БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА
БР.ІВЕ - 02.00.000 ПЗ

Група ІВЕ -20-1
Юлія Григораш

2024

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

Григораш Юлія Віталіївна
(прізвище,ім'я,побатькові)

УДК 620.91

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Визначення параметрів балансування енергозабезпечення кафедри поєднанням сонячної енергогенерації, акумулювання та споживання енергії
(назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики
(назва освітньої програми)

152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
(шифр і назва спеціальності)

Ю.В. Григораш
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Цих Віталій Сергійович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту
В.о. завідувача кафедри
О.Є. Середюк
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

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

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

Івано-Франківськ – 2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень Бакалавр

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
В.о. завідувача кафедри
інформаційно-вимірювальних технологій
_____ *О. Є.Середюк*
“ ____ ” _____2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Григораш Юлія Віталіївна

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи *Визначення параметрів балансування енергозабезпечення кафедри поєднанням сонячної енергогенерації, акумулювання та споживання енергії*

керівник роботи *Цих Віталій Сергійович, канд. техн. наук, доцент*,

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

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

2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи *Статистичні дані щодо споживання паливно-енергетичних ресурсів приміщеннями корпусу 9 на базі системи моніторингу, основний перелік енергоспоживаючого обладнання та графіки роботи, метеорологічні параметри*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Аналіз особливостей побудови та функціонування систем енергозабезпечення будівель на основі сонячних електростанцій; Оцінювання та прогнозування необхідних параметрів роботи СЕС і акумуляційної системи на прикладі кафедри ІФНТУНГ; Розробка проєкту гібридної СЕС для кафедри ІФНТУНГ*

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

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання __*24 квітня 2024 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	*Розділ 1 Аналіз особливостей побудови та функціонування систем енергозабезпечення будівель на основі сонячних електростанцій*	*24.04.2024 – 10.05.2024*	
2	*Розділ 2 Оцінювання та прогнозування необхідних параметрів роботи СЕС і акумуляційної системи на прикладі кафедри ІФНТУНГ*	*11.05.2024 – 28.05.2024*	
3	*Розділ 3 Розробка проєкту гібридної СЕС для кафедри ІФНТУНГ*	*29.05.2024 – 10.06.2024*	
4	*Оформлення бакалаврської роботи*	*11.06.2024 – 14.06.2024*	

Студент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Григораш Ю. В. «Визначення параметрів балансування енергозабезпечення кафедри поєднанням сонячної енергогенерації, акумулювання та споживання енергії». ІФНТУНГ, 2024. 72 с.

Бакалаврська робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2024.

У бакалаврській роботі досліджено принцип роботи сонячних електростанцій, описано застосування їх у громадському та приватному секторах, виокремлено особливості генерації електроенергії, здійснено розрахунок генерації електроенергії в залежності від метеорологічних умов, проведено аналіз споживання електроенергії приміщень кафедри з врахуванням пріоритетного навантаження. Розглянуто параметри балансування енергозабезпечення на прикладі встановлення гібридної сонячної електростанції для забезпечення освітнього процесу двох приміщень кафедри енергетичного менеджменту та технічної діагностики в ІФНТУНГ.

Подано загальний опис об’єкту проєктування, вигляд даху, де будуть розміщуватись майбутні фотомодулі, виділено пристрої пріоритетного навантаження, тобто пристрої, яким потрібна електроенергія навіть для тих випадків, коли немає електроенергії в мережі. Окреслено основні проблеми та розроблено структурну схему гібридної фотоелектричної станції для забезпечення освітнього процесу кафедри ЕМТД.

Зокрема, відзначено, що впровадження систем акумуляції для балансування генерації СЕС допомагає забезпечити стабільність, ефективність та стійкість енергетичної системи.

Ключові слова: сонячна електростанція, акумуляторна батарея, параметри балансування енергозабезпечення, акумуляційна установка.

ABSTRACT

Hrygorash Y.V. “Determination of parameters for balancing the energy supply of the department by combining solar energy generation, energy storage and consumption”. IFNTUOG, 2024. 72 c.

Bachelor's thesis for a bachelor's degree in specialty 152 “Metrology and information and measuring equipment”. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk, 2024.

The bachelor's thesis investigates the principle of solar power plants operation, describes their application in the public and private sectors, highlights the features of electricity generation, calculates the electricity generation depending on meteorological conditions, analyses the electricity consumption of the department's premises taking into account the priority load. The parameters of energy supply balancing are considered on the example of installing a hybrid solar power plant to ensure the educational process of two premises of the Department of Energy Management and Technical Diagnostics at IFNTUOG.

The general description of the design object, the view of the roof where future PV modules will be placed, and the priority load devices, i.e. devices that need electricity even when there is no electricity in the grid, are highlighted. The main problems are outlined and a structural diagram of a hybrid photovoltaic power plant is developed to support the educational process of the EMTD department.

In particular, it is noted that the introduction of accumulation systems to balance the generation of SPPs helps to ensure the stability, efficiency and sustainability of the energy system.

Keywords: solar power plant, storage battery, power supply balancing parameters, storage installation

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	9
1.1 Принцип роботи сонячних електростанцій ……	9
1.2 Приклади застосування СЕС в громадському та приватному секторах	14
1.3 Принцип роботи та класифікація акумуляторних батарей …….	22
1.4 Параметри балансування енергозабезпечення …….	29
1.5 Постановка задачі дослідження …….	30
РОЗДІЛ 2 ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СЕС І АКУМУЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ КАФЕДРИ ІФНТУНГ	32
2.1 Оцінювання генерації електроенергії СЕС залежно від метеорологічних умов ……	32
2.2 Дослідження споживання електроенергії на прикладі приміщень кафедри ІФНТУНГ ……...	38
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРОЄКТУ ГІБРИДНОЇ СЕС ДЛЯ КАФЕДРИ ІФНТУНГ	50
3.1 Загальний опис об’єкту проектування …….	50
3.2 Розрахунок споживання електроенергії з визначенням пріоритетного навантаження ……	51
3.3 Розроблення і опис структурної схеми гібридної фотоелектричної станції для забезпечення потреб приміщень кафедри ……..	52
3.4 Підбір елементів гібридної СЕС для забезпечення балансування енергоспоживання приміщень кафедри ..…….	54
3.4.1 Підбір системи фотомодулів автономної фотоелектричної станції	54
3.4.2 Підбір гібридного інвертора для автономної фотоелектричної станції ……	58
3.4.3 Підбір акумуляторної системи для балансування	60

енергоспоживання кафедри ……..	
3.4.4 Підбір системи захисної автоматики автономної ФЕС ……	61
3.5 Економічний аналіз впровадження СЕС ……..	64
ВИСНОВКИ …….....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……	71
ДОДАТКИ ……	74

ВСТУП

Актуальність роботи

Питання ефективного забезпечення електричною енергією будівель та споруд є надзвичайно актуальним на сьогодні, особливо в умовах аварійних відключень електричної енергії у зв'язку із руйнуванням енергетичної інфраструктури. Навчальні заклади (ліцеї, університети) характеризуються особливим графіком роботи, що ставить вимоги до забезпечення їх енергопостачанням, в першу чергу, в окремі періоди доби, а саме – в робочий час. Одним із можливих рішень альтернативного забезпечення електричною енергією є використання сонячної енергетики, яка на даний час продовжує активно розвиватися. Важливим є той факт, що в більшій мірі період можливого вироблення електричної енергії сонячною електростанцією впродовж доби є найбільш близьким до періоду роботи навчальних закладів. Щоправда, враховуючи непостійність такого ресурсу як сонячне випромінювання, доцільно для таких систем передбачати можливість акумулювання енергії. Тому, з метою якісної реалізації системи альтернативного забезпечення електричною енергією, необхідно оцінити реальне споживання об'єктом, врахувати особливості можливого збільшення споживання енергії, а також оцінити можливості генерації для конкретного технічного рішення із урахуванням метеорологічних умов.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є оцінювання основних параметрів балансування системи енергозабезпечення приміщень кафедри університету поєднанням сонячної енергогенерації, акумулювання та споживання енергії.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз особливостей побудови та функціонування систем енергозабезпечення будівель на основі використання сонячних електростанцій із системами акумулювання;

- оцінити реальні та деталізовані обсяги споживання електричної енергії на прикладі кількох приміщень університету із врахуванням основного навантаження;

- проаналізувати вплив метеорологічних умов на споживання електричної енергії приміщеннями із встановленням рівня кореляції для конкретного випадку;

- провести необхідний розрахунок та підбір елементів гібридної СЕС із системою акумулювання.

Об'єкт дослідження – процес балансування енергозабезпечення приміщень поєднанням сонячної енергогенерації, акумулювання та споживання енергії

Предмет дослідження – використання гібридної СЕС для балансування енергоспоживання приміщень кафедри університету.

Методи дослідження

У роботі використані методи аналізу даних щодо енергоспоживання на прикладі приміщень кафедри університету на базі даних із встановленої системи енергомоніторингу. Проведена оцінка генерації електроенергії залежно від метеорологічних умов: прогнозування генерації станції в залежності від географічного розташування та кліматичних умов (вологості, хмарності, кількості опадів, температури, тощо. Також використані методи розрахунку основних параметрів гібридної СЕС із системами акумулювання енергії.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування наведеного підходу і для інших навчальних закладів, що полягатиме у оцінюванні реального споживання енергії на базі використання спеціалізованих систем моніторингу, виборі найбільш пріоритетного навантаження та розрахунку і підбору відповідної системи генерації та акумулювання енергії.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1 Принцип роботи сонячних електростанцій

Сонячна електростанція (СЕС) – це інженерна споруда, що використовується для перетворення сонячної радіації (випромінювання) в електричну енергію. Такі електростанції бувають двох видів: фотоелектричні, що безпосередньо перетворюють сонячну енергію в електроенергію за допомогою фотоелектричного модулю, та термодинамічні, що перетворюють сонячну енергію в теплову, а потім в електричну. У роботі ми робимо акцент на фотоелектричних сонячних електростанціях, узагальнену структурну схему якої наведено на рисунку 1.1.

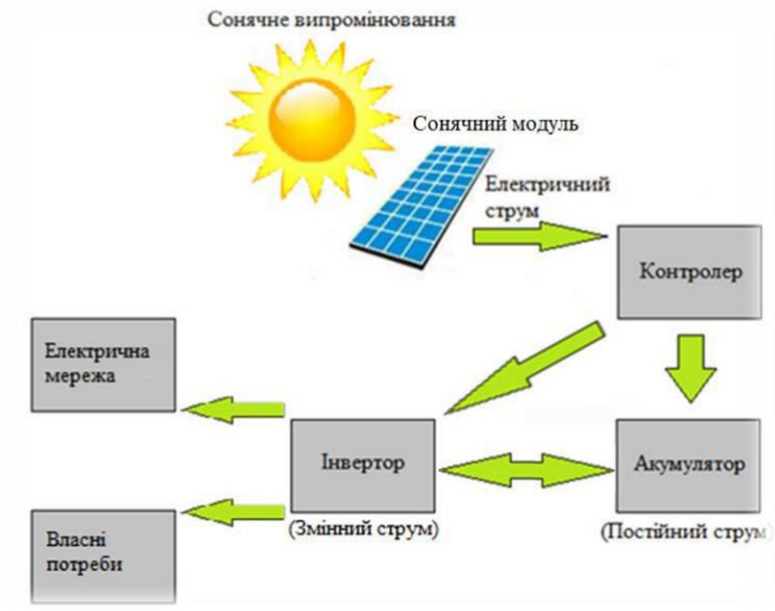


Рисунок 1.1 – Узагальнена структурна схема фотоелектричної сонячної електростанції [1]

Сонячне випромінювання потрапляє на сонячний модуль, після чого перетворюється в електричний струм постійної напруги. Контролер регулює напругу і струм, які надходять від сонячного модуля та накопичуються в акумуляторі, та подаються до інвертора. Акумулятор (акумуляторна батарея) накопичує електричну енергію для забезпечення живлення навантаження за відсутності сонячного випромінювання. Акумулятор може бути відсутнім у складі сонячної електростанції. Інвертор перетворює електричний струм постійної напруги в електричний струм змінної напруги, що використовується на власні потреби (живить навантаження), або надходить до електричної мережі (надлишки від власних потреб). Існують три основні схеми підключення сонячних електростанцій, а саме:

1) автономна схема (off-grid);

2) підключення до мережі (on-grid);

3) схема резервного живлення.

Автономна схема, яка наведена на рисунку 1.2, використовується для живлення споживачів, де немає централізованого електропостачання.

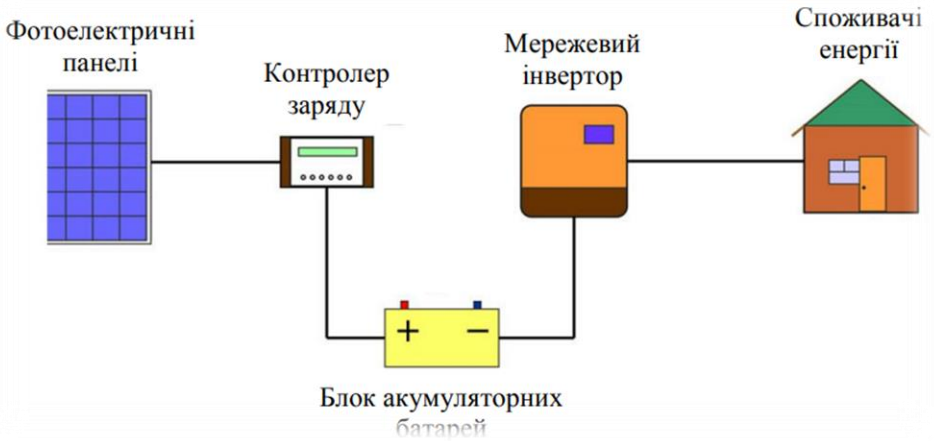


Рисунок 1.2 – Автономна схема підключення сонячної електростанції [2]

В установках цього типу вироблена електроенергія накопичується в акумуляторі та використовується потім у темний час доби або в період слабкої дії сонячного випромінювання. Необхідно, щоб енергія сонячного випромінювання забезпечувала одночасне живлення електроенергією

навантажень та заряду акумулятора. У додатку А, як приклад, наведено параметри одного з акумуляторів, призначеного для роботи в складі сонячних електростанцій.

Схема on-grid, показана на рисунку 1.3, забезпечує не тільки живлення навантажень, а й продаж надлишку електроенергії в централізовану електромережу за «зеленим» тарифом.

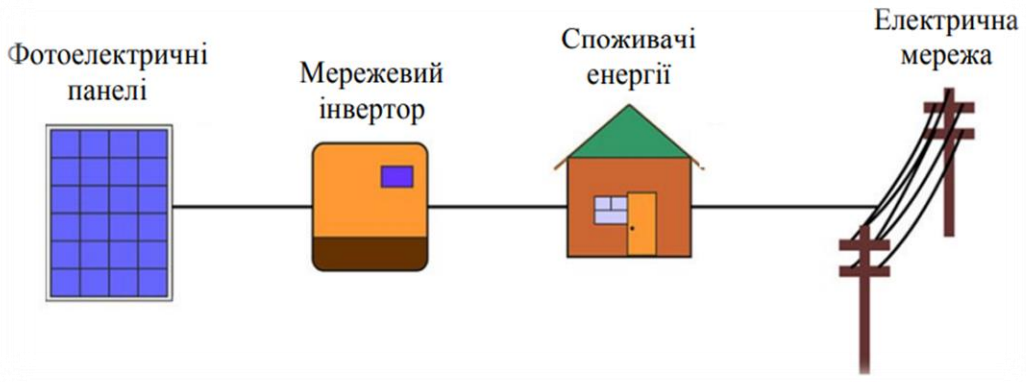


Рисунок 1.3 – Схема підключення сонячної електростанції до мережі [3]

Цей вид підключення СЕС не потребує накопичення енергії в акумуляторі: весь струм відразу передається (продається) в мережу згідно «зеленого» тарифу, а навантаження живляться від централізованої мережі. Кількість відданої в мережу електроенергії і спожитої з мережі обліковується окремими лічильниками. Оформлення «зеленого» тарифу для домашніх господарств має два обмеження: сонячні батареї мають бути розміщені на даху або інших частинах будівель (не на землі), а загальна потужність не повинна перевищувати 30 кВт.

Схема гібридного резервного живлення (рисунок 1.4) використовується у випадку ненадійної роботи мережі централізованого електропостачання – відхилення якості енергії від стандартної та можливого відключення. До інвертора підключаються всі джерела електроенергії – централізована мережа, фотоелектрчні панелі, іноді і резервний електрогенератор (дизельна електростанція або бензогенератор).

Найчастіше основним джерелом електроенергії в такій схемі виступають фотоелектричні панелі. У разі відключення мережі або недостатнього рівня мережевої напруги навантаження живиться від фотоелектричної установки або акумулятора. Гібридні сонячні електростанції слугують для електропостачання найбільш важливих навантажень – освітлення, персональні комп'ютери, засоби зв'язку та ін.

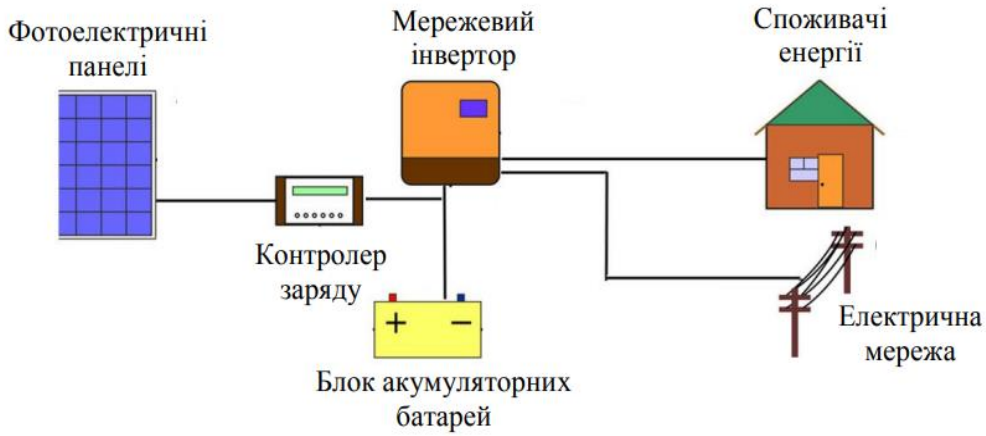


Рисунок 1.4 – Схема гібридного резервного живлення [4]

Окрім безперебійного електроживлення така схема забезпечує і експорт надлишку виробленої електроенергії в мережу (продаж за «зеленим» тарифом), якщо сонячна електростанція виробляє більше електроенергії, ніж необхідно для живлення навантаження на даний час, а акумуляторні батареї повністю заряджені [5-10].

Найпростіша конструкція сонячного елементу (СЕ) – приладу для перетворення світлового випромінювання у видимому та ближньому інфрачервоному спектральному діапазоні у електричний струм за допомогою явища внутрішнього фотоефекту показана на рисунку 1.5.

