СНЕ. Подальше зниження вартості СНЕ та

розширення їхніх функціональних можливостей призведе до потреби у створенні нових методів пошуку оптимальних рішень використання СНЕ. При цьому наведені критерії економічної ефективності віднесено до функціонування ЕМ та не відображають рівень інвестиційної привабливості запропонованих рішень. [3]

У світовій практиці існує чотири способи забезпечення гнучкості енергосистеми:

1. Інтерконектор-перетоки з іншими країнами

У Європі система інтерконекторів-перетоків становить основу загальноєвропейської мережі ENTSO-E. Її учасники допомагають балансувати енергосистему. З часів СРСР у Україні залишився інтерконектор з Росією і Білоруссю, але Україна планує від'єднатися від цього перетікання і приєднатися до мережі ENTSO-E.

2. Demand response management

Demand response management (DRM) - це управління навантаженням. У країнах, де працює DRM, споживач (або промисловий об'єкт) отримує оплату за зміну графіка споживання електроенергії.

3. Маневрова генерація

Маневрена генерація передбачає використання газових турбін або газопоршневих агрегатів (ГПА) для балансування системи.[6]

4. Системи накопичення енергії

Наразі, існують різноманітні технології СНЕ, зокрема:

- твердотільні акумулятори – ряд електрохімічних накопичувачів, у тому числі сучасні хімічні акумулятори та конденсатори;
- проточні акумулятори – акумулятори, в яких енергія накопичується безпосередньо в розчині електроліту для збільшення терміну служби і миттєвого спрацювання;

- маховики – механічні пристрої, що використовують енергію обертання для миттєвої подачі електричного струму;
- система зберігання енергії на основі стисненого повітря
- сховище теплової енергії – акумулювання тепла і холоду для створення енергії на вимогу та її виділення в зручний для споживачів час;
- насосна гідроакумулювальна електростанція – створення та зберігання енергії з використанням двох резервуарів із водою, розташованих на різних висотах;
- гравітаційні накопичувачі енергії – пристрої, які генерують електрику, випускаючи у разі потреби важкий вантаж із певної висоти;
- системи зберігання енергії на основі перетворення енергії на газ (водень, біометан, синтез-газ тощо).[2]

Якщо розглядати інші технології, то найбільш популярною технологією в електричних системах є літій-іонні батареї, які відповідно до інформації на сайті Інституту Вивчення Навколишнього Середовища та Енергії (Environmental and Energy Study Institute) і станом на початок 2019 року займали частку 90% на ринку СНЕ для електромереж. Проекти промислових СНЕ на базі літій-іонних батарей наразі вже перевищують 50 МВт, а у планах, зокрема у США, є СНЕ встановленою потужністю навіть 300 МВт (відповідно до інформації на сайті GetMarket). Ці технології використовуються для регулювання енергетичних систем, зокрема у субсекундному режимі, та зменшення впливу від піків електроенергії, вироблених сонячними та вітровими електростанціями.[5]

Літій-іонні батареї вуглецево-нейтральні (на відміну від ГПА і турбін) й універсальні. Батарея може надавати кілька послуг і працювати одночасно на декількох ринках, що максимізує дохідну частину і інвестиційну

привабливість проекту. Батареї забезпечують найвищу маневреність при високій швидкості набору і розвантаженні потужності. Жоден інший вид ресурсного об'єкта в енергосистемі на це не здатний.

Єдиний недолік - висока вартість. Але ми бачимо істотне зниження цін на СНЕ (за останні 10 років вартість за МВт·год впала на 89%), і ця тенденція буде продовжуватися. Схожа ситуація раніше спостерігалася на ринку сонячних панелей.[6]

Можливості СНЕ дозволяють вирішувати ряд завдань, характерних як об'єктів, підключених до єдиної енергосистеми, так об'єктів в автономних енергосистемах.

Використання СНЕ дозволяє:

- підвищити робочу продуктивність;
- підвищити надійність енергосистеми;
- підвищити ефективність використання поновлюваних джерел енергії;
- забезпечити регулювання балансу генерації та споживання;
- зменшити необхідну потужність підключення до мережі;
- зменшити втрати;
- забезпечити доступність енергії у разі переривання живлення від первинних джерел;
- підвищити ресурс генераторних агрегатів за рахунок експлуатації оптимальному режимі;
- забезпечити потрібні показники якості електроенергії.

Функції, що виконуються СНЕ, поділяються на 3 класи :

Клас А. Функції, що передбачають короточасне використання СНЕ, у якому установка споживає/видає необхідну енергію протягом короточасного робочого циклу (робочий цикл СНЕ триває менше 1 години);

Клас В. Функції, які передбачають тривале використання СНЕ, при якому установка споживає/видає необхідну енергію протягом тривалого робочого циклу (робочий цикл СНЕ триває більше 1 години);

Клас С. Функції резервного джерела живлення в аварійному режимі, коли

основне джерело живлення недоступне.

Відповідно до наведеної класифікації функцій СНЕ на класи поділяються і завдання, які вирішуються за допомогою систем накопичення енергії.

Завдання класу А

- А1. Регулює частоту в енергосистемі (при потужності СНЕ, порівнянної з потужністю енергосистеми).
- А2. Регулювання напруги (у тому числі запобігання лавині напруги)
- А3. Компенсація короткострокових піків та провалів потужності (наприклад, при пускових процесах двигунів).
- А4. Обмеження швидкості зміни потужності навантаження генераторів.
- А5. Компенсація реактивної потужності (залежно від ситуації може ставитись і до завдань класу В).
- А6. Функції активного фільтра: компенсація вищих гармонік струму, компенсація несиметрії фаз трифазної системи.

Завдання класу В

- В1. Вирівнювання графіка навантаження за рахунок забору енергії з мережі в період малого завантаження та віддачі протягом піків споживання.
- В2. Вирівнювання графіка генерації (зазвичай – генерації на основі відновлюваних джерел енергії).

- В3. Тарифний арбітраж рахунок накопичення енергії під час низького тарифу і віддачі під час високого тарифу.
- В4. Забезпечення оптимального завантаження генератора рахунок споживання надлишкової потужності і видачі недостатньої.

Завдання класу С

- С1. Забезпечення безперебійного електропостачання споживачів І категорії та І категорії особливої групи (у тому числі з відключенням 53 неперіоритетних споживачів для більш тривалої підтримки живлення пріоритетних споживачів).
- С2. Забезпечення живлення споживачів, чутливих до коливань частоти та/або напруги, рахунок переходу в автономний режим при виході контрольованих параметрів у мережі за допустимі межі.
- С3. Забезпечення живлення споживачів на годину прогрівання та запуску генератора холодного резерву в аварійній ситуації.

Система накопичення енергії – багатофункціональний пристрій. СНЕ (при відповідній комплектації, конструкції та системі управління) здатна виконувати широкий набір функцій, що відносяться до одного або кількох класів, причому активні та реактивні потужності, що видаються СНЕ, можуть регулюватися незалежно один від одного. Цим обумовлений синергетичний ефект застосування накопичувачів в енергосистемі [7]. Обґрунтування необхідності впровадження СНЕ до системи енергозабезпечення споживача

Ключовою відмінною особливістю накопичувачів є можливість брати участь у виконанні кількох завдань або виконувати ряд функцій у рамках різних сегментів електроенергетичного ринку. Ця особливість дозволяє отримати інтегральний ефект та забезпечити окупність інвестицій у проекти СНЕ. Вартість СНЕ в справжнє час є досить високою, і використання їх для

вирішення лише одного завдання в більшості випадків не направляє до окупності інвестицій. Однак при «багатофункціональному» використанні СНЕ отримуваний економічний ефект суттєво покращується.

Нижче в таблиці наведено перелік завдань (функцій), які здатні виконувати СНЕ в залежності від місця установки в енергосистемі (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Список функцій, виконуваних СНЕ

Функціонал	Генератор	Оп. ринок	Розподіл мережі	«Залічильник ом»	Потенційний об'єм ринку	Рентабельність ніші застосування
Первинне регулювання частоти	+	+	+	+	1-1,5 ГВт х 0,2 год	+++
Вторинне регулювання	+	+	+	+	1-1,5 ГВт х 1 год	++++
Третинний резерв	+	+	+	+	2-4 ГВт х 8 год	+
Пікова генерація	+	+	+	+	8 ГВт х 8 год	+
Ціновий арбітраж	+	+	+	+	<10 ГВт х 10 год	+
Відтермінування інвестицій в мережеве будівництво	н/в	н/в	+	+	>10 ГВт х 4 год	++++
Зниження потужності при під'єднанні	н/в	н/в	+	+	>10 ГВт х 4 год	+++
Зниження затрат на постачання до споживача	н/в	н/в	н/в	+	<10 ГВт х 1 год	++++
Забезпечення безперебійності енергопостачання споживача	н/в	н/в	н/в	+	>20 ГВт х 1-4 год	+
Збільшення ефективності малої та розподільчої генерації	н/в	н/в	+	+	>10 ГВт х 1-4 год	+++
Інтеграція СНЕ у споживача	н/в	н/в	н/в	+	>1 ГВт х 4-8 год	+
Інтеграція СНЕ у енергосистему	+	+	+	+	н/в	+

Продовження таблиці 1.2

Інтеграція швидких зарядних станцій	н/в	н/в	+	+	н/в	+
Стабілізація напруги та компенсація реактивної потужності	н/в	н/в	+	+	н/в	+
Запуск генерації після аварії	+	н/в	н/в	н/в	н/в	+

Умовні позначення:

++++ - висока рентабельність - можливість окупити в даному сегменті від 75% до 100% капітальних витрат на встановлення СНЕ;

+++ - середня рентабельність - можливість окупити від 50 до 75% капітальних витрат на встановлення СНЕ;

++ - помірна рентабельність - можливість окупити від 25 до 50% капітальних витрат на встановлення СНЕ;

+ - низька рентабельність - можливість окупити менше 25 % капітальних витрат на встановлення СНЕ.

Можна, можливо виділити 4 моделі застосування накопичувачів в енергосистемі:

« системні » накопичувачі » - Великі накопичувачі, працюючі в складі електроенергетичної системи, як правило, з можливістю видачі потужності або накопичення електроенергії в магістральні мережі або мережі високого напруги. Такі накопичувачі можуть: брати участь в первинному і вторинному регулюванні частоти; згладжувати піки та регулювати завантаження магістральних ліній електропередач і впливати на режими роботи мереж (брати участь в забезпеченні статичної і динамічної стійкості); для систем і енергооб'єднань з великим обсягом ВДЕ накопичувачі можуть забезпечити режим додаткового обсягу вироблення ВДЕ і вирішити проблеми з якістю електроенергії що видається в мережу.

"Системні" накопичувачі фактично є альтернативою пікової генерації, і їх економіка визначається можливістю конкурувати з великими системними

електростанціями. При цьому накопичувач, на відміну від теплової генерації, очевидно, має обмеження за часом видачі потужності (хоча і в традиційних ГЕС в певні періоди часу є подібні обмеження), в той же час у накопичувача (у залежності від застосовуваної технології) є ряд технологічних переваг, зокрема, швидкість скидання і накопичення навантаження.

Накопичувачі, встановлені в розподільчих мережах, додатково до перерахованого вище функціоналу, можуть:

- забезпечувати розвантаження центрів живлення розподільчих мереж;
- забезпечувати додаткову надійність в режимі джерела безперебійного живлення в випадку відключення елементів мереж високої напруги, а також при короткострокових перериваннях електропостачання;
- підвищувати якість електроенергії, стабілізувати напругу.

Накопичувачі, що перебувають безпосередньо у споживача, мають ще більше широкий функціонал. Додатково до описаних вище функцій вони можуть:

- забезпечувати безперебійність безпосередньо у споживача при аваріях в мережі;
- забезпечити якість електроенергії для живлення обладнання споживача в залежності від його чутливості до безперервності технологічних процесів;
- забезпечити додаткову пікову потужність без необхідності звернення за технологічним приєднанням до ОСР;
- за наявності ВДЕ або іншого виду розподіленої генерації, дозволяє мінімізувати/виключити перетікання у зовнішню мережу та оптимізувати режими роботи власної генерації, продовжуючи її ресурс та підвищуючи ККД.

«Гібридний генератор» - накопичувач, що знаходиться безпосередньо на балансі електростанції. Такий накопичувач може підвищити ефективність роботи станції, збільшити точність графіку навантаження.

Ефективність такої моделі залежить від типу потужності, що генерує. Можна умовно виділити чотири групи рішень:

- накопичувач в складі великої "системної" станції;
- накопичувач у складі невеликої або локальної станції (зокрема, газопоршневої станції);
- накопичувач у комбінації зі станцією з високою вартістю паливного складника (дизель-електричної станції);
- накопичувач у складі об'єкту ВДЕ (вітрова електростанція, сонячна електростанція).