На малій глибині від поверхні кремнієвої пластини р-типу сформований p-n перехід з тонким металевим контактом. На тильну сторону пластини нанесено суцільний металевий контакт. Коли СЕ освітлюється, поглинені фотони генерують нерівноважні електрон-діркові пари. Електрони, що генеруються в р-шарі поблизу p-n-переходу, підходять до p-n-переходу і існуючим в ньому

електричним полем виносяться в n-область. Аналогічно і надлишкові дірки, створені в n-шарі, частково переносяться в p-шар. У результаті n-шар набуває додаткового негативного заряду, а p-шар – позитивного. Знижується первісна контактна різниця потенціалів між p і n-шарами напівпровідника, і в зовнішньому ланцюзі з'являється напруга. Негативному полюсу джерела струму відповідає n-шар, а p-шар – позитивному. Дослідження явища проведено багатьма науковцями [11-17]

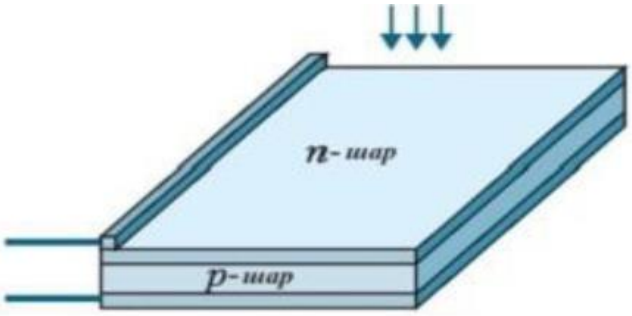


Рисунок 1.5 – Конструкція сонячного елемента

Особливості застосування фотоелектричних станцій

Головна перевага альтернативних (відновлюваних) джерел енергії – збереження чистоти екології та абсолютна відсутність шкідливих викидів в атмосферу. До основних недоліків варто віднести нерівномірність й нерегулярність потужності, яка виробляється протягом доби або інші тимчасові проміжки. Крім того, вона залежить від кількості сонячних днів в році на певній території.

Наприклад, в похмурі дні або з настанням періоду затяжних дощів, а також у нічний час, вироблення електрики припиняється. І навпаки – кількість виробленої електроенергії в погожі, ясні дні є надмірною, перевищуючи потреби її споживачів. Це вимагає придбання акумуляторів, ціна яких істотно вища за собівартість виробленої кВт/год енергії.

В умовах щорічного підвищення цін на енергоносії в Україні, вибір перспективних джерел альтернативної енергії для забезпечення електричною

енергією будівель є оптимальним рішенням. Серед вигод, які забезпечуються використанням альтернативної енергії, можна виділити:

- високу автономність роботи;
- мінімізацію витрат електрики з центральної мережі;
- можливість генерації тепла при будь-яких погодних умовах;
- абсолютну безпеку для екології та людини;
- можливість збільшувати споживання енергії;
- можливість забезпечувати електрикою будівлі, розташовані далеко від інженерних комунікацій.

Варіантів вибору місця для монтування сонячних панелей всього два: на даху будинку або на попередньо побудованих наземних конструкціях (у межах приватного домогосподарства). На дах рекомендується встановлювати панелі, сумарна потужність яких буде не більшою 30кВт (це близько 200 м²). В інших випадках рекомендується розміщувати панелі на наземних конструкціях. Також можна комбінувати обидва способи.

1.2 Приклади застосування СЕС в громадському та приватному секторах

Найпопулярнішим рішенням для забезпечення електроенергією складів та логістичних центрів, які містяться в окремих будівлях великої площі та малої поверховості, є дахова сонячна електростанція (рисунок 1.6). Вона дозволяє максимально реалізувати потенціал існуючих будівель та не вимагає оренди додаткових площ. При такому розміщенні практично відсутня можливість затінення сонячних панелей і вони працюють максимально ефективно. За рахунок встановлення високоефективних сонячних панелей, які використовують сонячну енергію, можна навіть на даху невеликої площі отримати досить потужну сонячну установку.

Головна перевага, яку гарантує сонячна електростанція для підприємства «під ключ» – це зниження витрат на електроенергію за рахунок часткового або повного заміщення споживання за рахунок власної генерації дешевшої «сонячної» електрики.

Рисунок 1.6 – Приклад застосування сонячних електростанцій для логістичного центру

Окупність будівництва власної сонячної електростанції для підприємств, що працюють в сфері логістики, складає від 3 до 8 років. В середньому інвестиції в будівництво комерційної сонячної електростанції на даху складу чи іншої споруди повертаються протягом 5 років за умови, що потужність встановлених сонячних батарей буде щонайменше 200-250 кВт. Дуже сильно на фінансові показники проекту впливає поточна та прогнозована вартість традиційної електроенергії, яку планується замістити “сонячною”. Саме через постійне подорожчання електроенергії, яка вироблена за допомогою традиційних викопних джерел, використання ВДЕ стає все більш економічно доцільним та привабливим [18-24].

Найбільш вигідним варіантом є заміщення частини власного споживання електроенергії за допомогою сонячних батарей. Такі сонячні електростанції розміщуються на дахах та фасадах складських приміщень і проектуються таким чином, щоб вся згенерована електроенергія споживалась безпосередньо на території логістичного підприємства (терміналу, складу). Відсутність необхідності акумулювання надлишків електроенергії або їх продажу в зовнішню мережу суттєво знижує вартість питомих інвестицій в сонячну електростанцію. Звичайно, сучасне фотоелектричне обладнання дозволяє

вирішувати будь-які технічні задачі навіть до повного 100% забезпечення складів сонячною електроенергією. Але як раз грамотне поєднання технічних можливостей з економічною доцільністю дозволяє отримувати найбільш оптимальні інженерні рішення.

Застосування сонячних електростанцій для освітніх закладів

Застосування СЕС в освітніх закладах України має ключове значення з огляду на економічні, екологічні та освітні переваги. Цей підхід допомагає вирішити низку актуальних проблем, з якими стикаються українські школи та університети.

В умовах зростання цін на електроенергію та бюджетних обмежень, освітні заклади України можуть значно зекономити кошти завдяки використанню сонячних електростанцій. Також дане питання стає все більш актуальним у випадку систематичних вимкнень електричної енергії внаслідок руйнування енергетичної інраструктури. Встановлення СЕС дозволяє знизити витрати на енергопостачання, що вивільняє фінансові ресурси для інших потреб, таких як покращення навчальних матеріалів, ремонт інфраструктури та підвищення зарплат працівникам.

Приклад встановлення СЕС для освітнього закладу зображений на рисунку 1.7. Гібридна сонячна станція спроектована компанією СТЕМ СОЛАР для Делятинського ліцею №2, Івано-Франківська область.

За звичайного режиму роботи станція генерує електроенергію та використовувати її для власних потреб ліцею, тим самим зменшуючи кількість використаної електроенергії з мережі та економлячи кошти. А під час відключень електроенергії, дана гібридна електростанція, завдяки гібридному інвертору, акумуляторам та сонячним панелям - стане джерелом резервного живлення.

Основні характеристики системи:

- Потужність СЕС (змінного струму - AC): 30кВт
- Кількість сонячних модулів: 68 шт., модель HT54-18(X)N
- Гібридний інвертор: SUN-30K-SG01HP3-EU-BM3 Deye WiFi - Акумуляторні батареї: 6 шт., модель BOS-GM5.1 Deye

Рисунок 1.7 – Зображення СЕС на даху будівлі Делятинського ліцею №2

Застосування сонячних електростанцій для закладів охорони здоров'я

СЕС є важливим елементом сучасної інфраструктури, і їх застосування в лікарнях в Україні має кілька критично важливих переваг. Далі наведено основні аспекти, які підкреслюють важливість інтеграції СЕС у медичні заклади країни.

Лікарні потребують стабільного та безперебійного постачання електроенергії для забезпечення функціонування життєво важливого медичного обладнання. СЕС можуть забезпечити надійне джерело енергії, особливо у випадках перебоїв або відключень електроенергії. Це особливо важливо у віддалених районах, де доступ до стабільної електромережі може бути обмеженим.

Встановлення сонячних панелей дозволяє лікарням знизити свої витрати на електроенергію. Зекономлені кошти можуть бути перенаправлені на покращення медичних послуг, закупівлю нового обладнання або підвищення заробітної плати медичного персоналу. В умовах обмеженого фінансування це стає значною перевагою для медичних закладів.

Приклад встановлення СЕС для закладу охорони здоров'я зображений на рисунку 1.8. Гібридна сонячна станція спроектована компанією СТЕМ СОЛАР для Лисецької лікарні, Івано-Франківська область.

Рисунок 1.8 – СЕС, розміщена на даху Лисецької лікарні

Проектована сонячна електростанція передбачена для генерації електричної енергії для використання на власні потреби головного корпусу лікарні.

Характеристики системи:

- Потужність системи: 60,5 кВт

- Фотоелектричні модулі HT72-18X (550Вт*од.) - 110 шт

- Інвертор Huawei SUN2000-50KTL-M3 (50кВт*од.) – 1 шт. загальною потужністю 50 кВт (АС).

Застосування сонячних електростанцій для комунальних підприємств

СЕС також є важливим інструментом для модернізації та підвищення ефективності роботи комунальних підприємств, зокрема водоканалів, в Україні. Їх впровадження має численні переваги, які роблять цей вид енергетики особливо актуальним у сучасних умовах.

Водоканали є одними з найбільших споживачів електроенергії серед комунальних підприємств. Встановлення СЕС дозволяє значно знизити витрати на електроенергію, що в свою чергу сприяє зниженню собівартості послуг водопостачання та водовідведення.

Використання власної відновлюваної енергії забезпечує незалежність від коливань цін на електроенергію, що допомагає у плануванні бюджету та зменшує фінансові ризики.

СЕС дозволяють водоканалам частково або повністю забезпечити власні потреби в електроенергії, що знижує залежність від національної енергомережі та підвищує надійність енергопостачання.

У разі аварій або перебоїв у постачанні електроенергії з національної мережі, власні СЕС забезпечують безперервну роботу водоканалів, що є критично важливим для надання безперебійних послуг населенню.

Впровадження СЕС відповідає національним стратегіям України з розвитку відновлюваних джерел енергії та енергетичної незалежності. Це також сприяє виконанню міжнародних зобов'язань країни щодо зниження викидів парникових газів.

В Україні існують різноманітні програми та гранти для підтримки проектів з впровадження відновлюваних джерел енергії, що можуть допомогти водоканалам у фінансуванні встановлення СЕС.

Приклад встановлення СЕС для водоканалу зображений на рисунку 1.9.

Рисунок 1.9 – СЕС Долинського водоканалу

Станція побудована компанією СТЕМ СОЛАР для водоканалу Долинської Міської Ради в Івано-Франківській області.

Перевагою використання сонячної енергії для потреб водоканалу є те, що підприємство зможе не піднімати тариф, адже однією з складових роботи водоканалу є витрати на електроенергію. Крім того, на зекономлені гроші

підприємство матиме змогу замінювати зношені мережі та вчасно платити зарплату працівникам.

Характеристика системи:

Потужність станції: 143кВт

- Фотоелектричні модулі HT 550Вт
- Інвертори Huawei SUN2000 – 3шт.

Етапи реалізації проєкту по будівництву сонячної електростанції

Етапи реалізації проєкту по будівництву сонячної електростанції зазвичай включає такі етапи:

- Передпроектний аналіз;
- Отримання технічних умов (ТУ) на приєднання
- Проектні роботи;
- Будівництво СЕС;
- Отримання ліцензії та «зеленого тарифу»;
- Оформлення процедури роботи з оператором системи передачі (ОСП) для виробництва електроенергії.

Орієнтовні терміни реалізації кожного етапу проєкту наведено на рисунку 1.10.

Слід зауважити, що застосування акумуляторних батарей (АКБ) для балансування генерації СЕС є актуальним завданням в сьогоднішніх умовах [25-29]. Американський інститут, Rocky Mountain Institute, провів дослідження чинних оцінок вартості для енергосистеми та споживачів. Результати дослідження показали, що накопичувачі енергії можуть надавати тринадцять загальних послуг електроенергетичній системі (рисунок 1.11). Ці послуги та цінність, яку вони створюють, зазвичай надходять до однієї з трьох груп зацікавлених сторін: споживачів, енергетичних чи промислових компаній або незалежних системних операторів / регіональних організацій з передачі електроенергії (ISO/RTO).

Найменування робіт	Терміни
1. Передпроектний аналіз • Аналіз можливості і умов будівництва СЕС • Розрахунок прогнозованої генерації • Техніко-економічний аналіз доцільності будівництва СЕС • Розробка ескізного проекту • Затвердження технічного завдання на проектування СЕС	14-30 днів
2. Технічні умови на приєднання • Розробка ТЕО на приєднання до мереж обленерго (при необхідності) • Отримання оптимальних технічних умов на приєднання СЕС • Затвердження технічного завдання на проект приєднання до мереж Обленерго	30-60 днів
3. Проектні роботи • Геологічні та геодезичні вишукування • Вибір основного обладнання • Розробка проекту СЕС • Розробка проекту приєднання СЕС до мереж Обленерго • Розробка технічного завдання та проекту АСКОЕ	30-60 днів
4. Будівництво СЕС • Отримання дозволів на початок будівництва • Виконання будівельно-монтажних робіт • Роботи з приєднання СЕС • Отримання документів, що підтверджують готовність об'єкта до експлуатації	60-120 днів
5. НКРЕКУ • Отримання ліцензії на право виробництва електроенергії • Отримання «зеленого тарифу» • Процедура затвердження тарифу через аукціон • Реєстрація договору «купівлі-продажу» електроенергії	30-60 днів
6. ОСП і ДП «Гарантований покупець» • Оформлення процедури роботи з ОСП і ВСР для виробництва електроенергії • Підписання договору «купівлі-продажу» електричної енергії з ДП «Гарантований покупець».	30-60 днів

Активація Windows

Рисунок 1.10 – Етапи реалізації проєкту по будівництву сонячної електростанції

У цьому описі технологічного рішення основна увага приділяється акумуляторним батареям для надання оптових енергетичних послуг і послуг з управління енергоспоживанням споживачів, тобто перенесення часу на кілька годин (арбітраж) – наприклад, перенесення фотоелектричної (сонячної) генерації з денних на нічні години – забезпечення пікової потужності, управління попитом, надійністю та якістю електроенергії.

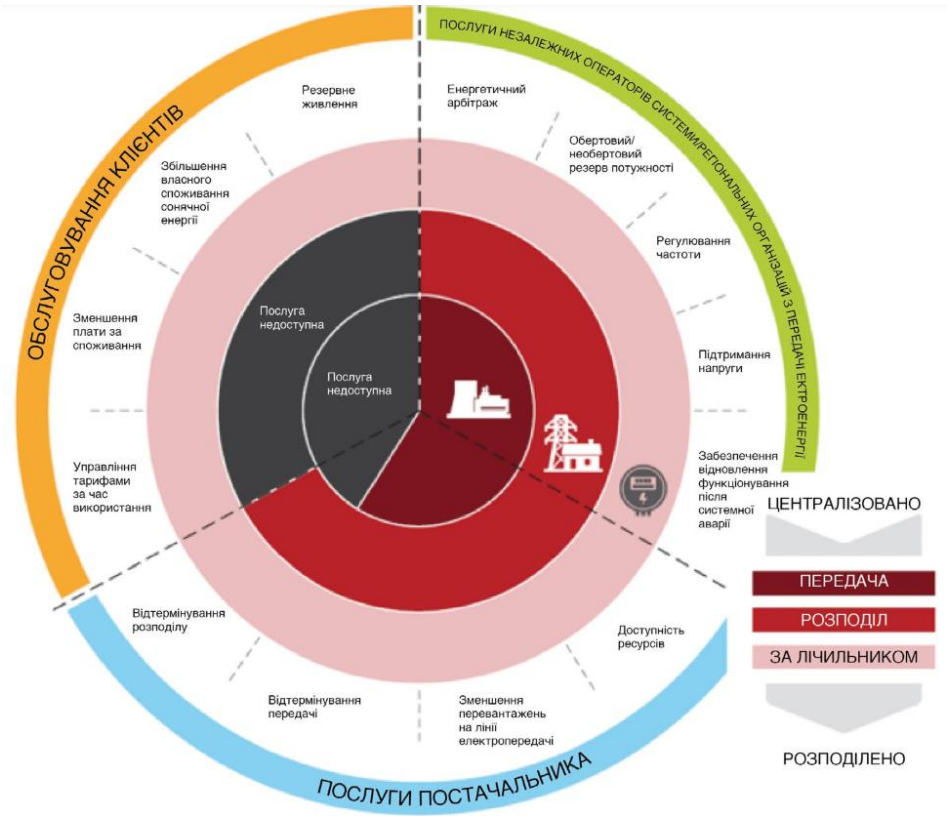


Рисунок 1.11 – Послуги постачальника, які можна надавати за допомогою акумуляторних батарей різним групам зацікавлених сторін [30]

Щоб повною мірою скористатися перевагами накопичення електроенергії в мережі за допомогою літій-іонних акумуляторних батарей, рекомендується впроваджувати стратегії диспетчеризації з частими інтервалами, наприклад, погодинне або 15-хвилинне планування, щоб отримати повну вигоду від акумуляторних батарей.

1.3 Принцип роботи та класифікація акумуляторних батарей

У акумуляторній батареї відбувається перетворення хімічної енергії в електричну. Принцип роботи полягає в наступному: у розчин сірчаної кислоти занурюються дві свинцеві пластини з електричними виводами (рисунок 1.12).

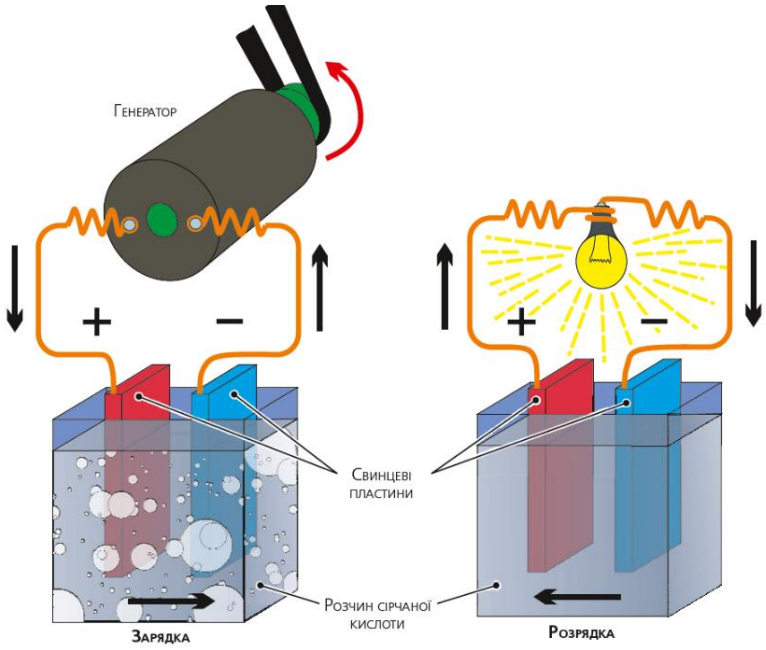


Рисунок 1.12 – Принцип роботи акумуляторної батареї

До виводів підключаються два проводи від генератора, який при обертанні виробляє електричний струм, заряджаючи таким чином акумулятор (у цьому стані акумулятор є споживачем струму). При заряджанні електрична енергія перетворюється в хімічну. Після від'єднання генератора і підключення, наприклад, лампи, вона загоряється завдяки зворотному перетворенню хімічної енергії в електричну. Основна перевага такої конструкції полягає у можливості багаторазового виконання процесів зарядки і розрядки. Дотримання основних правил експлуатації акумулятора забезпечує його тривалу роботу.

Найпростіший акумулятор складається з двох пластин, поміщених в корпус (його ще називають банкою), цей корпус заповнений розчином сірчаної кислоти (який називається електролітом) і закритий зверху кришкою. У кришці є отвори, через які виведено по два виводи від кожної з пластин (позитивної та негативної).

АКБ складається з декількох (найчастіше з шести) батарей, описаних вище. З огляду на свої розміри одна банка (дві пластини) забезпечує напругу приблизно 2 В. Для отримання 12 В позитивні та негативні пластини з’єднують послідовно і роблять два загальні виводи – позитивний і негативний (рисунок 1.13).

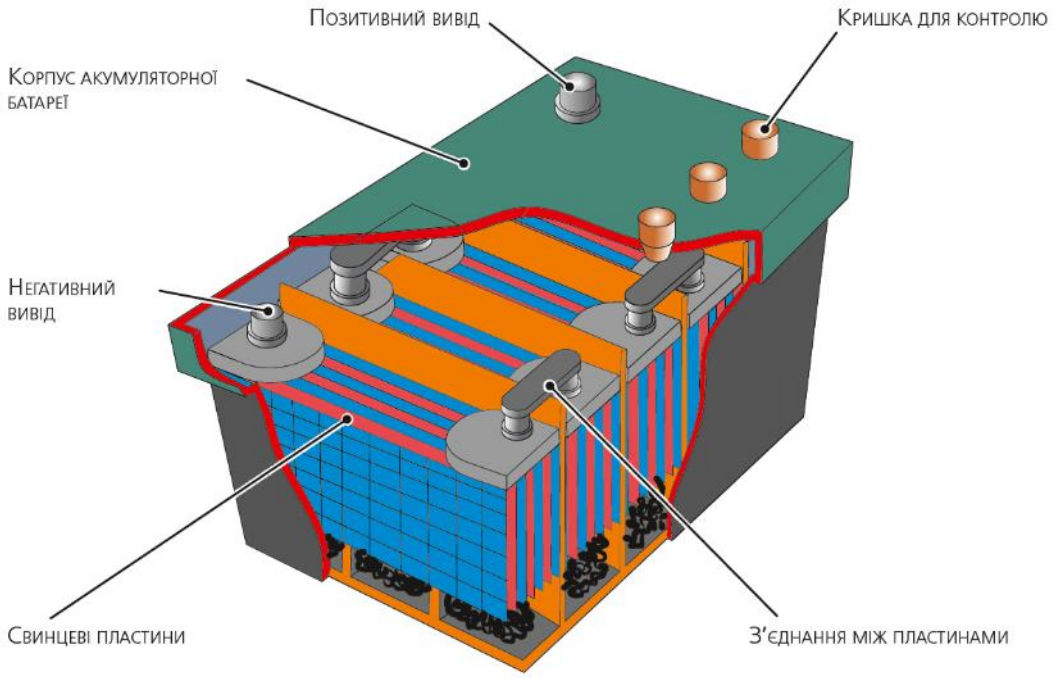


Рисунок 1.13 – З'єднання АКБ

При виборі накопичувачів електричної енергії для конкретної енергетичної системи необхідно в однаковій мірі враховувати енергетичні та експлуатаційні показники як обладнання на основі відновлюваних джерел, споживачів енергії, так і накопичувачів енергії. До основних характеристик належать: потужність, ємність акумулятора, вартість, термін заряду-розряду, термін служби, ККД, рівень саморозряду, безпека, простота обслуговування, вид виробленої та споживаної енергії. Серед багатьох типів акумуляторів обираються такі, що за своїми властивостями та характеристиками найбільш придатні для роботи з обладнанням на основі ВДЕ.

Акумулятори для сонячних електростанцій (СЕС) класифікуються за різними характеристиками та технологіями. Основними критеріями для класифікації є тип хімічного складу, застосування та технічні характеристики.

Класифікація акумуляторів для СЕС:

1. Тип хімічного складу

1.1. Свинцево-кислотні акумулятори (Lead-acid batteries)

- Звичайні свинцево-кислотні (Flooded lead-acid)
- Герметичні свинцево-кислотні (VRLA)

- Гелеві (Gel)

- Акумулятори з абсорбованим електролітом (AGM)

1.2. Літієві акумулятори (Lithium batteries)

- Літій-іонні (Li-ion)

- Літій-залізо-фосфатні (LiFePO4)

- Літій-полімерні (Li-Po)

1.3. Нікель-кадмієві акумулятори (Nickel-cadmium, NiCd)

1.4. Нікель-металогідридні акумулятори (Nickel-metal hydride, NiMH)

1.5. Соленоїдні акумулятори (Sodium-based batteries)

- Соленоїдо-сірчаний (NaS)

- Соленоїдо-нікелевий хлоридний (NaNiCl2, ZEBRA)

2. Застосування та технічні характеристики

- Резервні системи (Backup systems)

- Акумулятори глибокого розряду (Deep cycle batteries)

- Пускові акумулятори (Starter batteries)

3. Класифікація за технічними характеристиками

- Ємність (Capacity)

- Напруга (Voltage)

- Тривалість циклу (Cycle life)

- Кількість циклів зарядки/розрядки до значного зниження ємності

- Ефективність зарядки/розрядки

- Температурний діапазон роботи

- Дистанційне передавання даних про заряд акумулятора

- Швидка зарядка акумулятора

Порівняння різних типів акумуляторів:

1. Свинцево-кислотні акумулятори

- Переваги: Низька вартість, доступність

- Недоліки: Обмежений термін служби, велика вага, необхідність обслуговування (для звичайних)

- Використання: Невеликі СЕС, резервні системи

2. Літієві акумулятори

- Переваги: Висока енергетична щільність, довгий термін служби, низька вага, швидка зарядка

- Недоліки: Висока вартість

- Використання: Високопродуктивні СЕС, де потрібна висока ефективність і тривалість

3. Нікель-кадмієві акумулятори

- Переваги: Стійкість до екстремальних температур, довгий термін служби

- Недоліки: Токсичність кадмію, ефект пам'яті, висока вартість

- Використання: Спеціальні промислові застосування

4. Нікель-металогідридні акумулятори

- Переваги: Вища ємність порівняно з NiCd, менш токсичні

- Недоліки: Вища вартість, менший термін служби порівняно з літієвими

- Використання: Спеціальні випадки, де не можна використовувати NiCd або свинцево-кислотні

5. Соленоїдні акумулятори

- Переваги: Безпека, екологічність, висока ефективність

- Недоліки: Висока вартість, складність в обслуговуванні

- Використання: Довготривале зберігання енергії, великі СЕС

Для вибору оптимального акумулятора для сонячної електростанції слід враховувати кілька чинників: вартість, ефективність, довговічність, потреби в обслуговуванні та специфічні вимоги проекту. Літієві акумулятори, зокрема LiFePO4, зазвичай вважаються найбільш оптимальним рішенням завдяки їх високій енергетичній щільності, тривалому терміну служби та низьким вимогам до обслуговування, хоча і мають вищу початкову вартість. Свинцево-кислотні акумулятори залишаються популярними через їхню доступність і низьку вартість, що робить їх привабливими для автономних систем альтернативного електропостачання в складі СЕС.

Акумуляторні батареї в складі СЕС (рисунок 1.14) накопичують електричну енергію протягом дня та зберігають її надлишки. За допомогою АКБ можливо забезпечити власне житло автономним електропостачанням, наприклад:

- для використання накопиченої електричної енергії у темні години доби чи безвітряну погоду;
- у випадку частих відключень від електричної мережі чи у години надвисокого електроспоживання;
- у випадку максимального навантаження, якщо СЕС не можуть повністю забезпечити електроенергією в такі години.

Рисунок 1.14 – АКБ для СЕС

Для СЕС АКБ повинні відповідати певним вимогам, а саме:

- низький рівень саморозряду (для кращого зберігання ємності акумулятора під час зберігання або коли він не використовується);
- здатність працювати в режимах глибокого розряду (для продовження терміну експлуатації АКБ);
- робота з малими струмами;
- робота при негативних температурах (для використання систем протягом року) або за відсутності вітру;
- мінімальні вимоги з обслуговування.

Найбільше розповсюдження в автономних системах альтернативного електропостачання в складі СЕС отримали кислотно-свинцеві акумулятори, які в свою чергу поділяються за технологією виготовлення на:

- Absorptive Glas Mat (AGM), в яких використовується сепаратор з абсорбуючого скловолокна.
- Gelled Elektrolite (GEL), в яких використовується електроліт у вигляді гелю.

Термін служби таких акумуляторів складає в середньому від 5 до 10 років. Орієнтовна вартість АКБ становить від 100 до 700 $ в залежності від ємності акумулятора. При виборі АКБ для свого автономного електропостачання основну увагу варто приділити таким показникам як: глибина розряду акумулятора та ємність (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння характеристик АКБ

Вид АКБ	Характеристика	Глибина розряду		
		30%	50%	100%
AGM	кількість циклів	800	350	200
GEL		1200	550	350

Акумулятори AGM витримують до 200 циклів розряду з глибиною 100 %, до 350 – з глибиною 50 % і до 800 – з глибиною 30 %. При дотриманні оптимального температурного режиму (15-25 °С) та утриманні АКБ в зарядженому стані термін їх експлуатації відповідатиме заявленому виробником та більше.

GEL акумулятори здатні витримувати до 350 циклів розряду з глибиною 100 %, до 550 – з глибиною 50 % і до 1200 – з глибиною 30 %. Важливою особливістю GEL акумуляторів є їх стійкість до глибоких розрядів. Вони можуть без шкоди для ємності залишатися в повністю розрядженому стані кілька днів.

Ємність – це один з найголовніших параметрів при виборі АКБ. Вона визначається в А·год. Чим більша ємність, тим довший час акумулятор залишатиметься в роботі.

Для того, щоб визначити необхідну ємність потрібно знати напругу акумулятора, потужність навантаження та потрібну кількість годин автономної роботи АКБ.

Розглянемо приклад вибору АКБ для автономної роботи побутових приладів протягом 1 год, загальною потужністю навантаження 1000 Вт.

Для цього оберемо акумулятор напругою 12 В та визначимо струм споживання пристроїв: I=(P/U)=1000 (Вт)/12(В) = 83, 33 (А).

Далі множимо отриманий струм на бажаний час роботи, тобто 83,33 А × 1 год = 83,33 А·год. Також враховуємо втрати при перетворенні напруги з 12 В на 220 В в безперебійному блоці (приблизно 10%), тобто 83,33 × 1,1 = 91,663 А·год.

Отже, необхідний акумулятор ємністю 100 А·год. В середньому така АКБ коштує 210 $.

Відповідно чим меншої напруги АКБ, тим більшої вона ємності, а отже і термін експлуатації АКБ довший, оскільки буде менше циклів заряду/розряду батареї.

1.4 Параметри балансування енергозабезпечення

Параметри балансування енергозабезпечення (енергетичного балансу) – це сукупність характеристик та критеріїв, які використовуються для забезпечення стабільної та ефективної роботи енергетичної системи. Ці параметри допомагають зберігати баланс між виробництвом і споживанням енергії, запобігати перебоям у постачанні електроенергії та забезпечувати надійність енергосистеми.

Основні параметри балансування енергозабезпечення включають:

- Генерація електроенергії: виробництво електроенергії від СЕС. Важливо контролювати обсяги виробництва, щоб відповідати поточним потребам споживачів.
- Оцінка генерації електроенергії в залежності від метеорологічних умов: прогнозування генерації станції в залежності від географічного розташування та кліматичних умов (вологості, хмарності, кількості опадів, температури, тощо).
- Споживання електроенергії: облік та прогнозування споживання електроенергії приміщень кафедри для забезпечення освітнього процесу.
- Резервні потужності: наявність додаткових генераційних потужностей, які можна швидко залучити у випадку підвищеного попиту або аварійних ситуацій.
- Баланс потужностей: підтримання рівноваги між виробленою та спожитою потужністю в реальному часі, щоб уникнути перенавантаження або недостачі енергії (шляхом застосування систем акумуляції)
- Інтеграція відновлюваних джерел енергії: Управління нестабільними та змінними джерелами енергії, такими як сонячні станції, що вимагає гнучкості в системі балансування.
- Технології збереження енергії: Використання акумуляторів та інших систем збереження енергії для зберігання надлишкової енергії під час низького попиту та її використання під час пікових навантажень.

Загалом, параметри балансування енергозабезпечення спрямовані на досягнення стабільності, ефективності та стійкості енергетичної системи, що є критично важливим для економічного розвитку та добробуту суспільства.

1.5 Постановка задачі дослідження

В розділ проведено аналіз особливостей побудови та функціонування систем енергозабезпечення будівель на основі використання сонячних електростанцій із системами акумулювання. Метою роботи є оцінювання основних параметрів балансування системи енергозабезпечення приміщень

кафедри університету поєднанням сонячної енергогенерації, акумулювання та споживання енергії.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- оцінити реальні та деталізовані обсяги споживання електричної енергії на прикладі кількох приміщень університету із врахуванням основного навантаження;

- проаналізувати вплив метеорологічних умов на споживання електричної енергії приміщеннями із встановленням рівня кореляції для конкретного випадку;

- провести необхідний розрахунок та підбір елементів гібридної СЕС із системою акумулювання.

РОЗДІЛ 2
ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СЕС І АКУМУЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ КАФЕДРИ ІФНТУНГ

2.1 Оцінювання генерації електроенергії СЕС залежно від метеорологічних умов

Для порівняння впливів метеорологічних параметрів на роботу фотоелементів ми взяли за основу дані щорічної генерації електроенергії сонячною станцією загальною потужністю 1,5 кВт у місті Івано-Франківську. Для розрахунку враховували дані щодо виробітку електроенергії за 2020-2022 роки. На рисунку 2.1. зображено щомісячну генерацію станції.

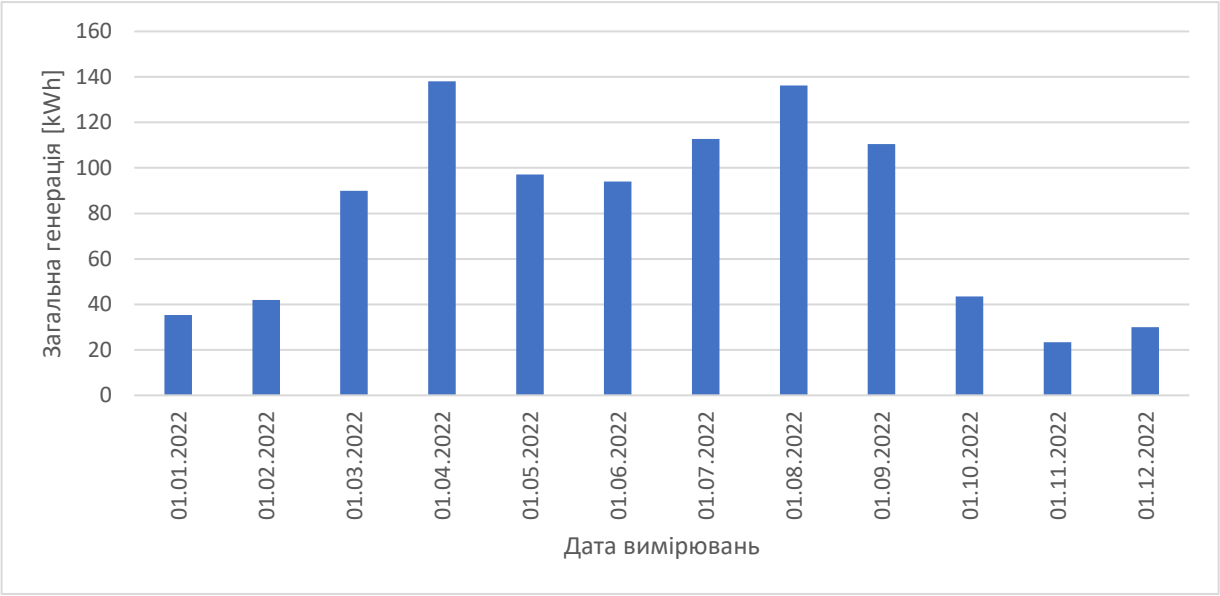


Рисунок 2.1 – Помісячна генерація електроенергії станцією впродовж 2022 року

Для подальшого розрахунку коефіцієнту кореляції та співставлення залежностей генерації та значень метеорологічних параметрів опрацьовуємо дані з таблиці 2.1 щодо помісячної генерації електроенергії станцією впродовж 2016-2023 років та таблиці 2.2, в якій вказали значення вибраних метеорологічних параметрів за 2023 рік.

Таблиця 2.1 – Генерація СЕС впродовж 2016-2023 років

Загальна генерація	Січень, (кВт*год)	Лютий (кВт*год)	Березень (кВт*год)	Квітень (кВт*год)	Травень (кВт*год)	Червень (кВт*год)	Липень (кВт*год)	Серпень (кВт*год)	Вересень (кВт*год)	Жовтень (кВт*год)	Листопад (кВт*год)	Грудень (кВт*год)	Всього
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	37.89	59.19	30.48	31.78	159.35
2017	30,3	37,09	64,81	109,1	125,28	114,02	126,84	120,21	100,4	38,58	25,49	19,24	911.76
2018	27,46	47,21	67,52	105,1	111,78	119,57	122,9	127,51	85,84	66,33	330,00	30,00	906.27
2019	26,86	34,25	75,07	128,01	126,05	95,03	106,43	126,32	103,69	81,2	17,22	25,00	929.54
2020	40,00	49,07	83,81	98,69	88,84	117,83	121,89	127,43	104,86	78,19	50,00	22,89	926.65
2021	35,37	41,87	89,97	138,05	97,17	94	112,7	136,19	110,53	43,49	23,4	30,00	932.47
2022	16,98	46,46	76,94	96,28	108,21	105,2	117,44	114,65	97,08	98,58	25,26	-	-

Таблиця 2.2 – Значення метеорологічних параметрів за 2023 рік

Середні значення параметрів за місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Температура повітря, °C	0,1	2,8	4,3	9	11,7	18,8	19	19,7	15,2	10,8	3,8	0,9
Відносна вологість, %	79	76	69	52	73	82	77	75	80	87	87	92
Хмарність, %	50	60	50	25	60	75	50	40	40	75	60	75
Кількість опадів за день, мл	3	18	7	6	26	34	40	8	42	14	6	5
Атмосферний тиск, мм.рт.ст	749,8	760,8	764,6	738,4	761,7	757,9	761,6	760,1	763	761,7	770,3	764
Висота снігового покриву, см	0,9	4,3	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5

Співставивши дані обох таблиць 2.1 та 2.2 можемо побудувати графіки їх залежностей та проаналізувати наочні результати. На рисунках 2.2–2.7 зображені залежності генерації СЕС від обраних метеорологічних параметрів. Дані для розрахунку базуються на лабораторних дослідженнях, проведених в приміщеннях кафедри інформаційно-вимірювальних технологій у 9-му корпусі ІФНТУНГ.