Крім цього, окремо можна виділити бізнес-ідею застосування накопичувачів в ізолюваних і малих енергосистемах і в так званих «мікромережах».

Як ми бачимо, накопичувач, встановлений безпосередньо у споживача, має найбільш широкий функціонал, однак, для рішення завдань в інтересах енергосистеми необхідно технологічно забезпечити узгоджену роботу великої кількості розподілених по споживачам накопичувачів. І, навпаки, "системний" накопичувач виступає єдиним об'єктом управління, однак, він має доволі вузький функціонал, що обмежує ніші його економічно обґрунтованого застосування.

Виходячи з цього, найбільш ефективною з точки зору стимулювання інвестицій, а й найбільш складною у реалізації, є модель, у якій система може повноцінно використовувати ресурси накопичувачів, розташованих у споживачів та у розподільчих мережах.

1.3 Аналіз технології автономного енергозабезпечення споживачів

Автономне енергозабезпечення будинку за допомогою обладнання, яке споживає нафтопродукти або природний газ і виробляє електрику, користується найбільшою популярністю серед власників заміської нерухомості через широку популярність. Однак популярні лише генератори на бензиновому або дизельному паливі, про решту відомо менше.

Бензинові електрогенератори. Невеликі розміри і вага, коштують дешевше, ніж дизельні. Але вони не здатні постачати електроенергію споживачам безперебійно - їх тривалість роботи не більше 6 годин поспіль (моторесурс близько 4 місяців), тобто бензинові генератори призначені для періодичної роботи і підходять в тих випадках, коли подача електроенергії від основного постачальника припиняється на термін близько 2-5 годин і лише час від часу. Такі генератори підійдуть тільки в якості резервного джерела електроенергії.

Дизельні генератори. Масивні, габаритні і недешеві, проте їх потужність і робочий ресурс значно вище, ніж у бензинових моделей. Незважаючи на значну вартість, в експлуатації дизель-генератори більш вигідні, ніж бензинові - дешеве дизельне паливо і безперебійна робота понад 2-х років, тобто даний електрогенератор здатний працювати добу і місяці безперервно, за умови своєчасної дозаправки паливом. Генератори на дизельному паливі підходять в якості резервного, додаткового і основного постачальника електроенергії.

Газові електрогенератори. Їх вага, розміри і вартість, близькі до бензиновим установкам однакової потужності. Вони працюють на пропані, бутані і природному газі, але більш продуктивні на перших двох типах газоподібного палива. Незважаючи на схожий з бензиновими генераторами термін безперервної роботи - не більше 6 годин, газові генератори електроенергії мають більший моторесурс, що становить в середньому

близько року. В якості основного джерела електроенергії газові генератори підходять з великим застереженням, але для резервного постачальника електроструму - цілком.

Когенератори або міні ТЕЦ. Якщо порівняти їх з описаними вище електрогенераторами, володіють двома значними перевагами: здатні виробляти не тільки електричну, а й теплову енергію; мають тривалим робочим ресурсом при безперебійному (щодобовому) використанні, що становить в середньому 4 роки. Залежно від моделі когенератори працюють на дизельному, газоподібному і твердому паливі. Маючи значні габарити, масу і вартість, міні ТЕЦ не підійдуть для енергозабезпечення одного будинку за містом, оскільки їх електрична потужність починається від 70 кВт - завдяки одній такій установці можна повністю вирішити питання цілорічного забезпечення електроенергією і теплом селища з декількох будинків.

Відносно генераторних установок потрібно уточнити один момент - наведений термін ресурсу не означає, що після його вироблення електрогенератор доведеться утилізувати і купувати новий, необхідно лише провести капітальний ремонт генератора і, незважаючи на деяку втрату потужності, його працездатність відновиться.

Висновки до розділу 1

1. Відновлювані джерела енергії стали невід'ємною часткою світової енергосистеми, впевнено посівши нішу генерації електричної енергії галузь продовжує розвиватись. При чому ВДЕ знайшли собі місце не тільки на великому ринку послуг, а і у побутових споживачів, яких може привабити не лише більш екологічний спосіб виробництва енергії а й певний заробіток.

2. Стрімка популярність систем накопичення енергії можна пояснити стрімким зростанням попиту на відновлювальні джерела енергії, адже при використанні ВДЕ є певні чинники, такі як, похмура погода,

штиль(безвітряність), снігопади, засуха, які можуть завадити стабільному потоку електричної енергії від джерела, тому для більш ефективного використання ВДЕ у систему живлення впроваджують СНЕ.

3. Системи автономного електропостачання стають все більш популярними серед замських жителів, та виробництв потужності яких знаходяться за містом. Це і не дивно адже, рахунки що надходять споживачам за доставку електроенергії зростають рік від року, до того ж якість постачання з плином часу залишає бажати кращого. Якщо система електропостачання застаріла не виключено наявність постійних перебоїв в електропостачанні.

2 ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПІДХОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Концепції та підходи щодо інтелектуалізації електроенергетичних систем

Smart grid (розумна енергосистема) – електрична мережа, що містить різноманітні оперативні та енергоощадні заходи, включаючи розумні лічильники, розумних споживачів, поновлювані джерела енергії та ресурси забезпечення енергоефективності електронне керування параметрами електроенергії, керування її виробництвом і розподілом є важливими аспектами розумної енергосистеми. Принцип роботи Smart grid (умовно) зображено на рисунку 2.1.

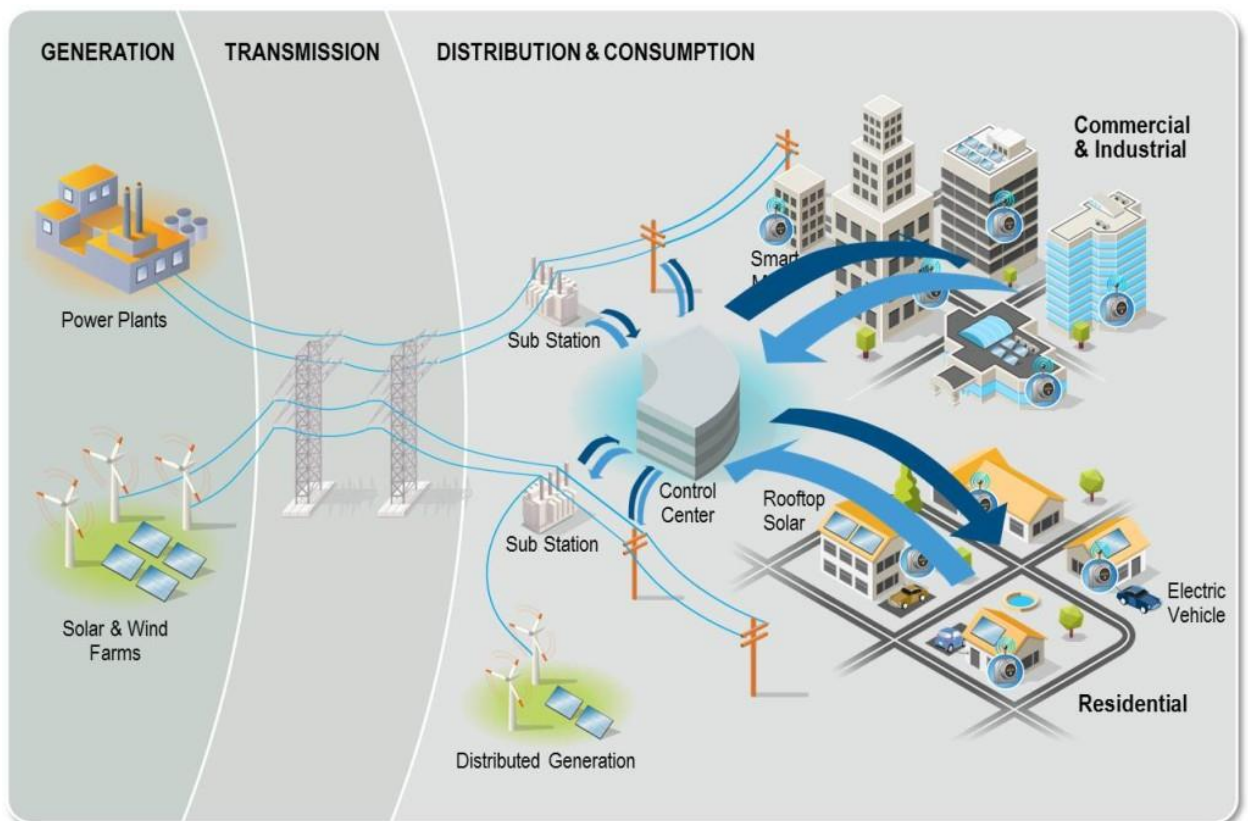


Рисунок 2.1 – Принцип роботи Smart grid (умовно) [19]

Сьогодні зворот «інтелектуальна енергетика» стає терміном, що позначає нові принципи роботи енергетики, як в Україні, так і за кордоном. Сучасні електронні, інформаційні, телекомунікаційні, обчислювальні технології

вдосконалюють процеси енерговиробництва та керування енергетичними потоками на підприємствах, роблять їх надійними, безпечними і ефективними, наділяють споживача новими можливостями.

Виникла нагальна необхідність у розробці нових підходів до керування зростаючими та різноплановими за інтенсивністю і напрямками потоками паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), що дозволяє безпечно та ефективно їх використовувати в існуючих і майбутніх енергетичних системах, зокрема, необхідно відзначити актуальність розробка положень концепції Smart Grid та її адаптації до українських реалій.

В основу реалізації такої концепції мають бути покладені наступні принципові позиції:

- енергетика є інфраструктурної базою розвитку економіки, в якій зацікавлені всі інститути: держава, бізнес, наука, населення; товари та послуги, вироблені в енергетичному секторі, мають високий рівень суспільної значущості і практично не мають замінників.
- оптимізація якості та ефективності використання всіх видів ресурсів (паливних, технічних, управлінських, інформаційних тощо) і енергетичних активів;
- у сучасному і майбутньому суспільстві енергія розглядається як джерело (інструмент або засіб), що забезпечує отримання людиною та суспільством певних споживчих цінностей (життєвих благ, рівня комфорту тощо);
- визначаючи для себе такий набір, рівень і характеристики цих цінностей, споживач (з урахуванням його особливостей) не повинен отримувати обмеження з боку енергетики, вибираючи, де йому жити, якими приладами та послугами користуватися, здійснювати свою діяльність і т.ін.;

- задоволення потреби в електричній енергії суспільства у XXI ст. має здійснюватися при одночасному істотному зниженні тиску на екологію планети.

У рамках концепції Smart Grid інтелектуальна електроенергетична система розглядається як єдина мережа інформаційно-керуючих систем, що забезпечує:

- інтеграцію всіх видів генерації (у тому числі малої генерації) і будь-які типи споживачів (від домашніх господарств до великої промисловості) для ситуаційного керування попитом на їхні послуги та забезпечення активної їх участі у роботі енергосистеми;
- зміну в режимі реального часу параметрів і топології мережі за поточними режимними умовами, виключаючи виникнення та розвиток аварій;
- розширення ринкових можливостей інфраструктури шляхом взаємного надання широкого спектру послуг суб'єктами ринку та інфраструктурою;
- мінімізацію втрат, розширення самодіагностики і самовідновлення при дотриманні умов надійності та якості електроенергії;
- інтеграцію електромережевої та інформаційної інфраструктури для створення всережимної системи керування з повномасштабним інформаційним забезпеченням. [19]

Для моделювання розумних енергосистем використовуються багато різних концепцій. У загальному випадку вони вивчаються як складні системи:

Осцилятори Курамото

Модель Курамото є добре вивченою системою. Енергосистема добре описується у цьому контексті. Метою є зберегти систему у балансі, або підтримати синхронність фаз. Неоднорідні осцилятори також допомагають моделювати різні технології, різні типи генераторів, моделі споживання

тощо. Ця модель також використовується для опису візерунків синхронізації в миготінні світлячків. [10]

Біологічні системи

Електричні мережі пов'язані зі складними біологічними системами в багатьох контекстах. У одному дослідженні електричні мережі були зіставлені з соціальною мережею дельфінів. Ці істоти оптимізують або посилюють комунікацію в разі незвичайної ситуації. Взаємозв'язки, що дозволяють їм вижити, є дуже складними. [11]

Мережі випадкових запобіжників

У теорії перколяції, були вивчені мережі випадкових запобіжників. Щільність струму може бути занадто низькою в деяких районах, і занадто високою в інших. Аналіз може бути використаний, щоб згладити потенційні проблеми в мережі. Наприклад, аналіз, виконаний високошвидкісним комп'ютером, може передбачати згорілі запобіжники і запобігти цьому, або аналізувати зразки, які могли б призвести до аварії електромережі. Для людей важко передбачити довгострокові закономірності в складних мережах, тому замість них використовуються мережі запобіжників або діодів. [12]

Нейронні мережі

Нейронні мережі визнані придатними для керування енергосистемою. Електричні мережі можуть класифікуватись багатьма способами як нелінійні, динамічні, дискретні, випадкові та/або стохастичні. Штучні нейронні мережі намагаються розв'язати більшість з цих проблем.

Передбачення попиту

Одним із застосувань штучних нейронних мереж є передбачення попиту. Для економічної та надійної роботи енергосистем передбачення попиту є важливим, оскільки дозволяє визначити кількість електроенергії, яка буде спожита навантаженням. Це залежить від погодних умов, часу доби, випадкових подій тощо. Для нелінійного навантаження профіль навантаження не є гладким і передбачуваним, що веде до більшої

невизначеності та меншої точності традиційних моделей штучного інтелекту. Чинниками, які враховуються при розробці таких моделей є: класифікація профілів споживання різних класів споживачів, активна реакція попиту, передбачена на основі ціноутворення у реальному часі; необхідність введення минулого попиту через різні компоненти (такі як пікове навантаження, базове навантаження, мінімальне навантаження, середнє навантаження тощо), а не об'єднання цих значень у спільне вхідне значення; залежність від специфічних вхідних змінних. Прикладом таких специфічних змінних може бути тип дня (робочий чи вихідний), який не має значного впливу на мережу лікарні, але значно впливає на профіль споживання домогосподарств. [13]

Марківські процеси

Із набуттям популярності вітровою енергетикою стає необхідним враховувати її у реалістичних дослідженнях енергосистем. Від'єднані від мережі сховища енергії, непостійність вітру, постачання, споживання, ціноутворення та інші чинники моделюються у математичній грі. Метою є розробка працюючої моделі. Марківські процеси використовуються для моделювання і вивчення систем такого типу. [14]

Максимальна ентропія

Усі ці методи з того чи іншого боку є методами максимальної ентропії, які активно досліджуються. Це є поверненням до ідей Шеннона та інших дослідників, які вивчали комунікаційні мережі. Продовжуючи в аналогічному ключі сьогодні, сучасні дослідження бездротових мереж часто розглядають проблему перевантаження мережі, і алгоритми його мінімізації, зокрема теорію ігор, інноваційні комбінації частотного розділення каналів, часового розділення каналів та інші. [15]

2.2 Оптимізація роботи гібридної система мікромережі (HMS)

Гібридні мікромережі складаються з кількох паралельно підключених розподілених ресурсів із певним логічним електронним керуванням, які здатні працювати як включно з мережею так і повністю ізольовано.

Режими роботи мікромережі зображено на рисунку:

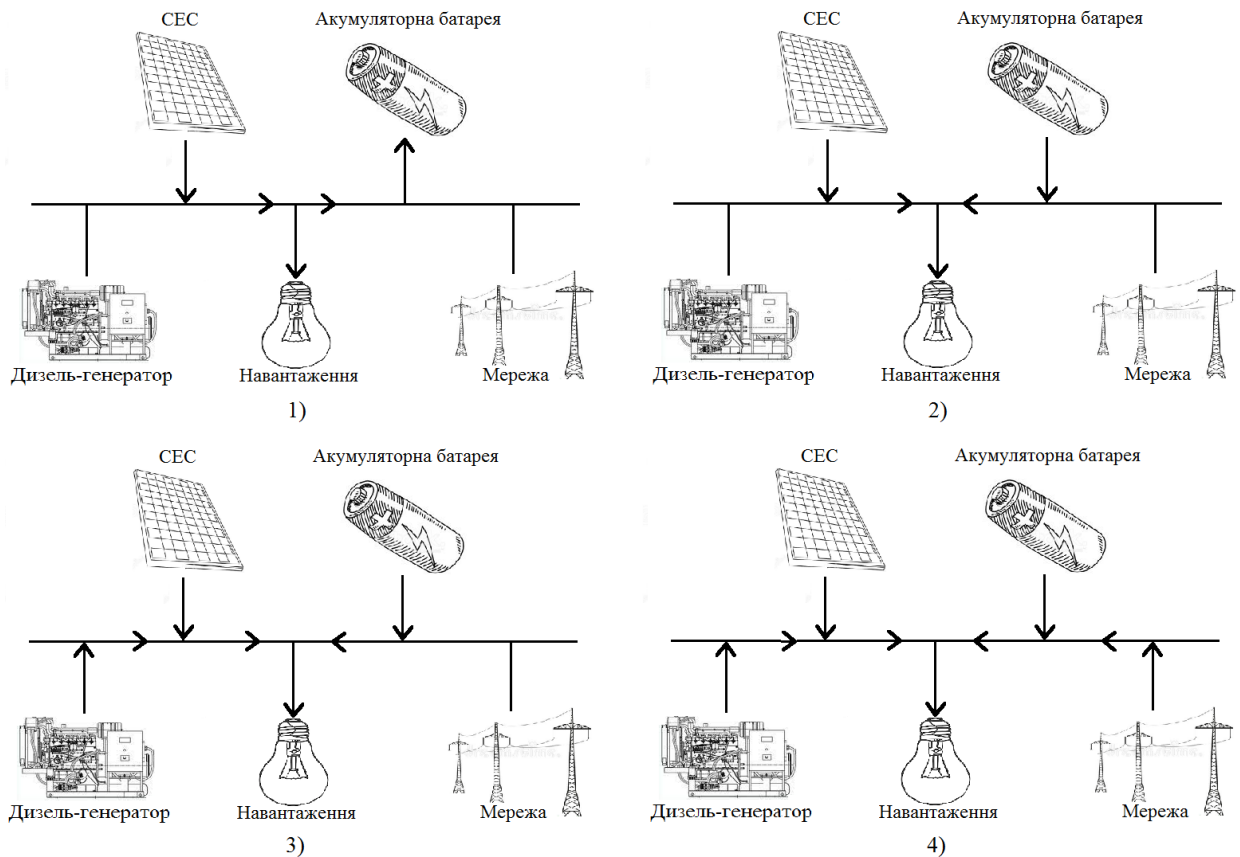


Рисунок 2.2 Режими роботи мікромережі

При нормальній експлуатації мікромережі пріоритет для задоволення потреб навантаження надається сонячним панелям, за ними слідує дизель-генератор та мережа. Коли електроенергія вироблена сонячними панелями перевищує навантаження, електроенергія, що залишилась зберігається в акумуляторі до досягнення ним максимальної ємності як показано на рисунку 1). Коли енергія вироблена СЕС є недостатньою для задоволення потреб споживача накопичена енергія використовується для їх задоволення як це показано на рисунку 2). Якщо накопичена енергія разом із СЕС не в змозі покрити споживання, дизель-генератор вироблятиме певну кількість

енергії для задоволення потреб споживача, як це показано на рисунку 3). Якщо вироблена електроенергія все ще нижча за навантаження необхідна кількість електроенергії купується з мережі 4).

Оптимізація роботи мікромережі враховуючи чотири складові – оптимізація витрат (а), надійність енергозабезпечення (в), викидів забруднюючих речовин (с), балансу потужності (d):

- а) Витрати: Експлуатаційні витрати включають витрати на виробництво електроенергії від фотоелектричних панелей, витрати на зарядку (розрядку) акумуляторів, витрати на дизель-генератор та витрати на обмін електроенергією між мікромережею та мережею. Витрати можна виразити так:

$$\text{Ціна} = \sum_{t=1}^T (\text{Ціна}_a(t) + \text{Ціна}_b(t) + P_a(t) \cdot c_a + P_b(t) \cdot c_b) \quad (2.1)$$

$$\text{Ціна}_g = A_{pv} \cdot P_{pv}(t) \cdot c_{pv} \quad (2.2)$$

$$\text{Ціна}_b = P_{b_dc}(t) \cdot c_{dc} - P_{b_ch}(t) \cdot c_{ch} \quad (2.3)$$

де A_{pv} - площа навантаження сонячних панелей, $P_{pv}(t)$ - вироблена електроенергія сонячними панелями за одиницю часу, c_{pv} - витрати на виробництво електроенергії фотоелектричними панелями, $P_a(t)$ - електроенергія куплена з мережі за одиницю часу, $P_b(t)$ - погодинна витрата палива дизель-генератором, c_a - вартість електроенергії купленої з мережі, c_b - вартість електроенергії виробленої дизель-генератором, $P_{b_dc}(t)$ $P_{b_ch}(t)$ - електроенергія, що розряджається та заряджається акумулятором за одиницю часу, c_{dc} - витрати при розряді акумулятора, c_{ch} - прибуток від надання додаткової потужності системі накопичення енергії.

$$P_a(t) = \lambda \cdot (P_{нав}(t) - P_{all}(t) - P_{bat}(t)) \quad (2.4)$$

$$P_{all}(t) = \eta_{pv} \cdot A_{pv} \cdot P_{pv}(t) \quad (2.5)$$

де $P_{нав}(t)$ - потужність навантаження, $P_{бат}(t)$ - поточна кількість електроенергії батареї, $\lambda \in [0,1]$ – частка електроенергії, закупленої з мережі до величини дефіциту електроенергії, η_{pv} - ефективність перетворення фотоелектричних панелей.

Погодинне споживання палива дизель-генератором можна виразити таким чином:

$$P_b(t) = 0.246 \cdot P_{dg}(t) + 0.08415 \cdot P_{2_насн} \quad (2.6)$$

де $P_{2_насн}$ - номінальна потужність дизель-генератора, $P_{dg}(t)$ - вироблена потужність генератором за одиницю часу.

б) Надійність енергозабезпечення: надійність визначається для ситуації коли навантаження настільки велике, що кількість виробленої та придбаної електроенергії недостатня для задоволення попиту. Ситуація показана таким чином:

$$\text{Надійність} = \frac{\sum_{t=1}^T (P_{нав}(t) - P_{all}(t) + P_{b_min} + P_{dg}(t))}{\sum_{t=1}^T P_{нав}(t)} \quad (2.7)$$

де P_{b_min} - мінімальний заряд батареї що залишився.

с) Викиди забруднюючих речовин можна змоделювати шляхом співвідношення викидів із виробництвом електроенергії дизель-генератором:

$$BZP = \alpha + \beta \cdot \sum_{t=1}^T P_{dg}(t) + \gamma \cdot \left(\sum_{t=1}^T P_{dg}(t) \right)^2 \quad (2.8)$$

де α, β, γ - коефіцієнти апроксимації характеристик викидів мережі.

d) Баланс потужності: коли мікромережа під'єднана до мережі підвищення здатності до самостійного виробництва та продажу в межах цієї ж мікромережі є корисним для ефективної роботи, в будь-який момент роботи системи. Ситуацію можна зобразити:

$$БП = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (P_{all}(t) - P_{нав}(t))^2 \quad (2.9)$$

Обмеження: кожна складова живлення повинна мати певний діапазон відповідно до фактичної ситуації. Вихідна потужність сонячних панелей може бути розрахована наступним чином:

$$P_{pv}(t) = P_{pv_ном} \cdot \frac{G(t)}{G_{розрах}} (1 + K_t(T(t) + (0.0256 \cdot G(t))) - T_{розрах}) \quad (2.10)$$

Де, $P_{pv_ном}$ - номінальна фотоелектрична потужність, $G(t)$ - кількість сонячної енергії на m^2 , $G_{розрах}$ - дорівнює 1 кВт/м^2 , K_t - $-3,7 \cdot 10^{-3}$, $T(t)$ - температура навколишнього середовища, $T_{розрах} = 25^\circ$.

Коли сонячні панелі можуть або не можуть задовольняти потреби навантаження, стан заряду або розряду акумулятора можна описати наступними виразами:

$$P_{b_ch}(t) = P_{all}(t) - P_{нав}(t) \quad (2.11)$$

$$P_{b_dc}(t) = (P_{нав}(t) - P_{all}(t)) \cup (P_b(t) - P_{b_min}) \quad (12)$$

Тоді рівняння зміни заряду акумулятору набуватиме вигляду:

$$P_b(t+1) = (P_b(t) + P_{b_ch}(t)) \cup (P_b(t) - P_{b_dc}(t)) \quad (2.13)$$

2.3 Аналіз інструментів для проектування системи енергозабезпечення об'єкта

Головною особливістю розрахунків електрозабезпечення з використанням відновлювальних джерел енергії можна назвати використання стандартних комерційних програмних продуктів.

Найпоширенішими можна вважати: SolarGis, RETScreen, iHoga, pvSol та PVSyst. Вхідні дані, необхідні для роботи таких програм, можна отримати з загальнодоступних баз даних. Кількість статей що використовували ці програми зображено в таблиці 2.5

Таблиця 2.5 - Кількість статей що використовували програмні середовища.