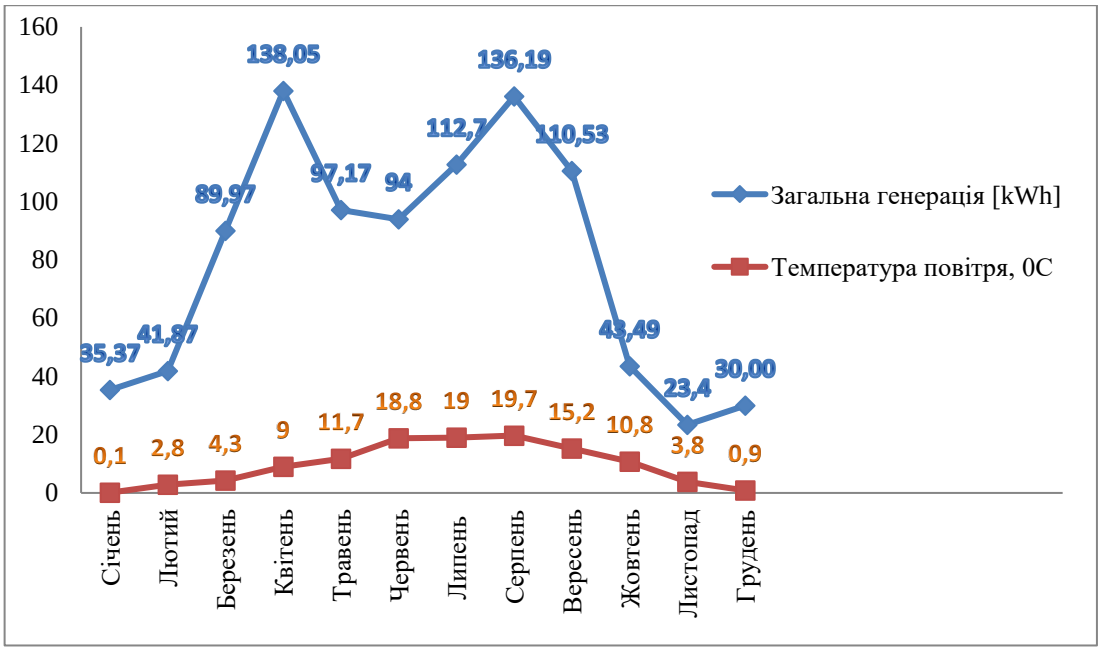


Рисунок 2.2 – Залежність кількості згенерованої електроенергії сонячною станцією та значень температури повітря впродовж 2023 року

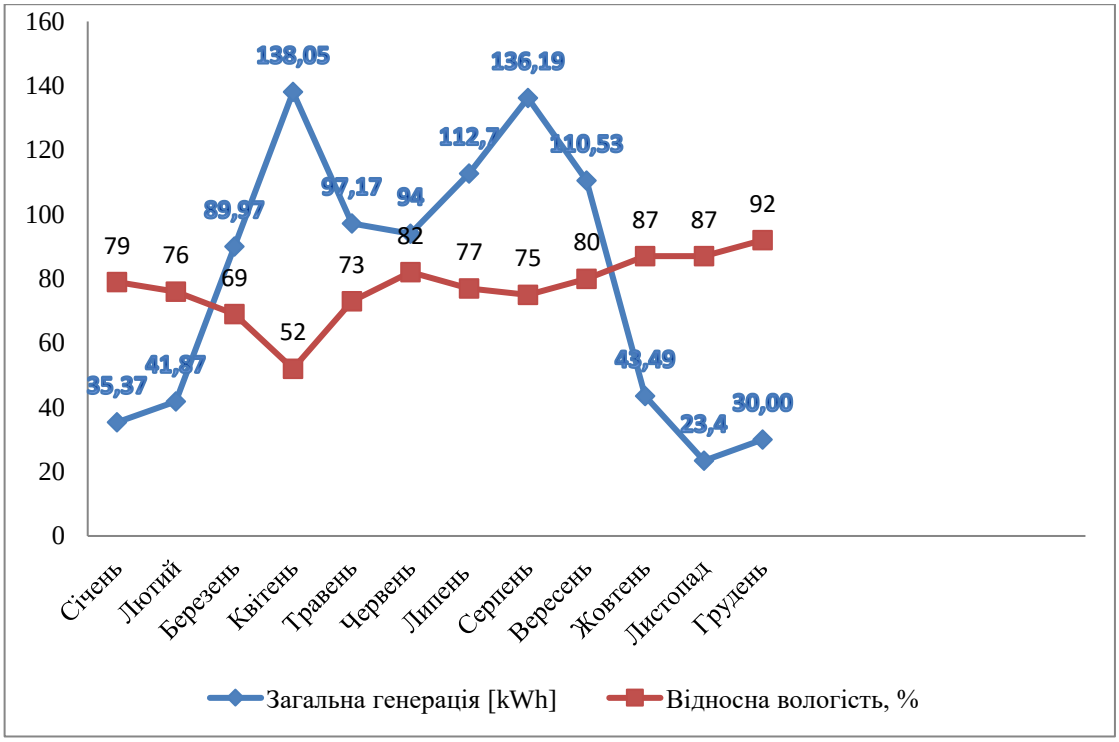


Рисунок 2.3 – Залежність кількості згенерованої електроенергії сонячною станцією та значень відносної вологості повітря впродовж 2023 року

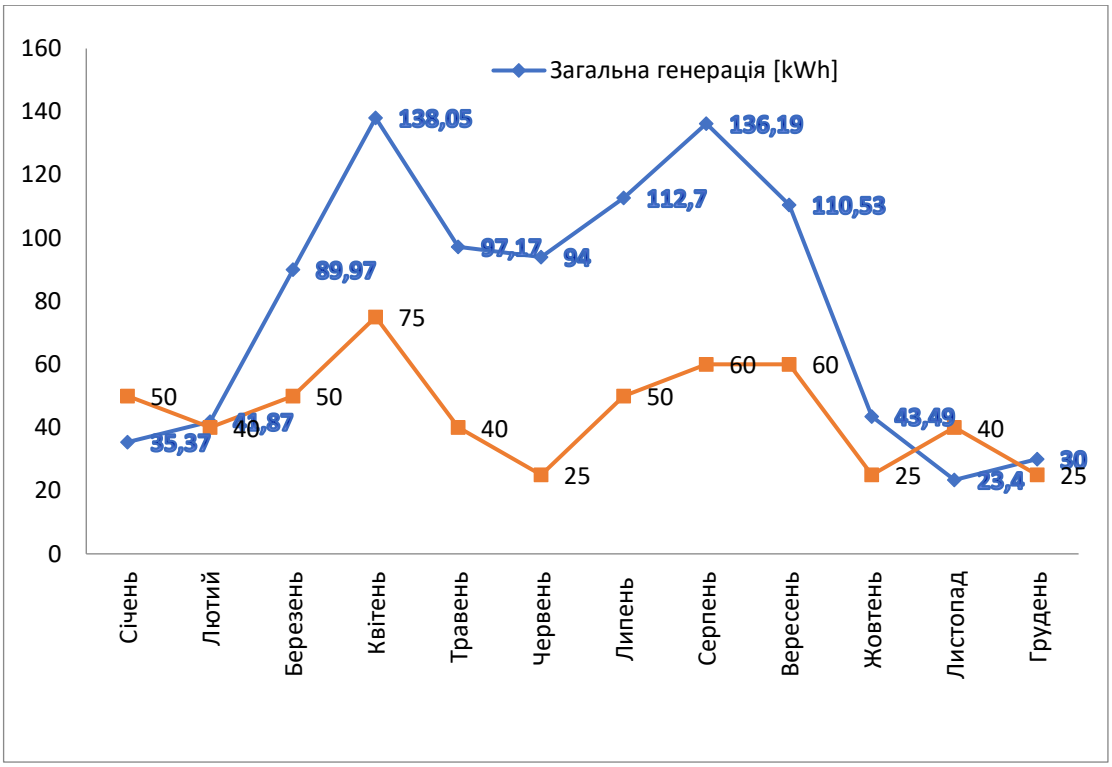


Рисунок 2.4 – Залежність кількості згенерованої електроенергії сонячною станцією та кількості сонячних днів, % 2023 року

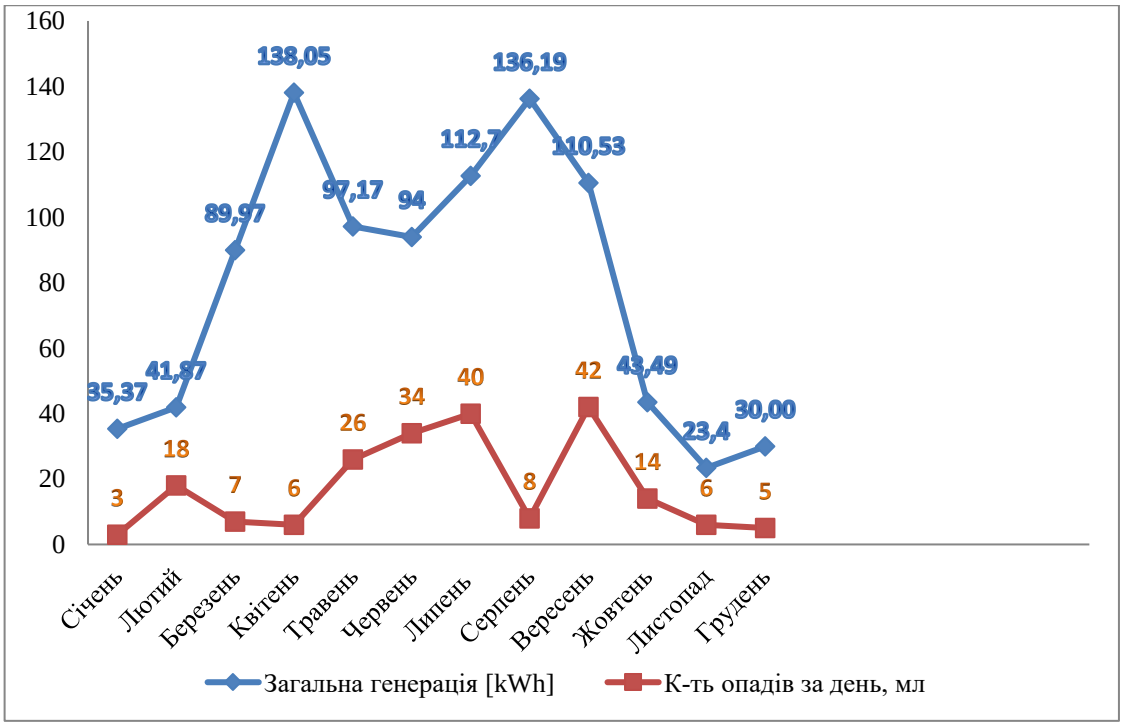


Рисунок 2.5 – Залежність кількості згенерованої електроенергії сонячною станцією та кількості опадів впродовж 2023 року

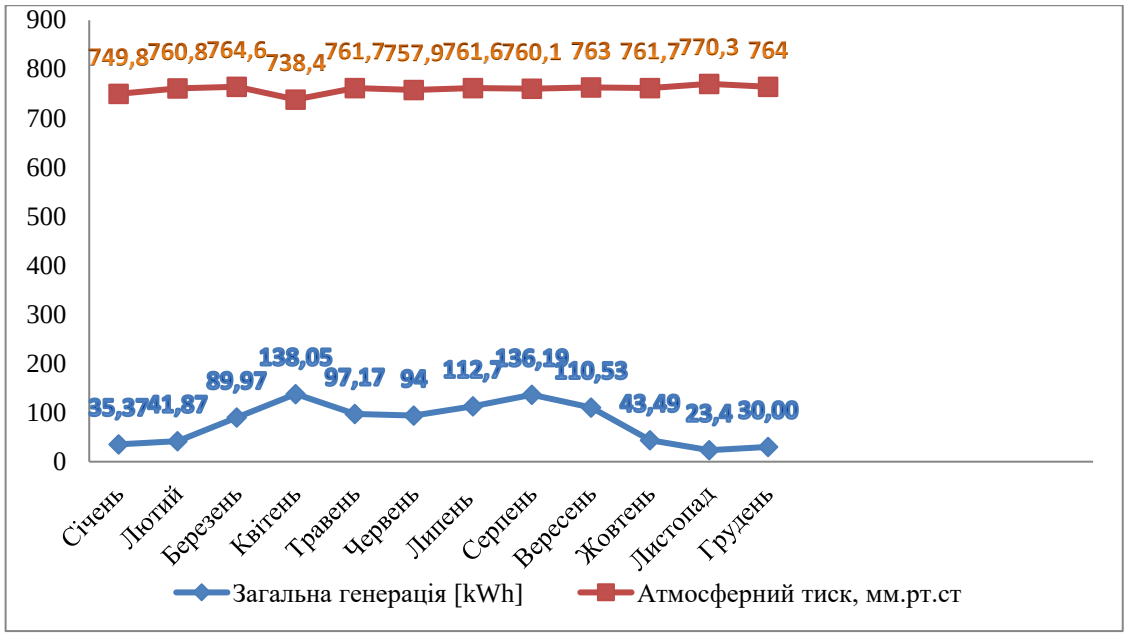


Рисунок 2.6 – Залежність кількості згенерованої електроенергії сонячною станцією та значень атмосферного тиску впродовж 2023 року

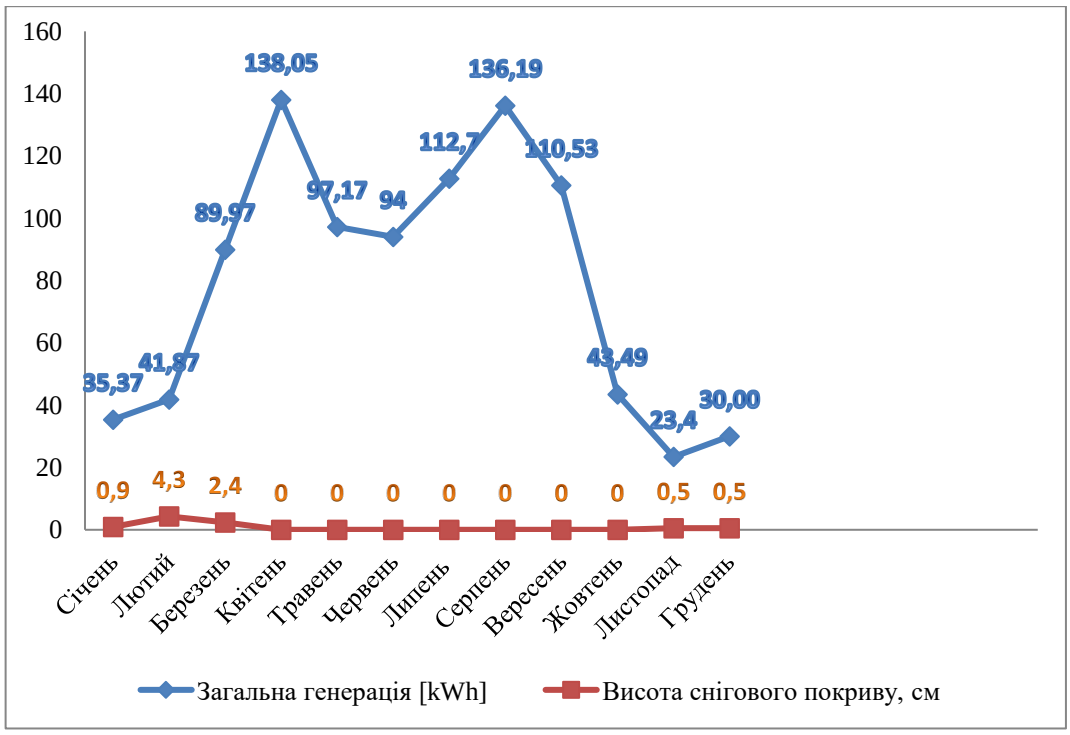


Рисунок 2.7 – Залежність кількості згенерованої електроенергії сонячною станцією та висоти снігового шару впродовж 2023 року

З рисунків 2.2-2.7 ми можемо зауважити, що генерація сонячної станції найбільше залежить від таких метеорологічних параметрів як хмарності та

температури. Проте для точнішої оцінки залежностей варто застосувати метод кореляційного аналізу. У таблиці 3.3 наведені розрахунок коефіцієнта кореляції.

Таблиця 2.3 – Розрахунок коефіцієнта кореляції

	Xi, Генерація, кВт*год	Xсер., Генерація кВт*год	(Xi-Xсер)	Xi, Температура пов., 0С	Xсер., Температура пов., 0С	(Xi-Xсер)	Xi, Відносна вологість,%	Xсер, Відносна вологість,%	(Xi-Xсер)	Yi, Сонячних д.%	Yсер, Сонячних д.%	(Yi-Yсер)	Xi, К-ть опадів за день, мл	Xсер, К-ть опадів за день, мл	(Xi-Xсер)	Xi, Атмосферний тиск, мм.рт.ст	Xсер, Атмосферний тиск, мм.рт.ст	(Xi-Xсер)	Xi, Висота снігового покриву, см	Xсер, Висота снігового покриву, см	(Xi-Xсер)
Січень	35,37	79,4	-44,0	0,1	9,7	-9,6	79	77,4	1,6	50	45	5,0	3	17,4	-14,4	749,8	759,5	-9,7	0,9	0,7	0,2
Лютий	41,87		41,9	2,8		2,8	76	77,4	-1,4	40	45	40,0	18	17,4	0,6	760,8	759,5	1,3	4,3	0,7	3,6
Березень	89,97		90,0	4,3		4,3	69	77,4	-8,4	50	45	50,0	7	17,4	-10,4	764,6	759,5	5,1	2,4	0,7	1,7
Квітень	138,05		138,1	9		9,0	52	77,4	-25,4	75	45	75,0	6	17,4	-11,4	738,4	759,5	-21,1	0	0,7	-0,7
Травень	97,17		97,2	11,7		11,7	73	77,4	-4,4	40	45	40,0	26	17,4	8,6	761,7	759,5	2,2	0	0,7	-0,7
Червень	94		94,0	18,8		18,8	82	77,4	4,6	25	45	25,0	34	17,4	16,6	757,9	759,5	-1,6	0	0,7	-0,7
Липень	112,7		112,7	19		19,0	77	77,4	-0,4	50	45	50,0	40	17,4	22,6	761,6	759,5	2,1	0	0,7	-0,7
Серпень	136,19		136,2	19,7		19,7	75	77,4	-2,4	60	45	60,0	8	17,4	-9,4	760,1	759,5	0,6	0	0,7	-0,7
Вересень	110,53		110,5	15,2		15,2	80	77,4	2,6	60	45	60,0	42	17,4	24,6	763	759,5	3,5	0	0,7	-0,7
Жовтень	43,49		43,5	10,8		10,8	87	77,4	9,6	25	45	25,0	14	17,4	-3,4	761,7	759,5	2,2	0	0,7	-0,7
Листопад	23,4		23,4	3,8		3,8	87	77,4	9,6	40	45	40,0	6	17,4	-11,4	770,3	759,5	10,8	0,5	0,7	-0,2
Грудень	30,00		30,0	0,9		0,9	92	77,4	14,6	25	45	25,0	5	17,4	-12,4	764	759,5	4,5	0,5	0,7	-0,2
Σ(Xi-Xсер)(Xi-Yсер)				12162,09638			-3390,10425			45755,175			3745,66575			-720,890375			-227,56125		
Σ(Xi-Xсер)^2			95926,5	1801,4			24525,0			2700,0			2295,4			733,0			19,4		
Коефіцієнт кореляції (для значення генерації та одного з метеорологічних показників)				**0,93**			-0,32			**0,94**			0,25			-0,09			-0,17		

Розраховуємо коефіцієнт кореляції за формулою таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Методика розрахунку коефіцієнта кореляції

Формула розрахунку коефіцієнту кореляції
$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{m}(y_i - \bar{y})^2}} = \frac{cov(x,y)}{\sqrt{s_x^2 s_y^2}},$ де $\bar{x}, \bar{y}$ — вибіркові середні x^m і y^m, s_x^2, s_y^2 — вибіркові дисперсії,

Коефіцієнт кореляції набуває значень від −1 до 1. Значення «+1» означає, що залежність між X та Y є лінійною, і всі точки функції лежать на прямій, яка відображає зростання Y при зростанні X. Значення «−1» означає, що всі точки

лежать на прямій, яка відображає зменшення Y при зростанні X. Якщо коефіцієнт кореляції Пірсона = 0, то саме лінійної кореляції між змінними немає.