Рік	SolarGis	RETScreen	iHoga	pvSol	PVSyst
2015	322	658	41	31	469
2016	464	632	43	44	531
2017	446	667	52	60	597
2018	484	596	62	71	646
2019	131	143	25	16	161

З таблиці 2.5 видно, що найбільш популярною програмою є RETScreen (Clean Energy Management Software). Вона призначена головним чином для моделювання альтернативних енергетичних установок у широкому діапазон потужності електростанцій. До відмінної риси програми RETScreen можна віднести її використання різними державно-політичними установами, зокрема, European Environment Agency, NASA. Програма тісно інтегрована з географічними базами даних, що дозволяє відносно легко моделювати роботу станцій у різних географічних умовах. Вартість складає \$869.00/year/user і безкоштовна для студентів.

SolarGIS – веб-сайт, що надає доступ до широкого інструментарію для аналізу проекту електрифікації. Доступна інформація про розподіл населення, географічно та кліматичні особливості, а також особливості рельєфу. Дані зазвичай представлені на карті світу. Також є інструментарій для симуляції сонячних, вітрових і гібридних станцій у вибраному регіоні з подальшим прогнозуванням вихідних параметрів. Доступний вибір багатьох змінюваних параметрів, таких як розміри фотовольтаїчних модулів, кут нахилу сонячних панелей, використання різних типів вітрових турбін і т.д. Приклад роботи сайту наведено на рисунку 2.3.

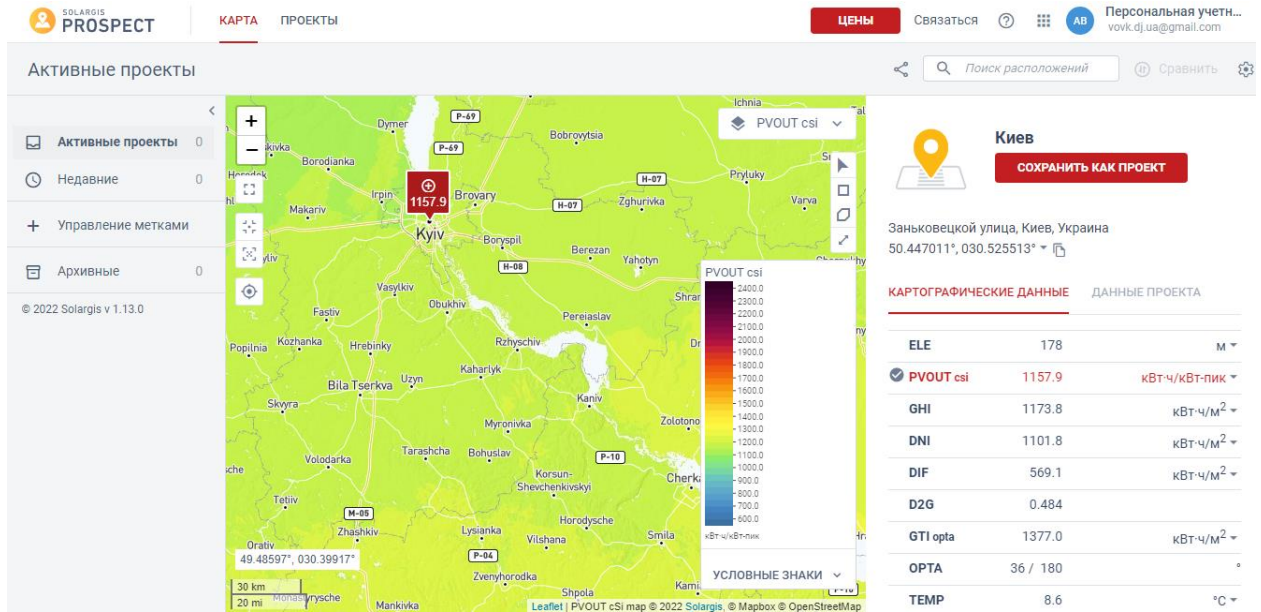


Рисунок 2.3 – Приклад роботи сайту SolarGIS

Програма pvSol – здатна моделювати фотовольтаїчну систему в умовах обраного регіону. У інтерфейсі користувача можна виділити 6 основних розділів: географічне положення, вибір об'єкта, вибір модуля, вибір системи розміщення модуля, конфігурація модуля і план розміщення інтеркомунікацій. Важливою особливістю цієї програми є симуляція затінених областей від навколишніх об'єктів. Приклад роботи програми зображено на рисунку 2.4.

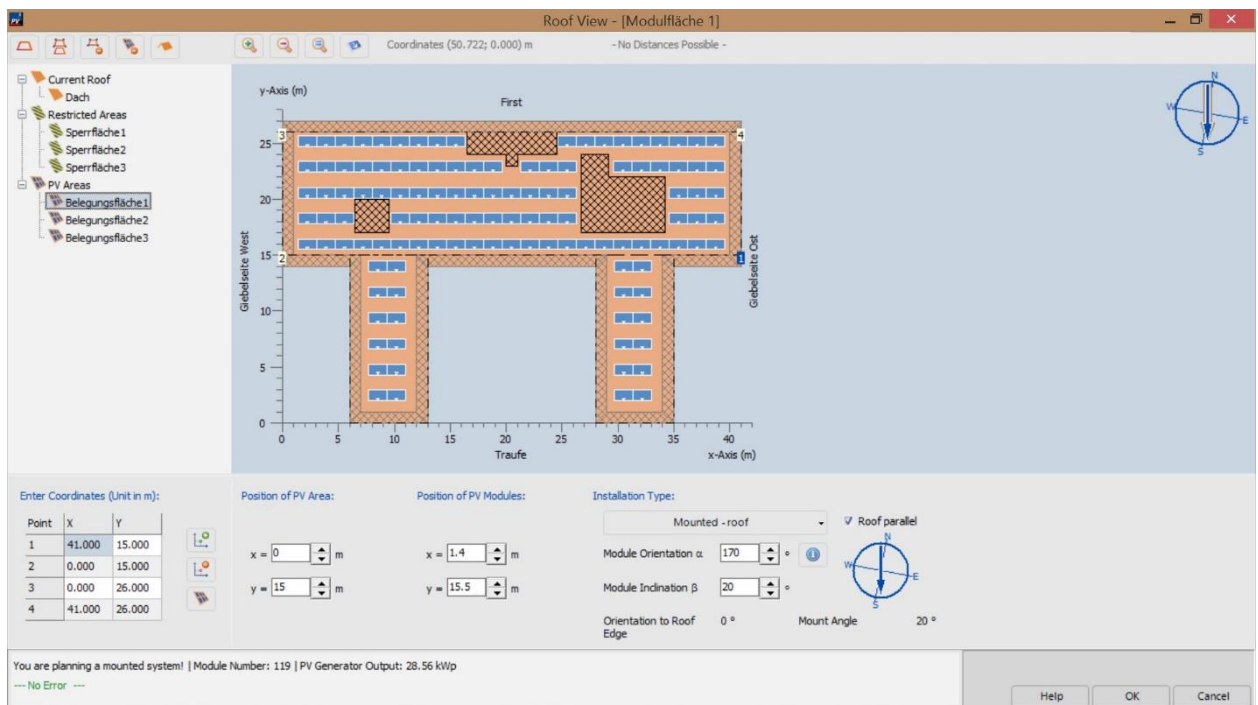


Рисунок 2.4 – Приклад роботи програми pvSol

Програма PVSystem – призначена для швидкої попередньої оцінки проектованої системи. В аналіз входить оцінка продуктивності на основі даних погодинного моделювання; розгляд різноманітних варіантів моделей системи та їх порівняння; первинний аналіз затінення на вироблення за допомогою інструмента 3D tool; аналіз втрат у системі та економічний аналіз на основі реальних цін компонентів. Приклад роботи програми зображено на рисунку 2.5.

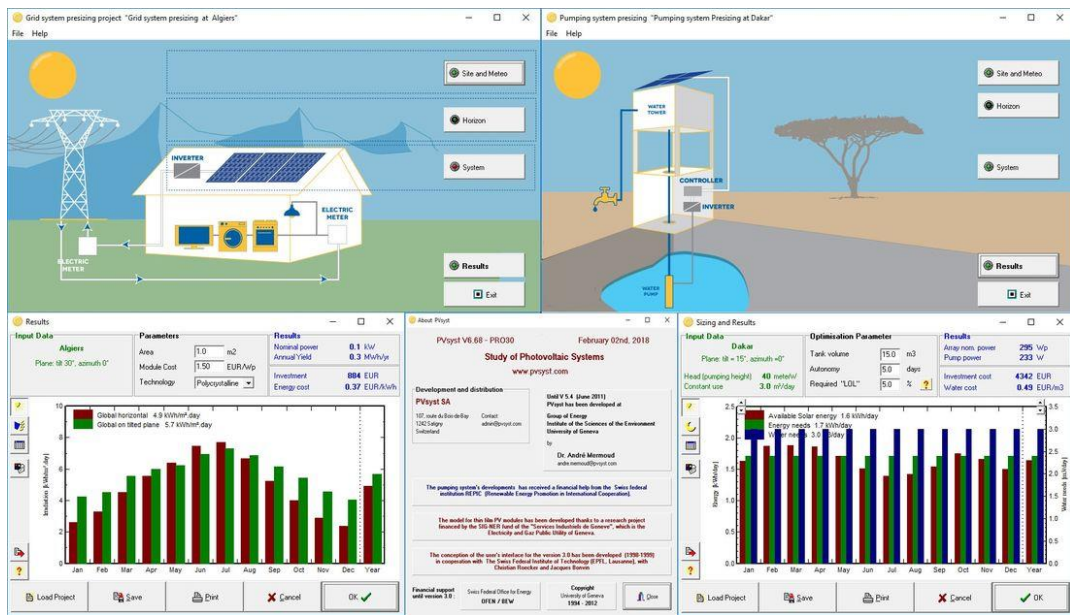


Рисунок 2.5 – Приклад роботи програми PVSystem.

iNoga (Improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithm) – програмне забезпечення у якому застосовується «генетичний алгоритм» та сенситивний (чутливий до змін) аналіз систем відновлюваної енергії. Дана програма розрахована на моделювання та оптимізацію систем з фотовольтаїчними елементами, вітровими турбінами, паливними елементами та гідро-електрогенераторами. Приклад роботи програми зображено на рисунку 2.6.

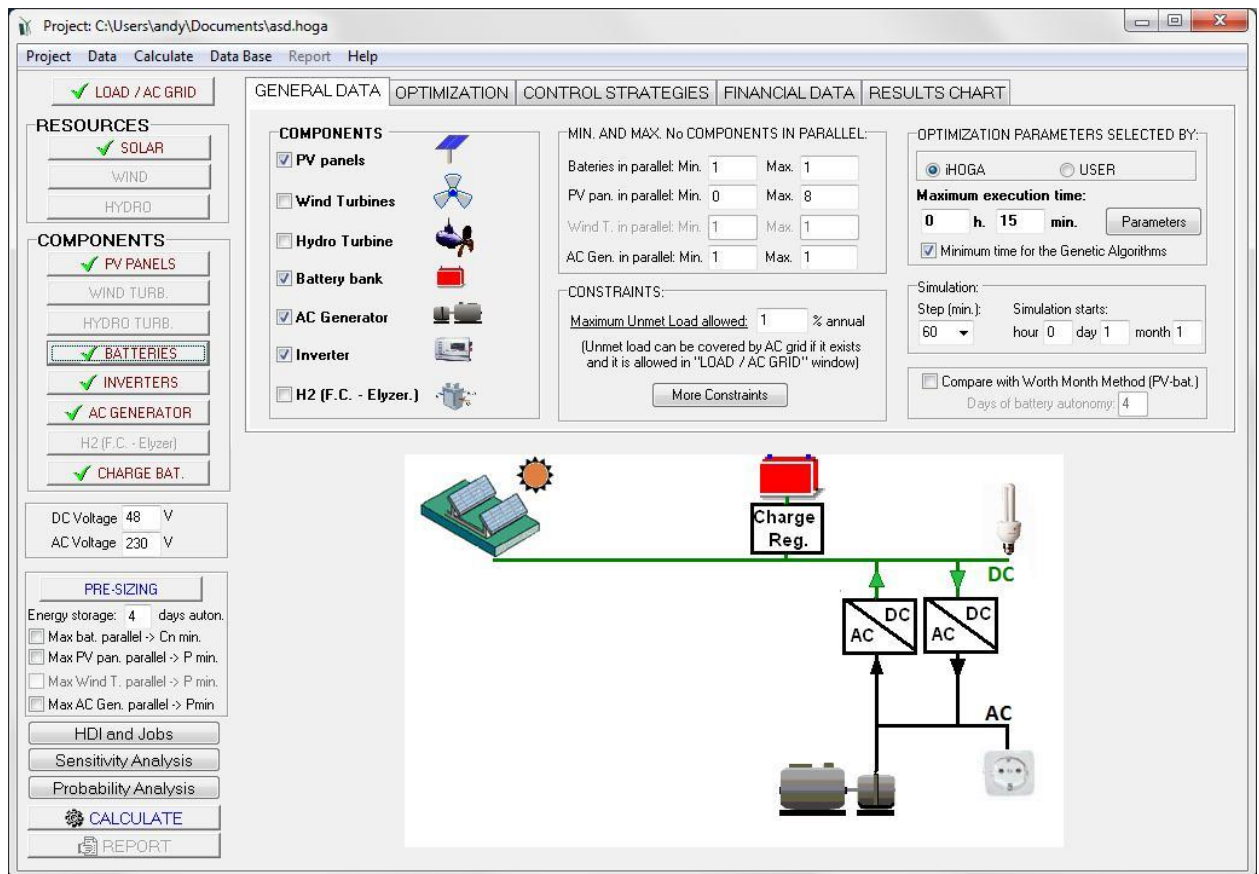


Рисунок 2.6 – Приклад роботи програми iHoga/

Висновки до розділу 2

Smart grid наділяє оператора безмежним контролем над електромережою, як наслідок отримуємо більш керовану, безпечнішу та надійнішу електросистему. Велику кількість аварійних ситуацій можна було уникнути аби, наприклад, системи протиаварійної автоматики працювали злагоджено та підлаштовувались за секунду до нових конфігурацій електростанцій або ліній електропередач.

Гібридна система мікромережі здатна забезпечити безперебійне та якісне електропостачання об'єкту незалежно від зовнішніх чинників. У поєднанні з відновлюваними джерелами енергії мікромережа перетворюється у потужний ключ до автономного енергозабезпечення об'єктів як промислових так і побутових. Найкращим інструментом для розрахунку такої системи, як показує статистика, є програмне середовище RETScreen, воно дозволяє прорахувати систему забезпечення із

використанням відновлювальних джерел енергії включаючи систему накопичення енергії.

3 ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ ОФІСНО-СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ

3.1 Проектування СЕС для гібридної системи мікромережі об'єкта

Електропостачання об'єкта здійснюється на підставі договору між УЦОП та ТОВ «Черкасиенергозбут». Оплата за спожиту електроенергію здійснюється щомісячно, на основі показів приладів обліку і рахунків від енергопостачальної організації (основний розрахунковий період – місяць). Живлення електричною енергією будівлі здійснюється кабельними лініями 0,4 кВ марки ВВГ. Комерційний облік спожитої у об'єкті активної електричної енергії здійснюється за допомогою трифазного однотарифного лічильника активної енергії типу НІК 2301.

Основне електричне устаткування зображено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Електричне устаткування об'єкта.

Устаткування	Встановлена потужність, Вт	Кількість	Коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт використання	Встановлена потужність Σ , Вт	Тривалість роботи, год/рік
Комп'ютер	500	3	0,8	0,8	1500	800
Проектор	700	1	1	0,3	700	800
Електричний конвектор	1000	9	0,8	0,5	9000	2000
Освітлення	45	30	1	0,5	1350	1200

Режим роботи об'єкту з 8.00-17.00, п'ятиденний робочий тиждень.

Підраховуємо річну витрату електроенергії, та порівнюємо з даними на лічильнику за 2021 рік

$$T_{\text{вик}} = (0,5 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 800) + (0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,3 \cdot 800) + (1 \cdot 9 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 2000) + (0,45 \cdot 30 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1200) = 768 + 168 + 7200 + 810 = 8946 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Показники лічильника = 9232,272, розбіжність з показами лічильника 3,2 % – що є допустимим значенням.

Завданням практичної частини роботи є формування ефективної системи автономного енергозабезпечення офісно-складського приміщення з урахуванням підключення ВДЕ.

Загальна площа приміщення становить 600м² (20м*30м). План розміщення силових вузлів та вузлів освітлення зображено на рисунках (Рисунок 3.1, 3.2).

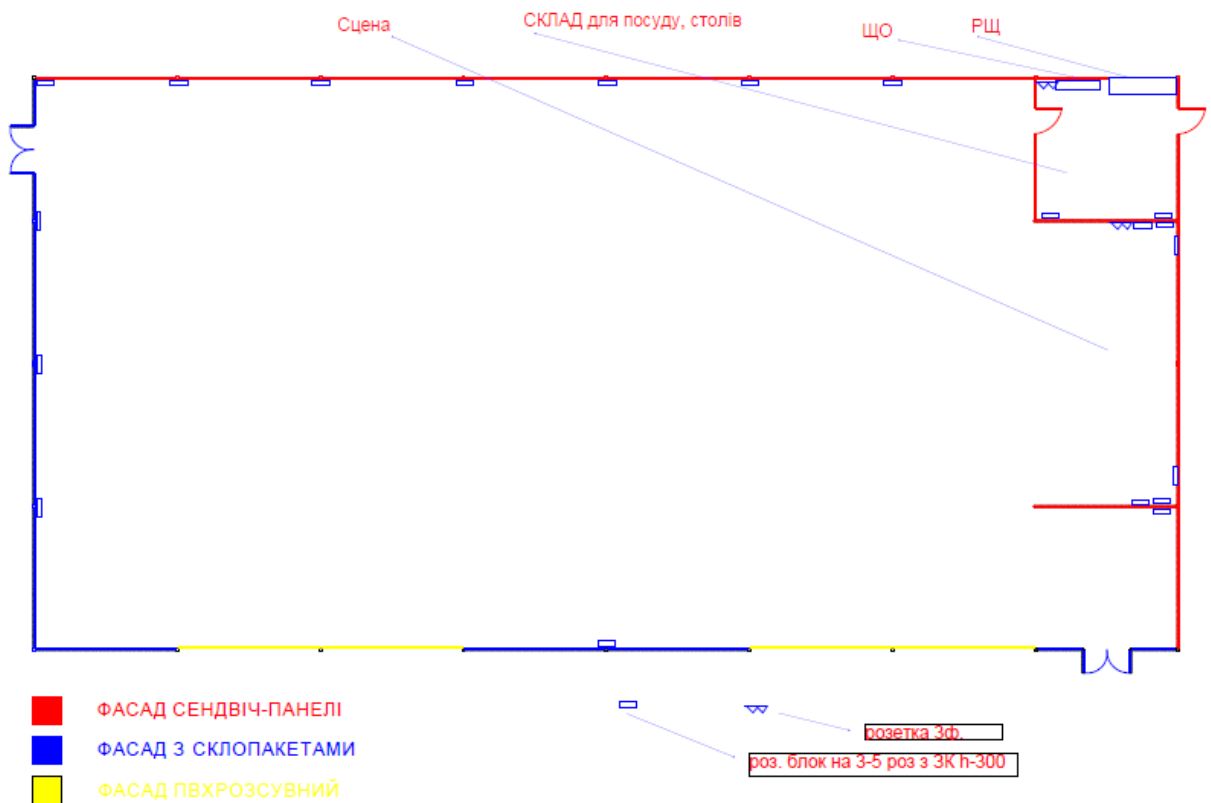


Рисунок 3.1 – План розміщення силових вузлів офісно-складського приміщення.

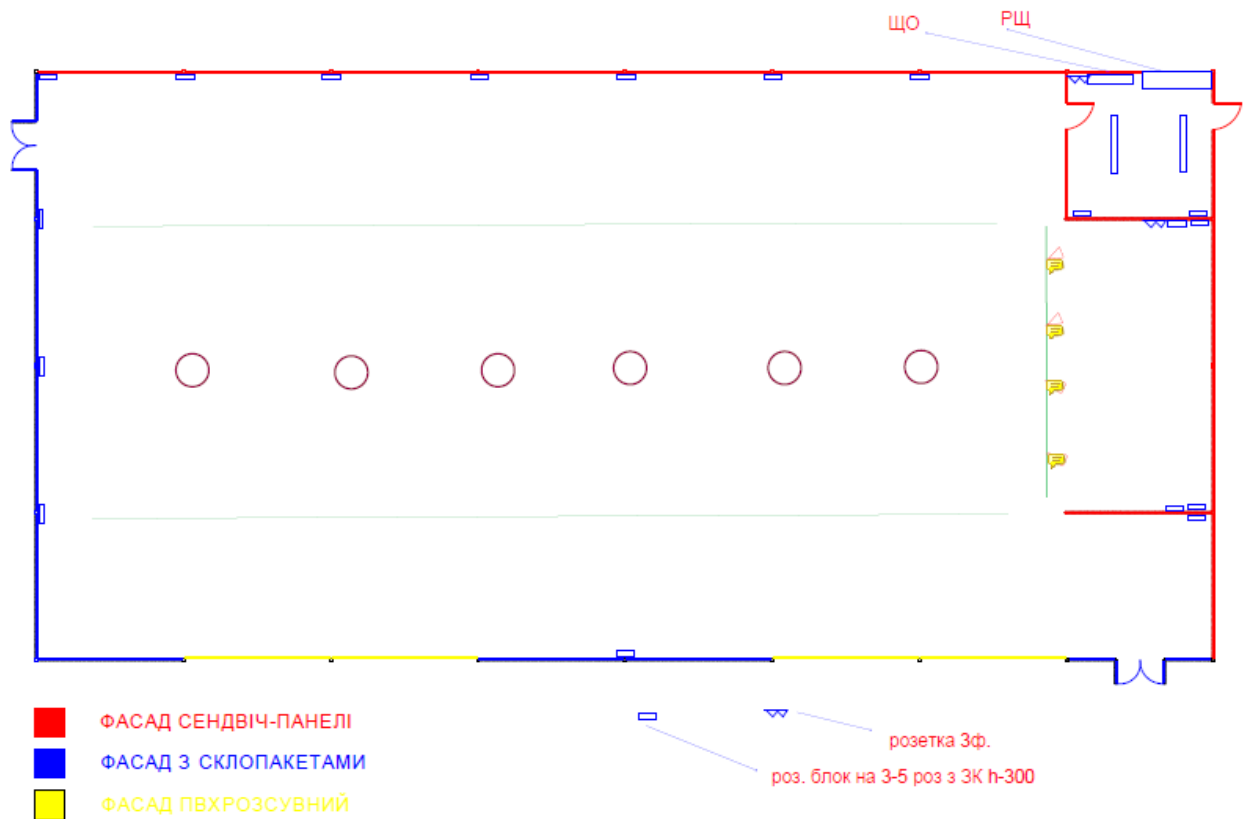


Рисунок 3.2 – План розміщення вузлів освітлення офісно-складського приміщення.

Оптимальним рішенням для забезпечення автономності даного об'єкту є розміщення сонячних панелей на даху павільйону.

Визначимо загальну площу двоскатного даху:

Визначимо ширину одного скату: $10^2 + 4,06^2 = \sqrt{116,4836} = 10,792756\text{м}$

Визначимо площу одного скату: $30 * 10,792756 = 323,7827\text{м}^2$

Загальна площа даху: $= 647,5654\text{м}^2 \approx 645\text{м}^2$

Для задоволення енергетичних потреб павільйону необхідна потужність 20кВт

Для розрахунку використовуємо сонячні панелі JA Solar – JAM6-72-325/SI, потужністю 325Вт, площа рами однієї панелі = 2 м²

Розрахунки проведено в обчислювальному середовищі RETScreen Expert.

В таблиці 3.2 наведено деякі фінансові, екологічні та інші показники, що вводилися у проєкті програми RETScreen. На рисунках відповідно зазначені скріншоти з введеними показниками.

Таблиця 3.2 – Показники, що вводились у проєкті програми RETScreen.

Сторінка в RETScreen	Пункт на сторінці	Показник	Значення
«Енергія»	«Електрика та палива» (рис.3.3)	«Вартість палива» (природний газ м ³)	10 UAH/м ³
		«Ціна на експортовану електроенергію»	Зелений тариф, 4,038UAH/кВт·ч
	«Фотоелектричний» (рис.3.4)	«Електрична потужність» (вибір сонячних панелей)	JA Solar – JAM-72-325/SI
«Вартість» (рис.3.5)	-	«Початкові затрати», «Щорічні затрати», «Щорічна економія»	Вводимо дані згідно потреб проектування
«Емісія» (рис.3.6)	-	«Коефіцієнт викидів ПГ (до втрат)»	11%
«Фінанси» (рис.3.7)	-	«Темп зростання вартість на паливо»	6%
		«Темп інфляції»	11%
		«Ставка дисконту»	8,5%
		«Строк реалізації проєкту»	25 р.
		«Коефіцієнт заборгованості»	Відношення запозичених коштів до загальної суми активів підприємства. цього коефіцієнта зовсім немає, оскільки були витрачені тільки власні кошти
		«Темп росту експорту електроенергії»	10,2%

Економічна доцільність проєкту зображена на рисунку 3.8.