Оцінивши результати розрахунку коефіцієнта кореляції для різних метеорологічних показників можемо зазначити, що найвище значення коефіцієнта є для залежності генерації сонячних панель від кількості сонячних днів, він склав 0,94, що є близьким до одиниці. Отже, можемо вважати, що така залежність є лінійною та зростаючою.

Коефіцієнт кореляції є низьким для залежності генерації від таких параметрів як атмосферний тиск (-0,32), відносна вологість (-0,28), кількість опадів (0,25) та хмарність (-0,17).

Кореляція є відсутньою при залежності від атмосферного тиску і складає - 0,09. При ньому можемо стверджувати, що кореляція є відсутньою, а це означає, що цей параметр не впливає на величину генерації. Такий результат пов’язаний з тим, що в 2023 році не було багато сніжних днів, а отже більшість часу панелі мали вільний доступ до освітлення.

2.2 Дослідження споживання електроенергії на прикладі приміщень кафедри ІФНТУНГ

Для моделювання системи генерації електричної генерації, яка буде складатись із поєднання сонячної станції та акумуляторів необхідно дослідити споживання вибраного об’єкту.

За основу взято приміщення 9206 та 9203 на кафедрі ІВТ в ІФНТУНГ. В середині приміщень розташовані такі системи та обладнання, яке споживає електричну енергію:

- система освітлення;
- електрична система опалення;
- навчальне лабораторне обладнання;
- персональні комп’ютери, принтери та ноутбуки (рисунок 2.8).

Рисунок 2.8 – Фото обладнання

Детальний перелік приладів наведено в таблиці 2.5.

Для розрахунку необхідної потужності станції приймаємо прилади першого пріоритету:

- сумарне значення загальної потужності – 5 кВт (в літній період), 8 кВт (в зимовий період);
- середнє загальнодобове споживання – 21 кВт (в літній період), 36 кВт в добу (в зимовий період).

Для дослідження споживання електроенергії приміщенням протягом 2020-2024 років та прогнозування майбутньої генерації станції проаналізуємо показники споживання електроенергії за допомогою онлайн системи моніторингу smart-MAIC Share, яка встановлена на кафедрі.

Таблиця 2.5 – Перелік електрообладнання в приміщеннях 9206 та 9203

Період року	Літній період					Зимовий період				
Споживач (ел.прилад)	Потужність, P, Вт	Кількість, n	Загальна потужність, Вт	Час автономної роботи t, год	Споживання ел.енергії за час АР, Вт/добу	Потужність, P, Вт	Кількість, n	Загальна потужність, Вт	Час автономної роботи t, год	Споживання ел.енергії за час АР, Вт/добу
Каб 9203										
Освітлення	16	2	32	4	128	16	4	64	6	384
Електричний обігрівач	1500	2	0	0	0	1500	2	3000	4	12000
Комп'ютер	350	5	1750	6	10500	350	5	1750	8	14000
Ноутбук	90	1	90	3	270	90	1	90	3	270
Принтер	540	1	540	2	1080	540	1	540	3	1620
Сумарне значення приладів першого пріоритету	2496		2412		11978	2496		5444		28274
Каб 9206										
Бойлер	1500	1	0	2	0	1500	1	1500	2	3000
Електричний обігрівач	1500	1	0	0	0	1500	1	1500	4	6000
Сумарне значення приладів першого пріоритету	3000		0		0	3000		3000		9000
Сумарне значення всіх приладів першого	**5496**		**2412**		**11978**	**5496**		**8444**		**37274**

Проаналізуємо показники споживання бойлера, електричного обігрівача та загальне електроспоживання за допомогою системи моніторингу smart-MAIC Share, результати аналізу наведено нижче.

Характеристики споживання бойлера

Погодинні температурні показники гарячої води в бойлері.

Згідно з графіками на рисунку 2.9 нагрівання води відбувається зазвичай в обідній час, о 12:00, коли необхідно підтримувати температуру на рівні 33-37 °C для комфортного користування.

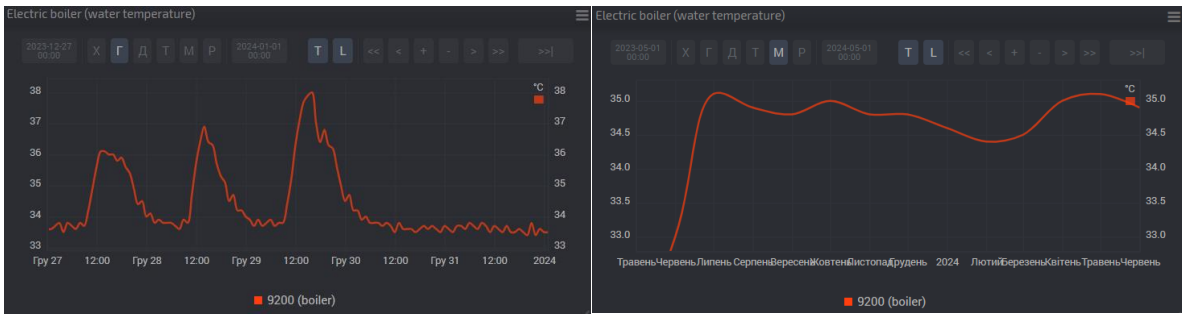


Рисунок 2.9 – Графіки щогодинного та щомісячного значення температури нагрівання води

Згідно з графіку щомісячних температурних показників води у бойлері (рисунок 2.9), середня температура нагрівання води складає близько 34,5 °С.

Наведемо графік щомісячного споживання електроенергії бойлером впродовж року (рисунок 2.10). Згідно з даними, з травня по вересень, в період літніх канікул, спостерігається найнижче споживання, середнє значення якого складає 15,2 кВт. Натомість споживання сягає пікових значень в листопаді, січні, лютому, березні, та квітні, в період активного навчання студентів, і в середньому складає близько 40,5 кВт.

Узагальнену таблицю з щомісячним споживанням електроенергії бойлером кафедри протягом 2023-2024 років наведено нижче (таблиця 2.5).

Згідно з таблиці 2.6, яка висвітлює результати щорічного споживання електроенергії бойлером протягом 2020-2024 років, максимальний показник електроспоживання був в 2021 року, коли навчання на кафедрі відбувалося в офлайн режимі. Найнижчий показник споживання був 2020 році.

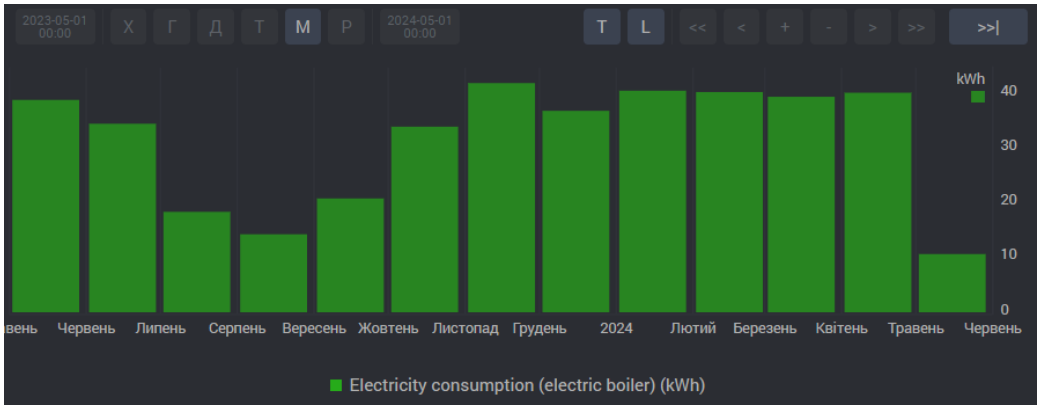


Рисунок 2.10 – Графік щомісячного споживання електроенергії бойлером впродовж року

Характеристики споживання електричної системи опалення.

Для аналізу споживання електроенергії для опалення приміщення наведено графіки 2.11.

Таблиця 2.5 – Щомісячне споживання електроенергії бойлером кафедри ЕМТД протягом 2023-2024

Споживання і витрати

Х Г Д Т М Р 2024-05-01 00:00 << < + - > >> >>|

Дата та Час	Electricity consumption [kWh] (boiler)	Electricity consumption [UAH] (boiler)	Hot water consumption [L] (boiler)	Hot water consumption [UAH] (boiler)
Травень 2024	10.6	33.84	169.0	0
Квітень 2024	40.2	127.62	752.0	0
Березень 2024	39.4	125.26	710.0	0
Лютий 2024	40.3	128.02	647.0	0
Січень 2024	40.5	128.79	659.0	0
Грудень 2023	36.8	117.09	560.0	0
Листопад 2023	41.9	133.19	839.0	0
Жовтень 2023	34.0	107.88	649.0	0
Вересень 2023	20.8	66.15	338.0	0
Серпень 2023	14.3	45.34	128.0	0

Таблиця 2.6 – Результати щорічного споживання електроенергії бойлером протягом 2020-2024

Споживання і витрати

Х Г Д Т М Р 2024-01-01 00:00 << < + - > >> >>|

Дата та Час	Electricity consumption [kWh] (boiler)	Electricity consumption [UAH] (boiler)	Hot water consumption [L] (boiler)	Hot water consumption [UAH] (boiler)
2024	171.0	543.52	2937.0	0
2023	339.1	1077.38	6505.0	0
2022	248.5	789.62	6845.0	0
2021	350.6	1114.00	6787.0	0
2020	105.8	336.29	1873.0	0
2019	0	0	0	0
2018	0	0	0	0
2017	0	0	0	0
2016	0	0	0	0
2015	0	0	0	0
2014	0	0	0	0
2013	0	0	0	0
2012	0	0	0	0
2011	0	0	0	0
2010	0	0	0	0

На графіку на рисунку 2.11 зображено щомісячне значення показника температури обігрівача. Максимальне значення температури спостерігається

протягом вересня, в період початку навчального року, найнижче значення - в лютому та березні, оскільки більшість занять проводилися дистанційно, через військові обмеження.

Згідно з графіком на рисунку 2.11 середня температура нагріву приміщення складає 14 градусів за Цельсієм.

На рисунку 2.12 наведено графік споживання електричної енергії обігрівачем протягом 2023-2024 навчального року. Найвищий показник споживання був в грудні – 774,7 кВт. Влітку обігрівач не використовувався.

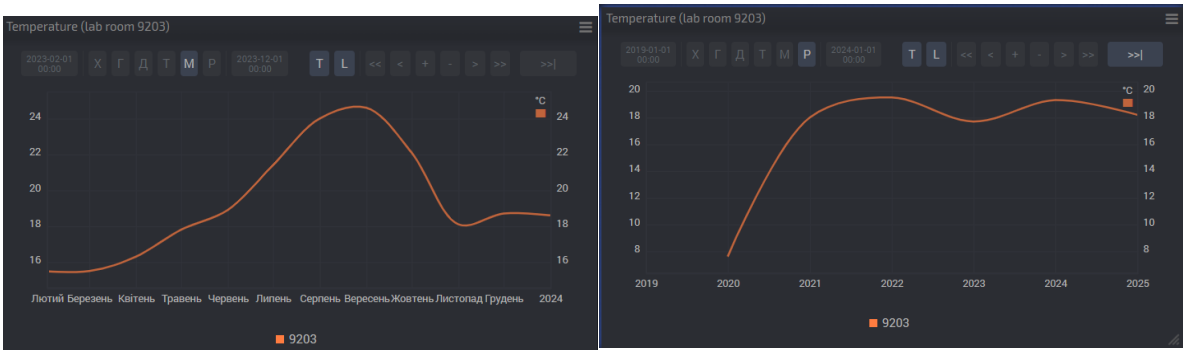


Рисунок 2.11 – Графіки щомісячного та щорічного значення показника температури в приміщенні з електричною системою обігірву

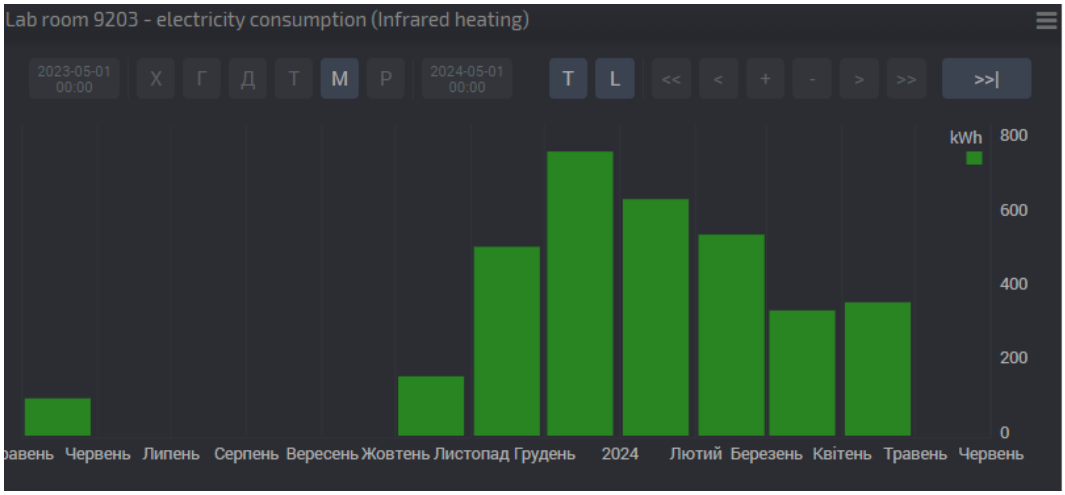


Рисунок 2.12 – Графік споживання електричної енергії системою обігріву протягом 2023-2024 навчального року

Узагальнений графік споживання електроенергії протягом 2020-2024 років наведено на рисунку 2.13. Оскільки навчання протягом 2020-2024 відбувалося

почергово в змішаній та дистанційній формі, показники річного споживання системи електричного обігріву коливаються в межах від 3000кВт до 6000кВт в рік.

Таблиця 2.7 узагальненого споживання електроенергії системою електричного обігріву приміщення 9203 в період 2023-2024 навчального року наведена нижче.

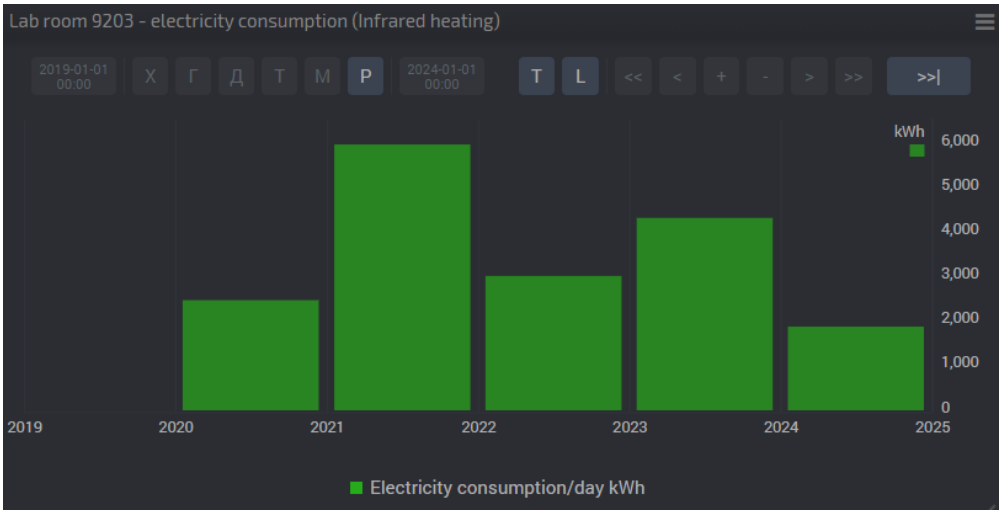
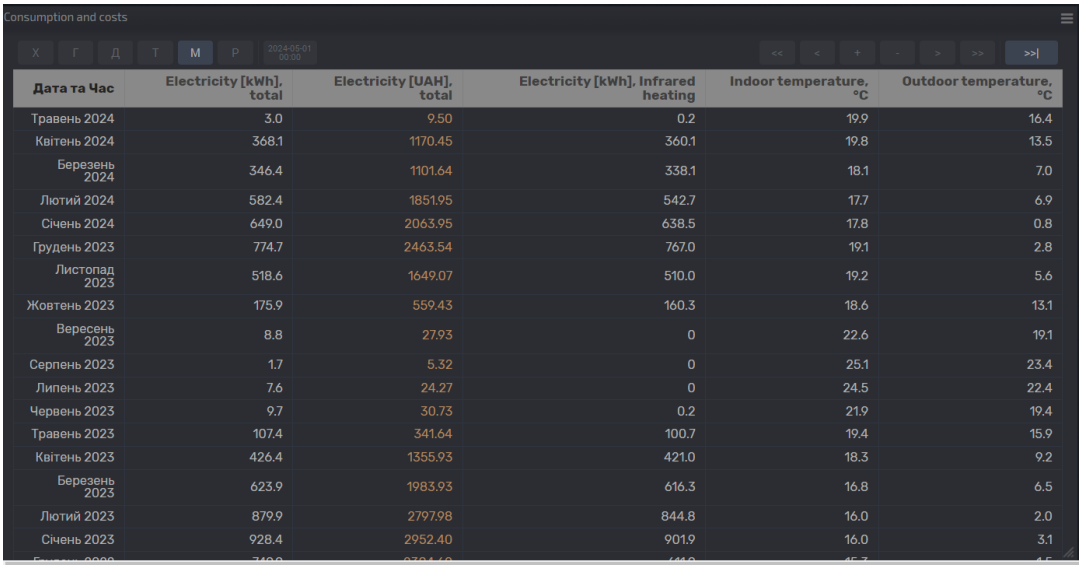


Рисунок 2.13 – Узагальнений графік споживання електроенергії споживання електроенергії протягом 2020-2024 років

Таблиця 2.7 – Споживання електроенергії обігрівачем в період 2023-2024



Consumption and costs

Дата та Час	Electricity [kWh], total	Electricity [UAH], total	Electricity [kWh], Infrared heating	Indoor temperature, °C	Outdoor temperature, °C
Травень 2024	3.0	9.50	0.2	19.9	16.4
Квітень 2024	368.1	1170.45	360.1	19.8	13.5
Березень 2024	346.4	1101.64	338.1	18.1	7.0
Лютий 2024	582.4	1851.95	542.7	17.7	6.9
Січень 2024	649.0	2063.95	638.5	17.8	0.8
Грудень 2023	774.7	2463.54	767.0	19.1	2.8
Листопад 2023	518.6	1649.07	510.0	19.2	5.6
Жовтень 2023	175.9	559.43	160.3	18.6	13.1
Вересень 2023	8.8	27.93	0	22.6	19.1
Серпень 2023	1.7	5.32	0	25.1	23.4
Липень 2023	7.6	24.27	0	24.5	22.4
Червень 2023	9.7	30.73	0.2	21.9	19.4
Травень 2023	107.4	341.64	100.7	19.4	15.9
Квітень 2023	426.4	1355.93	421.0	18.3	9.2
Березень 2023	623.9	1983.93	616.3	16.8	6.5
Лютий 2023	879.9	2797.98	844.8	16.0	2.0
Січень 2023	928.4	2952.40	901.9	16.0	3.1

Узагальнений графік електроспоживання приміщенням 9203 кафедри ІВТ зображений на рисунку 2.14.