Електростанція - 20 кВт - Фотоелектричний

Паливо і графіки

- Електрика та палива
- Технологія
 - Електроенергія
 - Фотоелектричний - 20 кВт
- Резюме
 - Включити систему?
 - Порівняння

Види палива

Вид палива: Природний газ - м³

Вартість палива - одиниця виміру: UAH/м³

Вартість палива: 10

Теплота згорання і вартість палива

Теплотворна здатність - одиниця виміру: МДж/кг

Теплотворна здатність: 53,9

Вартість палива - одиниця: UAH/кВт-год

Вартість палива: 0,94

Електроенергія

Тип: Ціна на експортовану електроенергію - щорічний

Опис: Ціна на експортовану електроенергію - щорічний

Тариф - одиниця виміру: UAH/кВт-год

Тариф - щорічний: 4,038

Рисунок 3.3 – Сторінка «Енергія», пункт «Електрика та палива»

Фотоелектричний

Тип		моноокис кремнію
Електрична потужність	кВт	20,15
Виробник		JA Solar
Модель		моноокис кремнію - JAM6-72-325/SI
Кількість одиниць		62
ККД	%	16,64%
Звичайна робоча температура елемента	°C	45
Температурний коефіцієнт	% / °C	0,4%
Площа сонячного колектора	м ²	121
Двосторонній коефіцієнт коригування сонячних батарей	%	0%
Інші втрати	%	15%

Інвертор

ККД	%	95%
Потужність	кВт	20
Інші втрати	%	1%

Резюме

Коефіцієнт потужності	%	12,5%
Початкові затрати	UAH/кВт	91,41
	UAH	1 842
Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія)	UAH/кВт-рік	1,12
	UAH	22,51
Ціна на експортовану електроенергію		Ціна на експортовану електроенергію - ц
	UAH/кВт-год	4,04
Електроенергія, що передається в мережу	кВт-год	22 069
Прибуток від експорту електроенергії	UAH	89 115

Рисунок 3.4 – Сторінка «Енергія», пункт «Фотоелектричний»

Початкові затрати (кредити)	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Початкова вартість				UAH 1 842
Показат дані				
- Сонячні панелі	варт.	62	UAH 5 401,32	UAH 334 882
- Проєкт технічних рішень	варт.	1	UAH 50 000	UAH 50 000
- Інвертор	варт.	1	UAH 100 000	UAH 100 000
- Монтажні роботи	варт.	1	UAH 250 000	UAH 250 000
Загальні початкові затрати			UAH	736 724
Щорічні затрати (кредити)	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Затрати на експлуатацію й обслуговування (економі:	проект			UAH 22,51
Показат дані				
- Обслуговування раз у квартал	варт.	4	UAH 500	UAH 2 000
Сумарні щорічні затрати			UAH	2 023
Щорічна економія	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
- На власне споживання (850кВт*год/міс)	варт.	12	UAH 1 428	UAH 17 136
Загальнорічна економія			UAH	17 136

Рисунок 3.5 – Сторінка «Вартість»

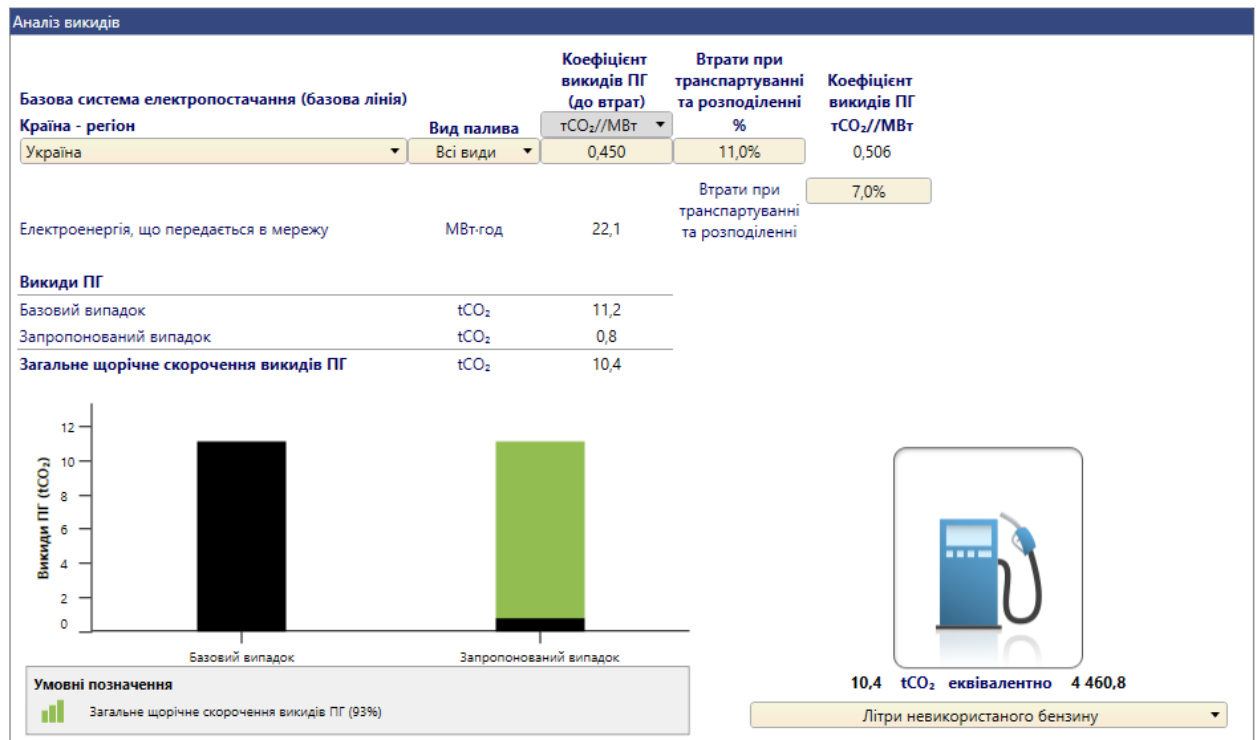


Рисунок 3.6 – Сторінка «Емісія»

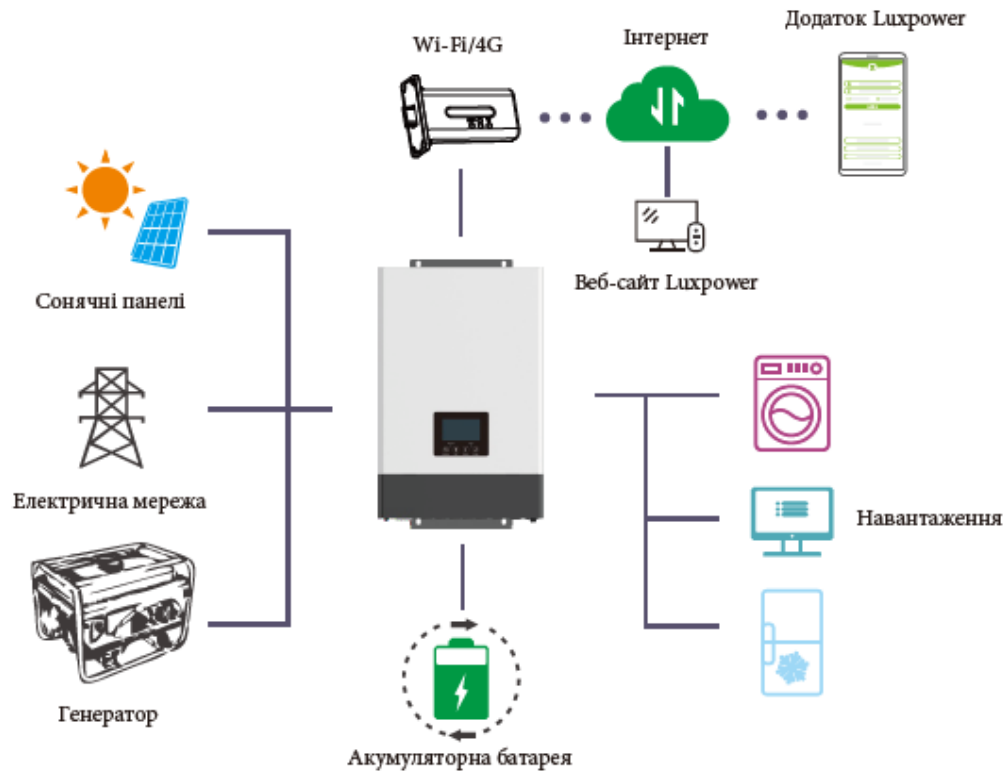


Рисунок 3.9 Можливості обраного інвертору.

Серія SONAR - це багатофункціональний сонячний інвертор з наступними особливостями:

- Використовується для автономного та резервного живлення, власного споживання та генерації в мережу.
- Має 2 MPPT контролера з діапазоном напруги 120В~385В.
- Номінальна потужність 20 кВт з коефіцієнтом потужності 1.
- Здатний працювати, як з акумуляторами та і без них, в автономному режимі та з мережею.
- Сумісна робота з генератором та здатність дистанційно керувати їм.
- Електроенергія від сонячних панелей та мережі може спільно покривати навантаження.
- Функція паралельного підключення дає можливість підключити до 10 інверторів.
- Підтримка інформаційного зв'язку з Li-ion акумуляторами через порти CAN/RS485.

Віддалений моніторинг Wi-Fi/GPRS, налаштування та оновлення прошивки через веб-сайт або безкоштовний додаток для IOS/Android.

3.2 Розрахунок ємності акумуляторних батарей для забезпечення електропостачання об'єкту

Нехай у напівпікові години офіс має дефіцит електропостачання у розмірі 5кВт.

Найбільш розповсюджені робочі напруги акумуляторних батарей в сонячних електростанціях являються 12 В, 24 В, 48 В. Чим більший струм проходить через провідник тим більше потрібне його січення, а отже і затрати. Зменшити струм можна шляхом збільшення напруги в системі.

Дефіцит складає 5000 Вт поділивши на 12 В отримаємо 416 А. Для даного випадку акумулятор 12 В не підходить так як струм що протікатиме через провідники дуже високий. Таким чином вирішуємо збільшити напругу акумуляторної батареї, створюємо систему на 24 В:

$$5000\text{Вт} / 24\text{В} = 208,33\text{Агод}$$

Отже, аби забезпечити об'єкт у пікові години споживання необхідно чотири акумулятори по 220 Агод. З них виконати дві групи по два акумулятори з'єднані послідовно та з'єднати, отримані пари, паралельно. Схема з'єднання зображена на рисунку 3.10 :

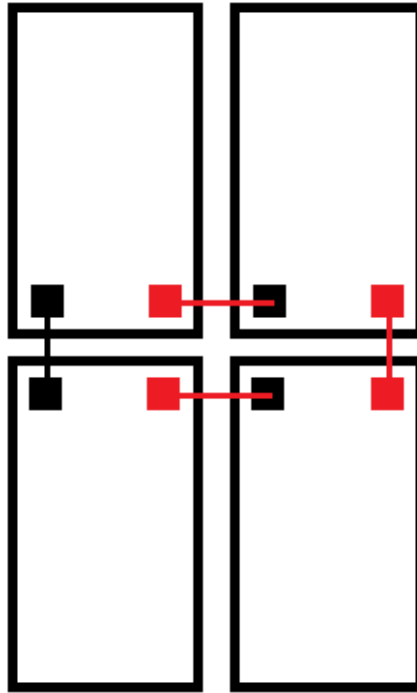


Рисунок 3.10 Схема з'єднання акумуляторних батарей

На даний час існує безліч типів акумуляторних батарей, серед основних типів що використовуються в альтернативній енергетиці це гелеві (GEL) та мультигель (AGM).

Акумуляторні батареї виготовлені по GEL технології характеризується високою стійкістю до глибоких розрядів, підвищеною кількістю циклів глибокого розряду у порівнянні (приблизно 500 циклів) з AGM та більшим терміном експлуатації. В основі GEL технології свинцеві пластини поміщені спеціальний гелевий розчин електроліту, який покращує хімічні процеси в середині акумулятора та збільшує його продуктивність в загальному.

Акумуляторні батареї виготовлені по AGM технології дещо поступаються GEL акумуляторам.

Ресурс AGM акумулятора складає приблизно 300-350 глибоких циклів розряду. В основі AGM технології свинцеві пластини знаходяться в скло ватних сепаратах пропитаними рідким розчином електроліту.

Як гелеві так і мультигелеві акумуляторні батареї являються герметичними та не потребують додаткового обслуговування. Тобто для таких акумуляторів непотрібне додаткове приміщення чи догляд. [16]

3.3 Вибір автономного джерела живлення

Нехай у пікові години офіс має дефіцит електропостачання у розмірі, приблизно, 5 кВт.

З генераторною установкою простіше, обираємо генератор потрібної нам потужності. Наприклад генератор КАМА KDK12SCA3, номінальною потужністю 9кВт (максимальна потужність складає 12кВт). Обраний генератор зможе покрити той дефіцит електроенергії що виникне у разі повної розрядки акумуляторних батарей.

Короткі характеристики обраного генератора:

- Номінальна потужність (380В): 9 кВт
- Витрата палива: 3 л/год
- Напруга: трифазний режим (380 В)
- Тип запуску: електропуск
- Вага: 310 кг

Для більш детального розрахунку генератора, використаємо обчислювальне середовище RETScreen, результати зображено на рисунках 3.11-3.13.

Вибір палива

Вид палива Дизель (мазут #2) - л
 Вартість палива UАН/л 0,80

Поршневий двигун

Електрична потужність кВт 9
 Можливість використання % 15% 1 314 год
 Виробник
 Модель
 Кількість одиниць
 Питома витрата теплоти кДж/кВт-год 13 000
 Необхідне паливо кВт 32,5
 Початкові затрати UАН/кВт 0 \$
 Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія) UАН/кВт-рік 149 \$
 Споживання палива л 4 014
 Вартість палива UАН 3 211
 Ціна на експортовану електроенергію UАН/кВт-год 0,10 Ціна на експортовану електроенергію
 Електроенергія, що передається в мережу МВт-год 11,8
 Прибуток від експорту електроенергії UАН 1 183

Рисунок 3.11 Вкладка «Енергія»

Початкові затрати (кредити)	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Початкова вартість			UАН	0
Показат дані				
Генератор	варт.	1	UАН 230 000	UАН 230 000
Загальні початкові затрати			UАН	230 000
Щорічні затрати (кредити)	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія)	проект		UАН	0
Показат дані				
Вартість палива - Запропонований випадок			UАН	200 702
Заданий користувачем	варт.		UАН	-
Сумарні щорічні затрати			UАН	200 702

Рисунок 3.12 Вкладка «Вартість»

Фінансові показники	Витрати Збереження Дохід
Загальні	Початкові затрати
Темп зростання вартість на паливо % 6%	Початкова вартість 0% UАН 0
Темп інфляції % 11%	Генератор 100% UАН 230 000
Ставка дисконту % 9%	Загальні початкові затрати 100% UАН 230 000
Норма реінвестування % 9%	Щорічний грошовий потік - Рік 1
Строк реалізації проекту рік 20	Щорічні затрати і виплата займового капіталу
Фінансові	Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія) UАН 0
Стимулювання і гранти UАН	Вартість палива - Запропонований випадок UАН 200 702
Коефіцієнт заборгованості % 0%	Виплата заемного капіталу UАН 0
Аналіз податку на прибуток	Сумарні щорічні затрати UАН 200 702
	Щорічна економія і дохід
Щорічний дохід	Заданий користувачем UАН 18 922
Прибуток від експорту електроенергії	Прибуток від експорту електроенергії UАН 1 183
Електроенергія, що передається в мережу	Дохід за рахунок зниження викидів парникових газів UАН 0
Ціна на експортовану електроенергію	Інший дохід (вартість) UАН 0
	Дохід від виробництва ЧЕ UАН 0
	Сумарна щорічна економія і дохід UАН 20 104
	Чистий річний грошовий потік - Рік 1 UАН -180 598

Рисунок 3.13 Вкладка «Фінанси»

3.4 Підключення генератора

Всі прилади LuxPower можуть працювати з генератором.

- Користувачі можуть підключати вихід генератора до автономних інверторів на вхідний термінал GEN.

- Генератор буде автоматично запущений, коли напруга акумулятора буде нижче порогового значення або є сигнал на заряд акумулятора від BMS. Коли напруга перевищує значення налаштування заряду від змінного струму, інвертор зупинить генератор.

- Акумулятор заряджається, коли генератор включений. Також генератор живить вихід змінного струму, щоб покрити все навантаження.

Послідовність підключення:

1. Перед підключенням генератора необхідно переконатись у тому що живлення від інвертора відключено
2. Для підключення зняти ізоляцію з провідників на 10мм для двох провідників
3. Вставити дроти L і N відповідно до полярностей, зазначених на клемній колодці, і затягнути гвинти клем.(Рисунок 3.14)

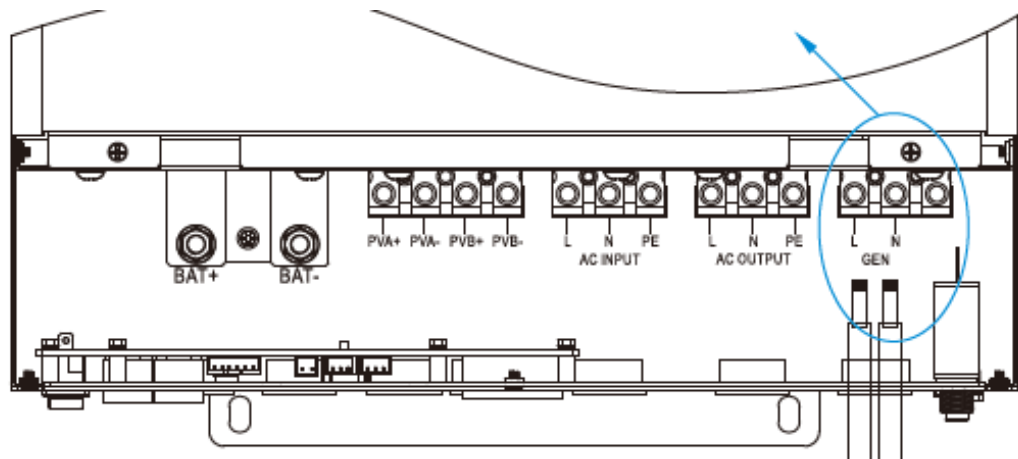


Рисунок 3.14 Клемна колодка інвертора.

Висновки розділу 3

Спроектовано сонячну електростанцію для забезпечення електропостачання об'єкта дослідження. Встановлена потужність СЕС дорівнює 20кВт, обрано інвертор фірми LuxPower серії Sonar, річне

виробництво електричної енергії складає 22МВт*год. Термін окупності запропонованої сонячної електростанції складає 7 років, а повне повернення капіталу 5 років.

Автономне електрозабезпечення потребує формування мікромережі, яка включає обов'язкову наявність резервного джерела живлення, для цього було проведено розрахунок використання генераторної установки та накопичувачів енергії.

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Ідея стартап-проекту

При формуванні бізнес-ідеї потрібно одночасно вирішувати декілька завдань:

- Що і кому продавати – вивчення ринку товарів та послуг, для розуміння яку ланку цього ринку можна зайняти щоб це було цікаво потенційним споживачам.
- Як виготовляти – чітке розуміння процесу виробництва товару, та собівартості одиниці.
- Як продавати – рішення всього комплексу проблем, від організації виробництва до реалізації.

Опис ідеї стартап-проекту, що включає в себе зміст ідеї, напрямки застосування та вигоду користувача представлені у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигоди для користувача
Запуск міні-заводу, виробництва паливних гранул з торфу, виробничою потужністю 2 тони продукції на годину.	Ефективна заміна вугілля, дров та газу	Великий вміст вуглецю та незначний вміст сірки, шкідливих негорючих залишків та інших домішок.
		Різниця у питомій теплоті згоряння торфу та вугілля мінімальна.

4.2 Аналіз можливості запуску стартап-проекту

Найбільшою проблемою реалізації проекту є залежність від місця знаходження об'єкту.

В Україні розвідано близько 500 родовища торфу. Близько 81% видобутого в Україні торфу використовується як паливо, а решта 19% – як добрива. Зокрема, виробляються торф'яні горщики для вирощування

розсади, торф'яні біологічні добрива, фасований торф та набори для садівників (суміш торфу та ґрунту). У невеликих обсягах Україна експортує торф'яну продукцію, переважно як паливо, а окремі сорти торфу ввозить.

Втім, вивченість торф'яних родовищ дозволяє значно збільшити видобуток торфу в Україні для палива, виробництва органічних добрив та підстилки для худоби.

Торф з давніх часів використовувався в Україні, а пізніше, з початком нафтогазового буму, був практично забутий. За офіційними даними, геологічні запаси цієї корисної копалини складають 2,04 млрд тон, а сумарна площа торфових родовищ сягає близько 1 млн га. В найбільших об'ємах видобувають торф в Україні у Волинській, Рівненській та Чернігівській областях. Крім того, проводиться видобуток торфу у Львівській, Житомирській та Сумській областях. (Рис 4.1)

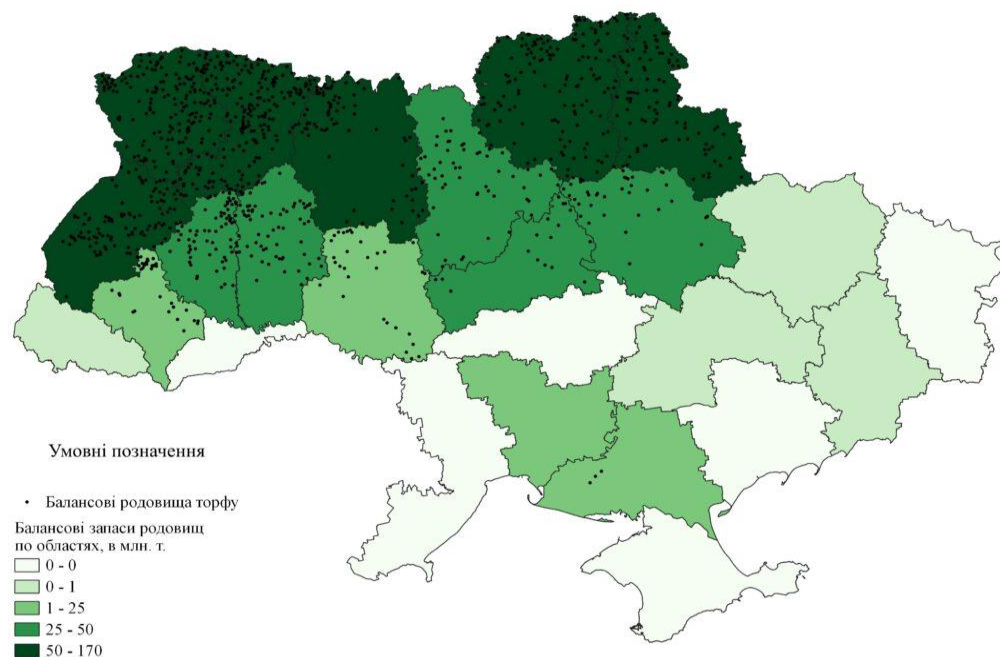


Рисунок 4.1. Карта торфових родовищ в Україні. ТОВ “Геологічна інвестиційна група” [15]

Деталі стартап-проекту

Паливні гранули з торфу, в нашому випадку – виготовляється з первинного матеріалу фрезерного торфу - торф'яної крихти різних форм та розмірів, з унікальними фізичними та хімічними властивостями –

одержувана при фрезерному способі видобутку торфу. При поверхнево-пошаровому способі розробки торф'яного покладу видобуток торфу здійснюється з поверхні тонкими шарами за короткі цикли.

Зберігається фрезерний торф в польових склад одиницях-штабелях, не поступається калорійності дровам, бурому вугіллю, сланцям, низькосортному кам'яному вугіллю і як паливо використовується на муніципальних котельнях для постачання теплом селищ, невеликих міст, військових частин, населення.

Новий продукт - гранули з торфу або пелет з торфу - з кожним роком мають все більший попит, як на зовнішньому, так і на внутрішньому ринку. Це робить бізнес із виробництва гранул із торфу дедалі актуальнішим.

У таблиці 4.2. наведено порівняння питомої теплоти згоряння торф'яного брикету з іншими традиційними видами твердого палива:

Таблиця 4.2 - Порівняння палива

Вид палива	Питома теплота згоряння, кКал /кг
Вугілля буре (W=30-40%)	3100
Вугілля кам'яне (W = 10%)	3800-6400
Дрова сухі (W=20%)	3400
Торф'яний пелет (W=15%)	4330-5640

Важливу роль тут відіграють вік родовища, його геоморфологічні умови виникнення, склад рослин торфоутворювачів та ступінь розкладання торфу.