Згідно з графіком на рисунку 2.14 протягом 2023-2024 навчального року максимальний показник споживання електроенергії склав близько 900 кВт в лютому місяці. Найнижчі показники споживання були протягом літніх канікул (червень, липень, серпень) та на початку першого семестру (вересень, жовтень), та варіювалися в межах 10-50кВт.

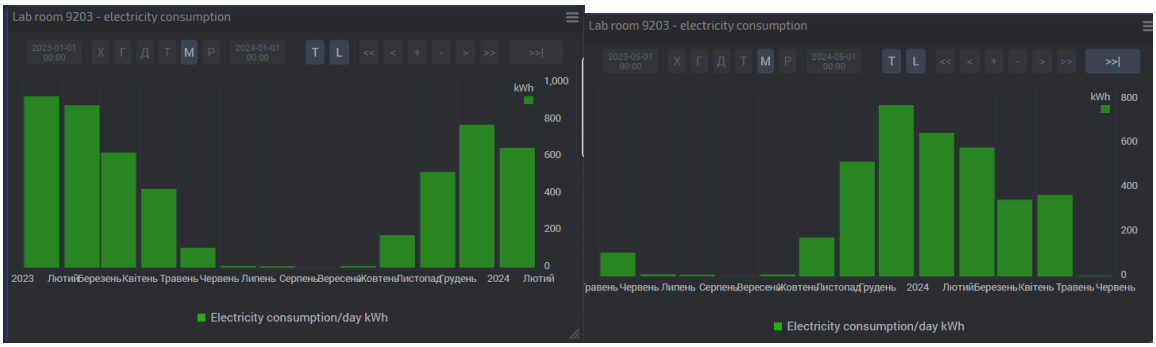


Рисунок 2.14 – Узагальнений графік електроспоживання приміщенням 9203 кафедри

Річне споживання приміщення на період 2023-2024 навчального року склало 1948,9 кВт (рисунок 2.15).

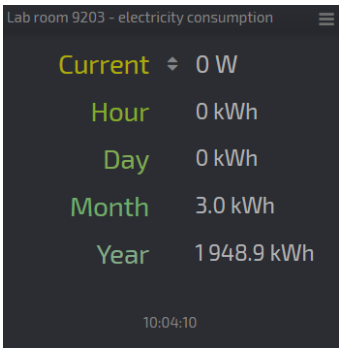


Рисунок 2.15 – Річне споживання приміщення за період 2023-2024 навчального року

Отже, ми проаналізували погодинне, щомісячне та річне споживання електроприладів, які використовуються в приміщенні кафедри. На основі даних

про щомісячне та річне споживання електроенергії розраховуватимемо необхідну потужність сонячної станції.

Порівняємо середньомісячне споживання кабінету 9203 подане в таблиці та графіках від smart-MAC.

Згідно з таблиці 2.5 добове споживання в літній період в середньому складає 2,4 кВт*год, згідно з графіком smart-MAC (рисунок 2.16), середнє значення добового споживання склало 6 кВт*год. Варто зауважити, що протягом травня – серпня 2023 року час користування електроприладами був мінімальний, тому значення споживання наближувалось до 0 кВт*год.

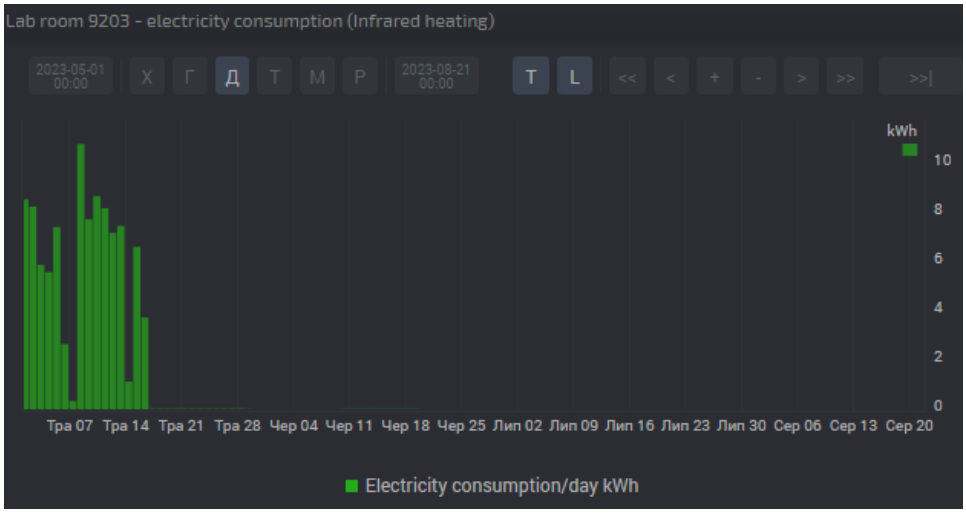


Рисунок 2.16 – Графік енергоспоживання в літній період 2023 року

Згідно таблиці 2.5 добове споживання в зимовий період в середньому складає 28 кВт*год, згідно з графіком smart-MAC (рисунок 2.17), середнє значення добового споживання склало 20 кВт*год.

Після аналізу таблиці споживання приладів та даних з smart-MAC визначимо необхідну потужність станції.

Необхідна потужність станції станом на 2024 рік складатиме: 8 кВт.

Загальнодобове споживання: 40 кВт в добу.

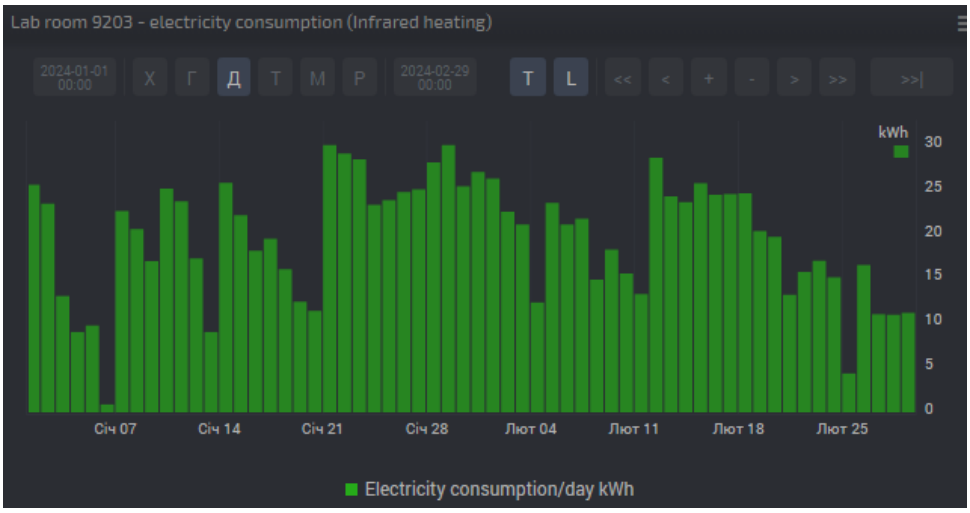


Рисунок 2.17 – Графік енергоспоживання в зимовий період 2023 року

Прогнозування перспективи зростання енергоспоживання лабораторії в 2024-2026 роки за рахунок збільшення кількості спеціалізованого обладнання зображено в таблиці 2.6 та на рисунках 2.18-2.19.

Таблиця 2.6 – Прогнозування збільшення споживання в період 2024-2026 р

	2024					2025					2026				
Споживач (ел.прилад)	**Потужність, P, Вт**	**Кількість, n**	**Загальна потужність, Вт**	**Час автономної роботи t, год**	**Споживання ел.енергії за час АР, Вт/добу**	**Потужність, P, Вт**	**Кількість, n**	**Загальна потужність, Вт**	**Час автономної роботи t, год**	**Споживання ел.енергії за час АР, Вт/добу**	**Потужність, P, Вт**	**Кількість, n**	**Загальна потужність, Вт**	**Час автономної роботи t, год**	**Споживання ел.енергії за час АР, Вт/добу**
Холодильник	450	1	450	6	2700	450	1	450	6	2700	450	1	450	6	2700
Освітлення	16	4	64	8	512	16	4	64	8	512	16	4	64	8	512
Електричний обігрівач	1500	2	3000	5	15000	1500	2	3000	5	15000	1500	2	3000	5	15000
Бойлер	1500	1	1500	2	3000	1500	1	1500	2	3000	1500	1	1500	2	3000
Ноутбук	80	1	80	6	480	80	1	80	6	480	80	1	80	6	480
Принтер	540	1	540	2	1080	540	1	540	2	1080	540	1	540	2	1080
Комп'ютер	450	5	2250	6	13500	450	5	2250	6	13500	450	5	2250	6	13500
Спецобладнання лаб. установки теплових насосів	3000	0	0	2	0	3000	1	3000	2	6000	3000	1	3000	2	6000
Спецобладнання лаб. установки вітроенергетики	2000	0	0	6	0	2000	0	0	6	0	2000	1	2000	6	12000
Сумарне значення	**9536**		**7884**		**36272**	**9536**		**10884**		**42272**	**9536**		**12884**		**54272**

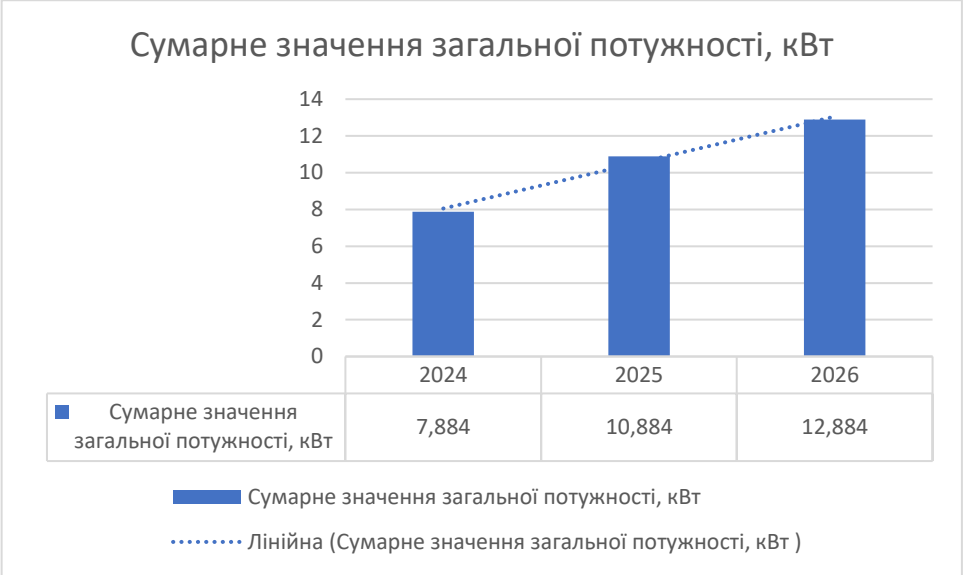


Рисунок 2.18 – Прогнозування сумарного значення загальної потужності

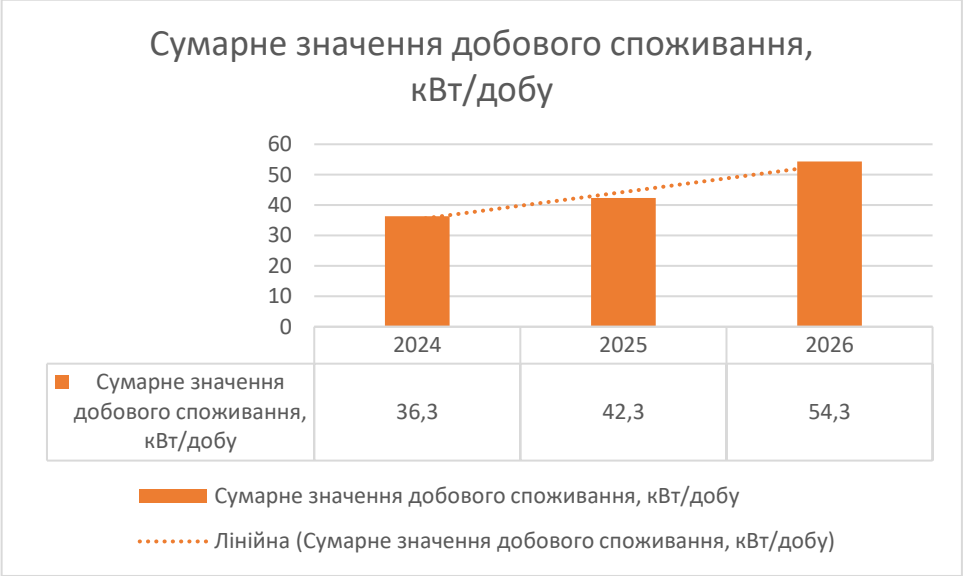


Рисунок 2.19 – Прогнозування сумарного значення добового споживання

Необхідна потужність станції з врахуванням прогнозованого розвитку кафедри станом на 2026 рік складатиме: 10 кВт

Загальнодобове споживання: 50 кВт в добу.

Висновки до розділу 2

У цьому розділі було проведено аналіз залежності генерації сонячної електростанції (СЕС) від метеорологічних факторів. Було визначено, що хмарність та температура навколишнього середовища, в якому розташовані

панелі, найбільше впливають на продуктивність її роботи. Також було проаналізовано енергоспоживання кафедри за допомогою програми дистанційного моніторингу smart maic. Було визначено, що середнє добове споживання влітку складає 6 кВт, а взимку близько 20 кВт. На основі споживання приладів пріоритетного навантаження розрахована необхідна потужність гібридної СЕС.

Для подальшого розрахунку в роботі розглядатимуться два варіанти СЕС:

1. Гібридна СЕС потужністю 8 кВт: Ця система буде покривати потреби генерації станом на 2024 рік.
2. Гібридна СЕС потужністю 10 кВт: Ця система розрахована на покриття потреб у генерації електроенергії в 2026 році, при умові збільшення кількості пріоритетних приладів на кафедрі, таких як спецобладнання чи додаткових комп'ютерних моніторів.

Ці два варіанти будуть детально оцінені, щоб визначити найбільш підходящу СЕС для потреб кафедри. Оцінка буде враховувати такі фактори, як вартість системи, виробництво енергії та термін окупності.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ПРОЄКТУ ГІБРИДНОЇ СЕС ДЛЯ КАФЕДРИ ІФНТУНГ

3.1 Загальний опис об’єкту проектування

Частина кафедри інформаційно-вимірювальних технологій ІФНТУНГ розташована в м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, корпус 9. Загальний вигляд будинку та приміщення кафедри наведено на рисунку та 3.2.

Об’єкт дослідження – 2 робочих кабінети кафедри офісного типу, в яких працюють викладачі та аспіранти.

Тип будівлі – державний освітній заклад.

Матеріал стін – цегла та піноблоки. Матеріал перекриття даху – металочерепиця.

Площа даху корпусу – 340 кв. м.

Рисунок 3.2 – Вид корпусу із супутника

Оскільки ми будемо проектувати гібридну сонячну станцію, розглянемо більш детально саме вигляд даху, де і будуть розміщуватись майбутні

фотомодулі (рисунок 3.3).

Рисунок 3.3 – Вигляд даху зверху

Аналізуючи даний знімок та інформацію подану вище спостерігаємо, що більша частина скату направлена на південну сторону. Кут скату даху складає 35 градусів.

3.2 Розрахунок споживання електроенергії з визначенням пріоритетного навантаження

Проаналізуємо усіх споживачів у заданих приміщеннях будівлі та складемо відповідну таблицю. Необхідно виділити пристрої пріоритетного навантаження, тобто пристрої, яким потрібна електроенергія навіть для тих випадків коли немає електроенергії в мережі. Дані пристрої наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік пріоритетних споживачів та споживання

Період року	Літній період					Зимовий період				
Споживач (ел.прилад)	Потужність, P, Вт	Кількість, n	Загальна потужність, Вт	Час автономної роботи t, год	Споживання ел.енергії за час АР, Вт/добу	Потужність, P, Вт	Кількість, n	Загальна потужність, Вт	Час автономної роботи t, год	Споживання ел.енергії за час АР, Вт/добу
Каб 9203										
Освітлення	16	2	32	4	128	16	4	64	6	384
Електричний обігрівач	1500	2	0	0	0	1500	2	3000	4	12000
Комп'ютер	350	5	1750	6	10500	350	5	1750	8	14000
Ноутбук	90	1	90	3	270	90	1	90	3	270
Принтер	540	1	540	2	1080	540	1	540	3	1620
Сумарне значення приладів першого пріоритету	2496		2412		11978	2496		5444		28274
Каб 9206										
Бойлер	1500	1	0	2	0	1500	1	1500	2	3000
Електричний обігрівач	1500	1	0	0	0	1500	1	1500	4	6000
Сумарне значення приладів першого пріоритету	3000		0		0	3000		3000		9000
Сумарне значення всіх приладів першого	**5496**		**2412**		**11978**	**5496**		**8444**		**37274**

Отримуємо потужність пріоритетних споживачів, а саме: Сумарна номінальна потужність пріоритетних споживачів:

- в зимовий період – 8,5 кВт

- в літній період – 2,4 кВт

Споживання пріоритетних споживачів на час автономної роботи – 37 кВт/добу

Отже, це є наші ключові дані для майбутніх етапів проектування гібридної сонячної станції.

3.3 Розроблення і опис структурної схеми гібридної фотоелектричної станції для забезпечення потреб приміщень кафедри

Розглянемо загальний вигляд автономної СЕС із зображенням її складових компонентів (рисунок 3.5).

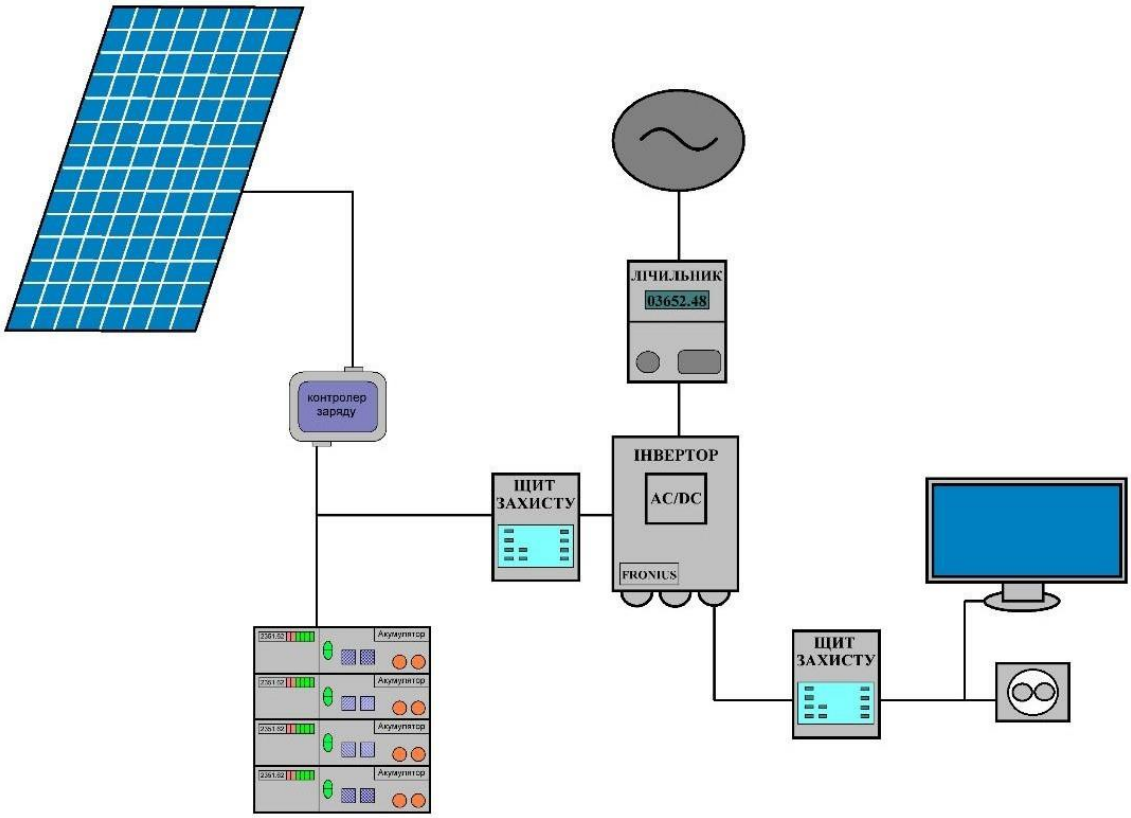
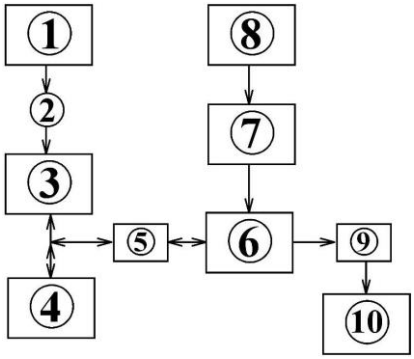


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд автономної СЕС

Автономна сонячна електростанція (СЕС) – це система, що перетворює сонячне випромінювання на електричну енергію та забезпечує її споживачам без підключення до загальної мережі. Принцип роботи автономної СЕС полягає в наступному: сонячні панелі або модулі перетворюють сонячне світло на постійний струм; акумулятори або батареї зберігають надлишок енергії для використання в нічний час або за хмарної погоди; інвертори перетворюють постійний струм на змінний струм, що сумісний з домашньою або промисловою технікою.

Як бачимо, присутня визначена кількість елементів, тому детальніше також розглянемоструктурну схему із вказаними взаємозв’язками між елементами СЕС (рисунок 3.6).

Відповідно, розглянувши загальний вигляд гібридної СЕС, її складові (елементи) та взаємозв’язки між ними – можемо продовжити проектування нашої станції поступовим підбором технічних компонентів.



1) Сонячна панель; 2) Кабелі; 3) Контролер заряду; 4) Акумулятори; 5) Щит захисту постійного струму ; 6) Інвертор гібридний; 7) Лічильник ; 8) Мережа; 9) Щит захисту змінного струму; 10) Споживач.

Рисунок 3.6 – Структурна схема автономної СЕС

3.4 Підбір елементів гібридної СЕС для забезпечення балансування енергоспоживання приміщень кафедри

3.4.1 Підбір системи фотомодулів автономної фотоелектричної станції

Для правильного підбору фотомодулів можемо скористатись наступним алгоритмом розрахунку:

1. Визначимо сумарне значення потужності приладів, які працюють протягом зимового періоду: 8,5 кВт

2. Розрахуємо необхідну потужність фотомодулів:

Для розрахунку обираємо фотомодулі серії N-type потужністю 580 Вт.

Отже, обираємо фотомодулі Trina Solar TSM-580 DE19R (монокристал) із потужністю 580 Вт (таблиця №2.5).

Ефективність перетворення сонячної енергії в електричну залежить від інтенсивності сонячної радіації.

Якщо сонячна батарея працює в умовах туману, хмарності або ж знаходиться низько над горизонтом, то вона виробляє лише частку своєї продуктивності (див. таблицю 3.2).

Приймаємо умови розрахунку для легкої хмарності – 60 %

Отже, (8500 Вт/ 580 Вт) / 0,7 = 20 фотомодулів потрібні для забезпечення роботи станції потужністю 8,5 кВт.

Даний розрахунок проведений для забезпечення необхідної генерації енергії (8,5 кВт) відносно поточного споживання кабінетів 9200 та 9203 кафедри станом на 2024 рік (наведено в таблиці 2.14).

Таблиця 3.2 – Світлові умови кафедри станом на 2024 рік

Світлові умови	% від повної потужності
Яскраве сонце, панелі розташовані перпендикулярно сонячним променям	100
Легка хмарність	60 – 80
Похмура погода	20 – 30

Однак, враховуючи перспективу розвитку кафедри та збільшення спецобладнання, прогнозоване споживання в 2026 році складе 10 кВт. Відносно вказаного споживання розрахуємо потужність станції:

(10000 Вт/ 580 Вт) / 0,7 = **25 фотомодулів** потрібні для забезпечення роботи станції потужністю 10 кВт.

Технічна характеристика панелей наведена на таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні параметри фотомодуля.

Габаритні розміри	
Вага	29,1 кг
Ширина	1134 мм
Довжина	2384 мм
Товщина	32 мм
Основні	
Виробник	Trina Solar
Максимальна робоча температура	85 град.
Гарантійний термін	12 міс.
Країна виробник	Китай
Матеріал рамки	Алюміній
Напруга	38 В
Мінімальна робоча температура	- 40 град.
Потужність	580 Вт

Продовження таблиці 3.3

Напруга холостого ходу	46 В
Тип панелі	Монокристалічна
Кількість елементів (для СЕС 8,5 кВт)	**20 шт.**
Кількість елементів (для СЕС 10 кВт)	**25 шт.**
ККД, не менше	21,5%
Напруга при максимальній потужності	38,4В
Струм при максимальній потужності	15,1 А
Струм короткого замикання	16,1 А
Температурні коефіцієнти	
Температурні коефіцієнт напруги	- 0,25 %/°С
Температурні коефіцієнт потужності	- 0,34 %/°С
Температурні коефіцієнт струму	0,04 %/°С

Розмір даної панелі складає: ширина – 1134 мм, довжина – 2384 мм та товщина 32мм. Відстані між панелями складають 100 мм.

Проведемо розрахунок двох варіантів СЕС потужністю 8,5 та 10 кВт для забезпечення балансування енергоспоживання кафедри.

Варіант 1 (СЕС 8,5 кВт): Для станції потужністю 8,5 кВт, загальна площа місця для монтажу панелей складе 54 м2, 19 штук панель будуть розміщені в 2 ряди, довжина кожного ряду складатиме орієнтовно 11,8 м.

Варіант 2 (СЕС 10 кВт): Для станції потужністю 10 кВт, загальна площа місця для монтажу панелей складе 68 м2, 26 штук панель будуть розміщені в 3 ряди, довжина перших двох рядів з 10 панелей складатиме 11,8 м, третій ряд скрадатиметься з 6 панелей, загальна довжина – 8 м.

Розміщуємо дану кількість панелей на покрівлі даху із використанням плоскої проекції даху (рисунок 3.9):

Варіант 1

Варіант 2

Рисунок 3.9 – Плоска проекція даху із розташованими фотомодулями

3.4.2 Підбір гібридного інвертора для автономної фотоелектричної станції

Враховуючи вище подану інформацію щодо необхідної потужності станції, можемо обрати інвертор гібридний Deye SUN-8K-SG01LP1-EU 8kW, 1Ф, 48V для варіанту 1 – 8,5 кВт СЕС із наступними характеристиками наведено нижче в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики інвертора Deye SUN-8K-SG01LP1-EU

Модель	**SUN-8K-SG01L P1-US/EU**
Тип батареї	Літій-іонна
Діапазон напруги батереї (В)	40-60
Макс. Струм зарядки (А)	190
Макс. Розрядний струм (А)	190
Крива зарядки	3 Етапи / Вирівнювання
Зовнішній датчик температури	так
Зовнішній датчик температури	так
Стратегія заряджання літій-іонної батареї	Самоадаптація до BMS
Макс. Вхідна потужність постійного струму (Вт)	10400
Номінальна вхідна напруга PV (В)	370 (125~500)
Початкова напруга (В)	125
Діапазон напруг MPPT (В)	150-425
Діапазон напруги постійного струму при повному навантаженні (В)	200-425
Вхідний струм PV (А)	26+13, 26+26
Макс. PV ISC (А)	44+22, 44+44
Кількість трекерів MPPT	2
Кількість рядків на трекер MPPT	2+1,2+2
Номінальна вихідна активна потужність змінного струму (Вт)	8000
Макс. Вихідна потужність змінного струму (Вт)	
Номінальний вихідний струм змінного струму (А)	36,4 / 34,8
Максимальний вихідний струм змінного струму (А)	40/38,3
Макс. Постійне проходження змінного струму (А)	50

Для варіанту 2 – СЕС потужністю 10 кВт обираємо інвертор Deye SUN-10K-SG04LP3-EU 10kW, 3Ф, 48V із характеристиками описаними наведено нижче в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики інвертора Deye SUN-10K-SG04LP3-EU

Резервний автономний режим	
Потужність, Вт	10000
Максимальна потужність, Вт	11000
Пікова потужність не більше 10 с, Вт	20000
Вихідний струм, А	15,2
Максимальний вихідний струм, А	22,7
Максимальний струм транзиту, А	25
Вихідна частота, Гц	50/60
Тип мережі	3ф
Коефіцієнт гармонік, %	THD <3 %
Сонячний контролер	
Максимальна потужність сонячного поля, Вт	13000
Діапазон напруги, В	160-800
Номінальна напруга MPPT, В	550
Робочий діапазон MPPT, шт	200-650
Кількість входів PV, шт	2+1
Вхід акумулятора	
Тип батареї	AGM, GEL, LiFePO4, Li-ion
Діапазон напруги, В	40-60
Максимальний струм зарядки, А	210
Максимальний струм розрядки, А	210
Стадії зарядки	3 стадії
Зовнішній датчик температури	є
Підтримка BMS	є
Ефективність	
Максимальний ККД, %	97,6

Отже, із поданої інструкції бачимо, що пікова потужність інвертора 10000 Вт, а номінальна потужність складає 8000 Вт, вартість – 195 тис. грн.

3.4.3 Підбір акумуляторної системи для балансування енергоспоживання кафедри

Складемо відповідні таблиці із врахуванням споживання об’єкта за день для розрахунку необхідної ємності АКБ та мінімальної ємності АКБ (таблиця 3.3).

Таблиця 3.6 – Розрахунок ключових даних для необхідної ємності АКБ

Тип АКБ	Споживання за день, кВт*год		ККД Інвертора		Загальна кількість енергії, що буде взята з АКБ, кВт*год		Напруга АКБ,В		Ємність АКБ, А*год		Кооеф. Температурного зменшення ємності АКБ		DOD АКБ		Необхідна ємність АКБ, А*год		Необхідна ємність АКБ, кВт*год
Свинцево-кислотна	37,274		0,93		40,1		48		835,0		1,14		0,5		1903,8		91,4
Літієва	37,274	:	0,93	=	40	:	48	=	835,0	*	1	:	0,9	=	927,8		**44,5**

Для подальшого розрахунку оберемо тип акумулятора. Обираємо Літієву АКБ, оскільки ця технологія на даний момент найпоширеніша на ринку України та має оптимальні показники зберігання енергії.

Відповідно, ємність АКБ перемножуючи на Коеф. Температурного зменшення ємності АКБ та поділивши на DOD АКБ отримуємо необхідну ємність АКБ – 928 А*год та 45 кВт*год (13,83 кВт*год / 0,9) (таблиця 3.4).

Таблиця 3.7 – Розрахунок мінімальної ємності АКБ

Тип АКБ	Довготривале навантаження, Вт		Напруга, Вт		Струм, А		Рекомендований струм розряду, хС		Мінімальна ємність, А*год		Мінімальна ємність, кВт*год
Літієва	8444	:	48	=	175,9	:	0,5	=	88,0		**19,4**

Оскільки, стація є гібридною, тобто споживання електроенергії за рахунок генерації фотомодулів та зовнішньої мережі, приймаємо 200 А*год оптимальною ємністю для акумуляторів в системі. Із отриманих розрахунків отримуємо, що нам потрібно 2 АКБ, по 100 А*год (BOS-GM5.1 Deye (High-Voltage LiFePO4

51,2V, 100Ah 5,12kWh), технічні характеристики обраного акумулятора наведено нижче в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики акумулятора

Хімічний склад акумуляторів	LiFePO4
Місткість, (А*год)	100
Маштабованість Макс, шт	64
Номінальна напруга, В	51,2
Робоча напруга, В	57,6
Енергія, кВт*год	5,12
Корисна енергія, кВт*год	4,6
Рекомендований струм розряду/заряду	50
Максимальний струм розряду/заряду	100
Піковий струм розряду/заряду	150
Рекомендована глибина розряду,%	90
Розмір (Ш,В,Г - мм)	13000
Приблизна вага, кг	160-800

3.4.4 Підбір системи захисної автоматики автономної ФЕС

Відповідно, окрім елементів кріплення, залишається підібрати пристрої захисту зі сторони постійного, змінного струму та зі сторони акумуляторів.

Захист зі сторони змінного струму підбирається під параметри інвертора,а саме по максимальному вихідному струму або пікова потужність ділиться на вихідну напругу і множиться на 1,2.

Отже, в нашому випадку обираємо - Щит змінного струму AC 3-40 RS ETI (8000/230*1,2 = 42 А = відповідно щит захисту на 40 А).

Даний щит розрахований для захисту обладнання станції до 25 кВт. У нашому випадку необхідно забезпечувати безпеку станцій 8 та 10 кВт. Отже обраний щит забезпечить надійний захист.

Аналіз роботи гібридної сонячної електростанції

Варіант 1 – СЕС 8,5 кВт:

Використовуючи програмне забезпечення PVGIS змоделюємо щомісячну роботу станції та наведемо результати на рисунку 3.10 та 3.11.

Рисунок 3.10 – Оцінка виробництва електроенергії для гібридної СЕС

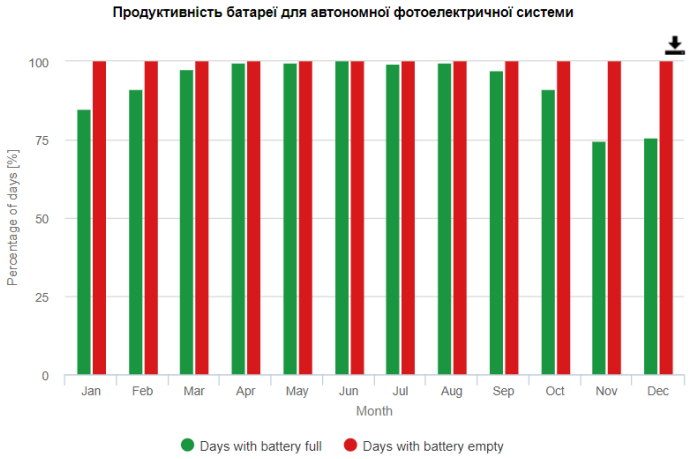


Рисунок 3.11 – Продуктивність акумуляторів для автономної фотоелектричної системи

Проаналізувавши дані залежності зауважимо, що у нашої станції буде недостатня кількість енергії протягом трьох місяців – листопад, грудень та січень, яка буде компенсовуватися за рахунок використання електроенергії із зовнішньої мережі.

Варіант 2 – СЕС 10 кВт:

Використовуючи програмне забезпечення PVGI - змоделюємощомісячну роботу станції та наведемо результати на рисунку 3.12 та 3.13.

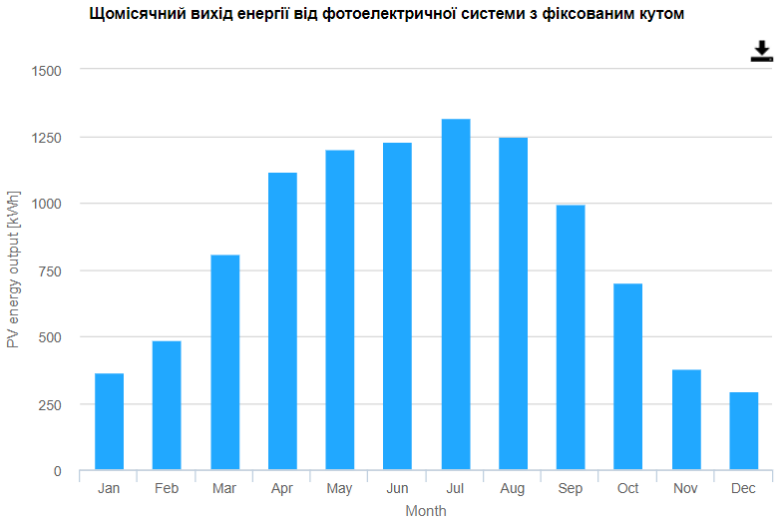


Рисунок 3.12 – Оцінка виробництва електроенергії для гібридної СЕС

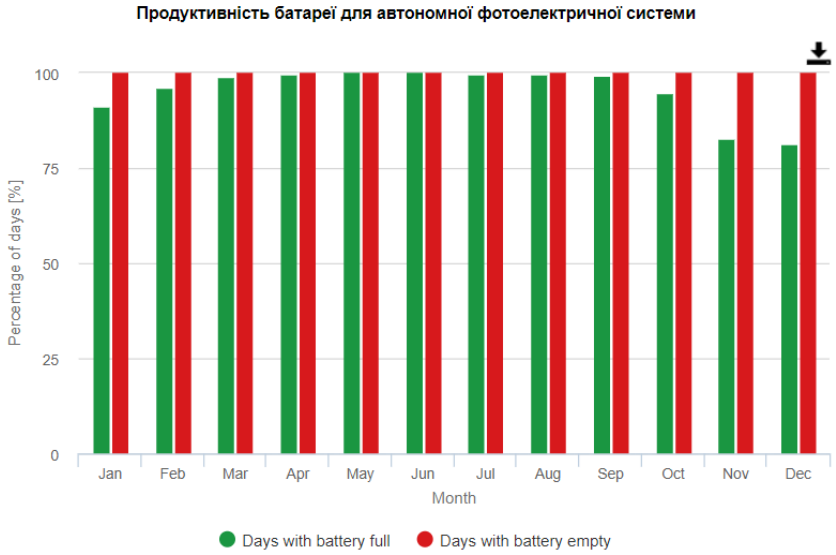


Рисунок 3.13 – Продуктивність акумуляторів для автономної фотоелектричної системи

Проаналізувавши дані залежності зауважимо, що у нашої станції буде недостатня кількість енергії протягом трьох місяців – листопад, грудень та січень, яка буде компенсовуватися за рахунок використання електроенергії із зовнішньої мережі.