4.3 Особливості пелетного виробництва

Завод з виробництва гранули з торфу ми маємо поблизу підприємства, яке здійснює видобуток фрезерного паливного торфу, який може використовуватися для виробництва паливних брикетів і пелет для економії коштів на доставці сировини на виробництві .

Завод вироблятиме 20 т. продукції за зміну (зміна 12 годин), буде потрібно близько 50м³ сировини на одну зміну.

Робота підприємства передбачає певні цикли – 2 зміни на добу, робота зміни 12 годин – 4 робочі зміни на тиждень. Відвантаження продукції зі складу 160т. - підготовка сировини на наступний цикл 400-500м³ - залишилися 3 дні тижня.

Вивчено внутрішній ринок збуту готової продукції:

Ціна на паливні гранули в Україні буде залежати від області та вартості енергоресурсів у цій галузі – але не менше ніж 1500 грн. за тону. Даний проєкт має певну міру ризику, тому був проведений аналіз факторів, які можуть стати перешкодами ринковому впровадженню. Аналіз зображено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Фактори ризиків

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
Конкуренція	Зменшення попиту	Удосконалення технології виробництва
Сезонність	Видобуток сировини можливий при температурі вище 0°	Збільшення видобутку за сезон для накопичення сировини

4.4 Планові виробничі площі та електропостачання підприємства.

Для заводу знадобиться цех – виробничий цикл (А), площа якого не менше 200 м². Склад готової продукції (В) із процесом можливого логістичного транспортування, пересипання в іншу тару - 400 м². Майданчик (відкритий) для зберігання сировини та попередньої підготовки (С) – не менше 300 м². Потужність електропостачання заводі (сума всіх потужностей) приблизно 45-50кВт/год.

Обладнання та обслуговування виробництва: Цикл виробництва починається із заготівлі сировини – торф фрезерний, вологість не більше 60% і не менше 40% - запас на тиждень роботи підприємства.

Устаткування основне №1 (комплексне рішення)

Завдання комплексу:

1) видалити непотрібні включення – каміння, гілки, коріння рослин , а також металеве та інше сміття.

2) підготувати сировину в однорідну масу.

3) механічний віджимання сировини від зайвої вологи.

Устаткування основне №2а – бункер дозатор

У бункері дозаторі:

Однорідна підготовлена торфомаса (торф – в однорідній масі) автоматично та лінійно подається в обладнання основне №2б (2 одиниці) – торфопрес .

Устаткування основне №2б - торфопрес .

Дії відбуваються за формулою: (мах.)Робота преса = подача бункер дозатор - (мінус) 5-7%

Устаткування основне №3 – багатокomпонентна сушильна камера

Сформована паливна гранула з пресу потрапляє в сушарку – де за 20 (+- 15%) хвилин знаходження пелети в сушильній камері піддається швидкісному потоку гарячого повітря ($V=6,5$ м/с) за температури $T = 85-95$ градусів Цельсія. Процес сушіння відбувається в кілька операцій без участі оператора. Контроль вологості та температури гранул, а також завершення сушіння відбувається автоматично . При виході з сушильної камери гранула палива з 15% вологістю потрапляє на основне обладнання №4 - лінія доведення продукції.

Основне обладнання №4 – лінія доведення продукції

Завдання обладнання створення певних механічних якостей паливної гранули за рецептом, технологічний процес відбувається автоматично: примусове охолодження або навпаки нагрівання та наступні примусове охолодження та винесення вологи з гранул.

Основне обладнання №5 -логістика

Приймач готової продукції, ваги, логістичний транспортер для переміщення готової продукції до складу.

Устаткування основне №6 – Теплогенератор на твердому паливі – 160 кВт

Регульована автоматична подача тепла та потоку повітря.

Для запуску заводу з виробництва паливних гранул необхідно:

Цех – виробничий цикл (А);

Склад готової продукції (В);

Устаткування основне №1;

Устаткування основне №2а;

Устаткування основне №3;

Основне обладнання №4;

Основне обладнання №5;

Устаткування основне №6 - теплогенератор 160кВт + дозатор;

Обладнання основне №7 - електропостачання та електрифікація, (крім трансформатора на 100 кВА . і введення в приміщення (А).

4.5 SWOT-аналіз

На основі ринкових можливостей складається SWOT-аналіз. Для аналізу

можливостей та впровадження проекту це є фінальним етапом. [18]

Аналіз має 4 складових:

- Strengths (Сили);
- Weaknesses (Слабкості);
- Opportunities (Можливості);
- Threats (Загрози).

Перелік ринкових можливостей та загроз складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками впливу факторів, та на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

SWOT-аналіз стартап-проекту представлений в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 - SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони(S)	Слабкі сторони(W)
<ul style="list-style-type: none"> - Необхідність продукту наразі. - Економія витрат - Найкращі технологічні рішення - Низька вартість продукту 	<ul style="list-style-type: none"> - Наявність конкуренції - Сезонність - Неможливість застосування в інших сферах
Можливості(O)	Загрози(T)
<ul style="list-style-type: none"> - Удосконалення технології в подальшому 	<ul style="list-style-type: none"> - Складний вихід на ринок через монополістів

Висновки розділу 4

Розроблений стартап-проект для вироблення паливних гранул з фрезерного торфу є досить перспективним для цільового ринку. Хоча на даний момент усі споживачі намагаються перейти на відновлювальні джерела енергії, застаріле обладнання для «спалювання» вугілля, дров, мазуту та газу нікуди не зникає, ще певний, можливо довгий, час країни не зможуть повністю перевлаштуватись на отримання тепла та електроенергії від ВДЕ. Стартап-проект має певний ряд загроз і можливостей їх показав SWOT-аналіз разом із слабкими та сильними сторонами.

ВИСНОВКИ

1. В даній роботі проаналізовані відновлювальні джерела енергії. Наданий опис використання ВДЕ в системах енергозабезпечення та впровадження систем накопичення енергії.
2. Встановлено, що завдяки впроваджені мікромережі на об'єкт, споживач за найкращих умов стає повністю енергонезалежним, також у випадку форс-мажорних ситуацій є можливість отримувати електроенергію від мережі за тарифами постачальника.
3. Спроектовано сонячну електростанцію для забезпечення електропостачання об'єкта дослідження. Встановлена потужність СЕС дорівнює 20кВт, обрано інвертор фірми LuxPower серії Sonar, річне виробництво електричної енергії складає 22МВт*год. Термін окупності запропонованої сонячної електростанції складає 7 років, а повне повернення капіталу 5 років.
4. Для автономного електрозабезпечення мікромережі розраховано та обрано накопичувачі енергії та генераторну установку для задоволення потреб об'єкту у пікові години використання. Розглянуто особливості обраного інвертору та можливості підключення до нього генераторної установки.
5. На основі аналізу цін на паливно-енергетичні ресурси був запропонований стартап-проект. Ідеєю проекту є міні-завод з виробництва паливних торф'яних брикетів та пелетів. Кінцевий продукт є значно дешевшим від середньостатистичних цін на найрозповсюдженіший вид палива для обігріву – вугілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Electricity Market, 2008. EEM 2008. 5th International Conference on European, Conference Paper «On the use of energy storage technology for regulation services in electric power systems with significant penetration of wind energy».
2. «Емануеле Вольпе: Системи накопичення енергії – ключ до енергобезпеки України», <https://dtek.com/media-center/news/emanuele-volpe-sistemy-nakopleniya-energii---klyuch-k-energobezopasnosti-ukrainy/>
3. Назва сйту Режим повилання
<https://iclub.energy/blog/grigoruk/tpost/nvms5h7bhh-sistemi-nakopichennya-energ-ukrana-znaho>
4. Veremiichuk, Y., Prytyskach, I., Yarmoliuk, O., Opryshko, V. Energy Hub Function Optimization Models During Ukrainian Energy Resources Market Liberalization. Power and Electrical Engineering. Vol.34, 2017, pp.49-52. ISSN 2256-0238. e-ISSN 2256-0246.
5. «Системи накопичення енергії (energy storages): перспективи для України». Режим доступу: <https://getmarket.com.ua/ua/news/sistemi-nakopichennya-energiyi-energy-storages-perspektivi-dlya-ukrayini>
6. Стаття «Системи накопичення енергії: «Україна знаходиться тільки на етапі їх запровадження». Режим доступу: <https://iclub.energy/blog/grigoruk/tpost/nvms5h7bhh-sistemi-nakopichennya-energ-ukrana-znaho>
7. «Проект Закону про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку систем накопичення енергії». Режим доступу : http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=72789
8. «Варіанти автономного енергозабезпечення будинку». Режим доступу: <https://allbuild.pp.ua/budivnitstvo/inzhenerni->

[sistemi/elektropostachannia/avtonomne-energozabezpechennia-zamiskogo-budinku-varianti](#)

9. Giovanni Filatrella; Arne Hejde Nielsen; Niels Falsig Pedersen (2008). Analysis of a power grid using the Kuramoto-like model. *European Physical Journal B*. pp.20-26
10. David Lusseau (2003). The emergent properties of a dolphin social network. *Proceedings of the Royal Society of London*. pp.1-5
11. Olaf Stenull; Hans-Karl Janssen (2001). Nonlinear random resistor diode networks and fractal dimensions of directed percolation clusters.
12. Miao He; Sugumar Murugesan; Junshan Zhang (2010). «Multiple Timescale Dispatch and Scheduling for Stochastic Reliability in Smart Grids with Wind Generation Integration».
13. Sahand Haji Ali Ahmad; Mingyan Liu; Yunnan Wu (2009). «Congestion games with resource reuse and applications in spectrum sharing». pp.31-36
14. «Вибір акумуляторної батареї для сонячної станції». Режим доступу: <https://prel.prom.ua/a257262-vibir-akumulyatornoyi-batareyi.html>
15. «Видобуток торфу в Україні, доцільність відновлення торфородовищ». Режим доступу: <https://eba.com.ua/vydobutok-torfu-v-ukrayini-dotsilnist-vidnovlennya-torfovyyshh/>.
16. «Священна книга стартапера» / С. Бланк, Б. Дорф ; с. 85-115.
17. «Міненергетики: 61% обладнання та 4,95% ліній електромереж спрацювало свій ресурс». Режим доступу: <https://ua-energy.org/uk/posts/minenerhetyky-61-obladnannia-ta-495-linii-elektromerezh-spratsiuvalo-svii-resurs>.
18. Вовк А.Р. «ENERGY ACCUMULATION SYSTEM». Матеріали XXII міжнародної науково–практичної онлайн конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених. с.107-108.
19. «Системи на базі технологічної платформи Smart Grid». Режим доступу: <https://ep.kpi.ua/uk/node/22>.

20. Богомолова О.С. Методи та моделі оцінки потужності сонячної та вітрової генерації у вузлах електричної мережі. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 - «Електричні станції, мережі і системи» - НТУУ «КПІ імені І. Сікорського» Київ, 2021, – 155 с.
21. Кириленко О.В. Основні проблеми інтеграції відновлювальних джерел електроенергії в «слабкі» мережі / О.В. Кириленко, В.В. Павловський, Л.М. Лук'яненко, І.В. Трач // Техн. електродинаміка. – 2012. – №3. – С.25-26.
22. Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями: монографія / П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, С.В. Кравчук, та ін. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 136 с.
23. Рубаненко О.О. Аналіз нестабільності негарантованих джерел енергії в електричних мережах / О.О. Рубаненко // Вісник Хмельницького національного університету, №5. 2020. – 5 с.
24. Лежнюк, П. Д. Вплив розосередженого генерування на надійність роботи електричних мереж / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук, І. В. Котилко // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 45 (1321). – С. 25-31. – doi:10.20998/2413-4295.2018.45.04. 94
25. Оцінювання надійності у локальних системах з установками відновлюваної енергетики / Д.Г. Дерев'янюк, В.С. Панасенко, О.С. Масло, О.М. Загорський // Енергетика: економіка, технології, екологія, № 3. – 2019. – 7 с.
26. Рибак В.П.: «Оцінювання впливу відновлюваних джерел електроенергії на якість електропостачання». Магістерська кваліфікаційна робота - Вінниця: ВНТУ, 2015. – 102 с.,
27. Кузнецов М.П. Особливості стохастичної оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ / М.П. Кузнецов, О.В. Лисенко, О.А. Мельник // Відновлювана енергетика. – 2018. – № 2. – С. 6-15
28. Кармазін О.О. Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики. – Дисертація на

здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.08 - «Перетворювання відновлюваних видів енергії» - Інститут відновлюваної енергетики НАН України. - Київ, 2019, – 143 с.

29. Лежнюк П.Д. Визначення оптимальної потужності резерву для забезпечення балансової надійності локальної електричної системи / П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, С.В. Кравчук // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2016. – № 42 (1214). – С. 69-75. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.11.

30. Комар В. О. Оцінювання якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії. . – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2019. Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2019.