3.5 Економічний аналіз впровадження СЕС

Проведемо економічний аналіз впровадження СЕС.

Варіант 1 – СЕС 8,5 кВт:

Мета проєкту	Встановлення гібридної сонячної електростанції дахового типу для забезпечення економії електроенергії кафедри ЕМТД в ІФНТУНГ
Потужність СЕС	8,5 кВт
Термін реалізації	1 місяць
Вартість проєкту	9 859 $
Скорочення споживання енергії в рік	8 627,09 кВт*год/в рік
Економія коштів в рік	2 123 $
Термін окупності проєкту	4,6 років

Кошторис

Назва товару	Модель	Кількість	Ціна, $	Сума, $
Сонячна панель	N-Type 580w	19	120	2 400
Гібридний Інвертор	Victron Energy MultiPlus-II 48/8000/110-100/100	1	2300	2 300
Блок управління АКБ	BMS блок	1	900	900
АКБ 100 А*год	LiFePo 5,1 kw	**1**	1540	1540
Система кріплень скатна	Профіль, прижими (алюміній), прокладки, метизи,	19	28	560
Електрофурнітура DC (по стороні постійного струму)	Кабель солар 6мм, конектори, гофра	16	16,2	259,2
Мережі 0,4кВ	Силові кабельні лінії, щитові	1	600	600
Монтаж	Монтаж панелей	19	50	1000
	Монтаж моніторингу	1	100	100
	Монтаж інверторів	1	200	200
Сума дол.США, з ПДВ				**9 859**
	Потужність по модулях	**11,7**		
	Собівартість за 1кВт, з ПДВ	**842,67**		

Прогнозована річна генерація сонячної електростанції 8627,09 кВт*г в рік.

Згідно розрахунків будівництво сонячної електростанції вищезазначеної потужності буде складати 9 859 USD з ПДВ.

Вартість матеріалів та робіт необхідних для влаштування внутрішніх мереж 0,4 кВ не враховано.

Підрахуємо річний дохід роботи СЕС:

Вартість електроенергії, яку ви купуєте по тарифу на даний момент становить:

8 UAH з ПДВ/кВт×год, або 0,2 USD /кВт×год з ПДВ.

8627,09 кВт×год /рік × 0,2 USD = 1 726 USD ×рік. (на ВП) – економія коштів за рахунок споживання електроенергії згенерованої СЕС

Враховуючи завантаженість кафедри у період канікул в зимовтй та літній періоди, можемо спрогнозувати, що 30% згенерованої електроенергії буде постачатися в зовнішню мережу за зеленим тарифом - 6,14 грн/кВт*год (з 1 січня 2024 року) - 0,15 $.

8627,09 *30% = 2 588 кВт - кількість електроенергії, яка передається до зовнішньої мережі за зеленим тарифом

2 588 * 0,15 = 397 USD в рік - прибуток в рік за зеленим тарифом

Загальна економія складе:

1 726 USD + 397 USD = 2 123 USD

Щорічний дохід складе 2 123 USD ×рік з ПДВ

Отже, термін окупності системи, при споживанні електроенергії на власні потреби:

9 859 USD (вартість СЕС) / 2 123 USD (річний дохід) = 4,6 років (окупність)

Варіант 2 – СЕС 10 кВт:

Мета проєкту	Встановлення гібридної сонячної електростанції дахового типу для забезпечення економії електроенергії кафедри ЕМТД в ІФНТУНГ
Потужність СЕС	10 кВт
Термін реалізації	1 місяць
Вартість проєкту	11 450 $
Скорочення споживання енергії в рік	10 149,5 кВт*год/в рік
Економія коштів в рік	2 486 $
Термін окупності проєкту	4,6 років

Кошторис

Назва товару	Модель	Кількість	Ціна, $	Сума, $
Сонячна панель	N-Type 580w	26	120	3 000
Гібридний Інвертор	MultiPlus-II 48/10000/140-100/100	1	2900	2 900
Блок управління АКБ	BMS блок	1	900	900
АКБ 100 А*год	LiFePo 5,1 kw	1	1540	1540
Система кріплень скатна	Профіль, прижими (алюміній), прокладки, метизи,	26	28	700
Електрофурнітура DC (по стороні постійного струму)	Кабель солар 6мм, конектори, гофра	16	16,2	259,2
Мережі 0,4кВ	Силові кабельні лінії, щитові	1	600	600
Монтаж	Монтаж панелей	26	50	1250
	Монтаж моніторингу	1	100	100
	Монтаж інверторів	1	200	200
Сума дол.США, з ПДВ				**11 449**
	Потужність по модулях	**14,625**		
	Собівартість за 1кВт, з ПДВ	**782,85**		

Прогнозована річна генерація сонячної електростанції 10149,51 кВт*г в рік.

Згідно розрахунків будівництво сонячної електростанції вищезазначеної потужності буде складати 11 449 USD з ПДВ.

Вартість матеріалів та робіт необхідних для влаштування внутрішніх мереж 0,4 кВ не враховано у вартість.

Підрахуємо річний дохід роботи СЕС :

Вартість електроенергії, яку ви купуєте по тарифу на даний момент становить

8 UAH з ПДВ/кВт×год, або 0,2 USD /кВт×год з ПДВ.

10149,51 кВт×год /рік × 0,2 USD = 2 029 USD ×рік. (на ВП) - економія коштів за рахунок споживання електроенергії згенерованої СЕС

Враховуючи завантаженість кафедри у період канікул в зимовтй та літній періоди, можемо спрогнозувати, що 30% згенерованої електроенергії буде постачатися в зовнішню мережу за зеленим тарифом - 6,14 грн/кВт*год (з 1 січня 2024 року) - 0,15 $.

10149,51 *30% = 3 044 кВт - кількість електроенергії, яка передається до зовнішньої мережі за зеленим тарифом

3 044* 0,15 = 457 USD в рік - прибуток в рік за зеленим тарифом

Загальна економія складе:

2 029 USD + 457 USD = 2 486 USD

Щорічний дохід складе 2 486 USD ×рік з ПДВ

Отже, термін окупності системи, при споживанні електроенергії на власні потреби: 11 449 USD (вартість СЕС) / 2 486 USD (річний дохід) = 4,6 років (окупність)

За результатами екномічного аналізу двох варіантів генерації гібридної СЕС:

Варіант 1 – СЕС 8,5 кВт, який забезпечуватиме наявну потребу у споживанні кафедри станом на 2024 рік. Вартість проекту складе 9 859 USD, вартість 1 кВт – 843 USD, окупність – 4,6 років.

Варіант 2 – СЕС 10 кВт, який забезпечуватиме потребу у споживанні кафедри з врахуванням перспектив розвитку (дооблаштування спец обладнанням) на перспективу до 2026 року. Вартість проекту складе 11 450 USD, вартість 1 кВт – 783 USD, окупність – 4,6 років.

Висновки до розділу 3

За результатами економічного аналізу зроблено висновок, що навіть при дорожчій вартості другого варіанту, термін окупності є одинаковим, а вартість одного кіловату електроенергії є нижчою у порівнянні з першим варіантом. Тому рекомендовано прийняти для реалізації другий варіант.

У 3 розділі було проведено підбір обладнання для двох варіантів гібридної СЕС - гібридної СЕС на 8 кВт та 10 кВт. Також було розраховано економічну складову обох проектів побудови СЕС.

Варіант 1 – СЕС 8,5 кВт:

- Потужність: 8,5 кВт

- Вартість проекту: 9 859 USD
- Вартість 1 кВт: 843 USD
- Термін окупності: 4,6 роки

Варіант 2 – СЕС 10 кВт:

- Потужність: 10 кВт
- Вартість проекту: 11 450 USD
- Вартість 1 кВт: 783 USD
- Термін окупності: 4,6 роки

За результатами економічного аналізу, хоча другий варіант має вищу загальну вартість, термін окупності однаковий, а вартість одного кіловата електроенергії нижча порівняно з першим варіантом. Тому рекомендується до реалізації прийняти другий варіант.

Підсумовуючи, гібридна СЕС 10 кВт є більш економічно вигідним і стійким рішенням для потреб кафедри в енергії, як зараз, так і для майбутнього зростання. Рекомендується пріоритетно впровадити цей варіант.

ВИСНОВКИ

У роботі було розглянуто параметри балансування енергозабезпечення на прикладі встановлення гібридної сонячної електростанції для забезпечення освітнього процесу двох приміщень кафедри енергетичного менеджменту та технічної діагностики в ІФНТУНГ.

Параметри балансування енергозабезпечення (енергетичного балансу) – це сукупність характеристик та критеріїв, які використовуються для забезпечення стабільної та ефективної роботи енергетичної системи. Ці параметри допомагають зберігати баланс між виробництвом і споживанням енергії, запобігати перебоям у постачанні електроенергії та забезпечувати надійність енергосистеми.

Розглянуті основні параметри балансування енергозабезпечення, а саме:

1. Генерація електроенергії: виробництво електроенергії від гібридної СЕС. У розділі 1 описано принцип роботи СЕС та приклади застосування. Наведено переваги та недоліки застосування СЕС у громадському та приватному секторах, що забезпечує незалежність від коливань цін на електроенергію, допомагає у плануванні бюджету та зменшує фінансові ризики. Також виокремлено та описано принцип роботи та класифікацію акумуляторних батарей та виявлено, що чим менша напруга АКБ, тим більшої вона ємності, а отже і термін експлуатації АКБ довший, оскільки буде менше циклів заряду/розряду батареї.

2. Оцінка генерації електроенергії в залежності від метеорологічних умов: у розділі 2 досліджено прогнозування генерації станції в залежності від географічного розташування та кліматичних умов (вологості, хмарності, кількості опадів, температури, тощо). Визначено, що генерація сонячної станції найбільше залежить від таких метеорологічних параметрів як хмарності та температури.

3. Споживання електроенергії: у розділі 2 проведений аналіз споживання електроенергії приміщень кафедри з врахуванням пріоритетного

навантаження. Для дослідження споживання електроенергії приміщення протягом 2020-2024 рр. та прогнозування майбутньої генерації станції застосовано систему моніторингу smart-MAIS Share.

4. Резервні потужності: проведено розрахунок необхідної резервної потужності та обсягів щомічного енергоспоживання приміщеннями. Зокрема визначено, що для забезпечення роботи пріоритетного навантаження необхідна потужність СЕС має складати 8,5-10 кВт.

5. Баланс потужностей: для підтримання рівноваги між виробленою та спожитою потужністю в реальному часі, в розділі 3 запропоновано впровадження системи акумуляції на базі АКБ сумарною ємністю 200 А*год. Проведені основні розрахунки.

6. Інтеграція відновлюваних джерел енергії: у розділі 3 запропоновано використання гібридної СЕС для балансування енергоспоживання приміщень кафедри. Розраховано основні параметри елементів СЕС.

У цілому відзначено, що впровадження систем акумуляції для балансування генерації СЕС допомагає забезпечити стабільність, ефективність та стійкість енергетичної системи, що є критично важливим для економічного розвитку країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фотоелектричні перетворювачі сонячного випромінення. Досягнення, сучасний стан і тенденції розвитку (огляд) / Д. М. Фреїк В.М. Чобанюк М. О. Галущак О. С. Криницький Г. Д. Матеїк. ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА. 2012. Т.13. С. 7 – 20.

2. sh1.jpg (1014×326) [Electronic resource] – Regime of access: https://renenergy.com.ua/images/statji/sh1.jpg, free

3. sh2.jpg (929×276) [Electronic resource] – Regime of access: https://renenergy.com.ua/images/statji/sh2.jpg

4. sh3.jpg (1006×329) [Electronic resource] – Regime of access: https://renenergy.com.ua/images/statji/sh3.jpg

5. СХЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ URL: https://renenergy.com.ua/soniachnielektrostantsii/skhemy-orhanizatsii-soniachnykh-elektrostantsii

6. Перелік національних стандартів для цілей застосування Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 № 94, затверджений Наказом Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 28.12.2020 № 2775 URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/file/text/86/f502148n12.pdf

7. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року. Указ Президента України. База даних “Законодавство України”/ Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text

8. Правила роздрібного ринку електричної енергії, затверджені Постановою НКРЕКП 14.03.2018 № 312. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18#

9. Технічний регламент засобів вимірювальної техніки, затверджений Постановою КМУ від 24 лютого 2016 р. № 163. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/163-2016-%D0%BF#

10. Закон України «Про ринок електричної енергії України» від 13.04.2017 № 2019-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text

11. Кузнєцов М.П., Мельник О.А., Смертюк В.М. Моделювання процесу акумулювання електроенергії в комбінованій енергосистемі // Відновлювана енергетика – 2020, № 4, С.22–30

12. Лежнюк П. Д., Ковальчук О. А., Нікіторович В. В., Кулик В. В. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія Вінниця: ВНТУ, 2014. 204 с. ISBN 978-966-641-577-9.

13. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / під заг. ред. А. К. Шидловського. К.: «Українські енциклопедичні знання», 2007. 559 с.

14. ПКП «Техноноватор»: Типи сонячних батарей [Електронний ресурс] / URL: http://tehnonovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-batteryua/types-sun-battery-ua.htm

15. Clean Energy Lab. LCOE ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ. https://cel.com.ua/statics/media/doc23929.pdf

16. Michael Forst. Germany‘s module industry poised for growth. SUN & Wind Energy. Vol.5. 2011. Pp. 256-263.

17. [Електронний ресурс] - URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/40148/1/Boichuk_magistr.pdf.

18. Лежнюк П.Д., Кравчук С В., Котилко І.В. Відновлювальні джерела електроенергії в електричних мережах як елемент енергоефективного електроспоживання. Світлотехніка та електроенергетика. 2019. № 56 (3). С. 99–106.

19. Кудря С.О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Вісник НАН України. 2015. № 12. С. 19–26.

20. Каталог критично важливих технологій для енергетичного сектору України. Версія: січень 2024, с. 79 – URL: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/udepp_urgent_technology_catalogue_for_ukrainian_power_sector_utc4upc_ukr_jan_2024.pdf

21. Казіміров О. О., Власов К. В., Куртов А. І., Потіхенський А. І. Дослідження можливостей використання сонячної енергії для автономного живлення об’єкту. Система обробки інформації. 2017. №1 (147). С. 58-61

22. Джерела відновлюваної енергії в сучасній енергетиці. Ekotechnik.in.ua: вебсайт. URL: https://ekotechnik.in.ua/istochniki-vozobnovlyaemoj-energii/

23. Безнощенко, Д. Сонячна альтернатива ТЕПС. Сонячна енергетика. // Зелена енергетика. 2006. №3. С. 28- 36.

24. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 20-21 травня 2021р.).– К.: Інтерсервіс, 2021.– 1104 с.

25. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України/за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с

26. Відновлювані джерела енергії для домогосподарств. Saee.gov.ua: вебсайт. URL: https://saee.gov.ua/uk/content/renewables

27. Автоматизація енергоефективності готелю з використанням сонячних панелей. Маламед І. О., Пилипенко Ю. М. - URL: file:///C:/Users/USER/Downloads/td_2019_2_8.pdf

28. Зябіна Є.А., Люльов О.В., Пімоненко Т.В. Розвиток зеленої енергетики як шлях до енергетичної незалежності національної економіки: досвід країн ЄС // Науковий вісник Полісся. 2019. № 3 (19). С. 39–48.

29. [Електронний ресурс] – URL: https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1769/disvasylykhakhv1.pdf

30. [Електронний ресурс] – URL: https://www.altenergystocks.com/archives/2018/12/solar-storage-finance-conference-notes/

ДОДАТКИ

Додаток А

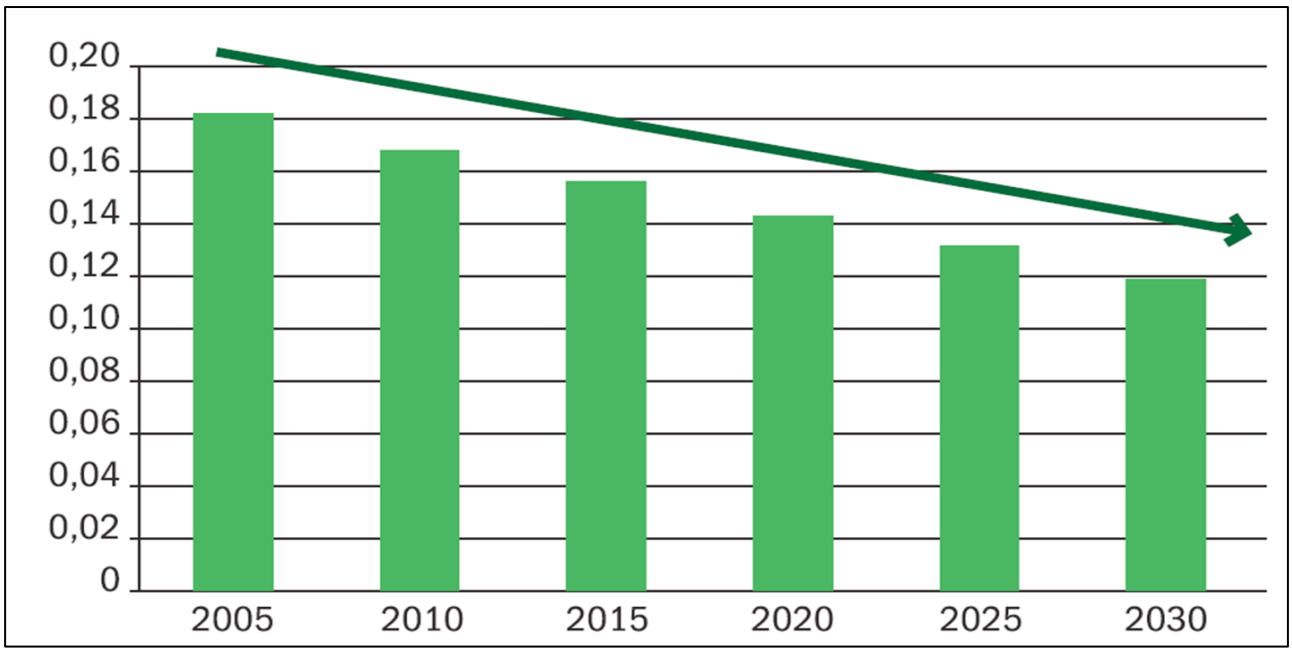


Рис. А.1. Динаміка зміни енерговитрат (1 т умовного палива на виробництво продукції вартістю1 тис. євро) у країнах ЄС в 2005–2030 рр.

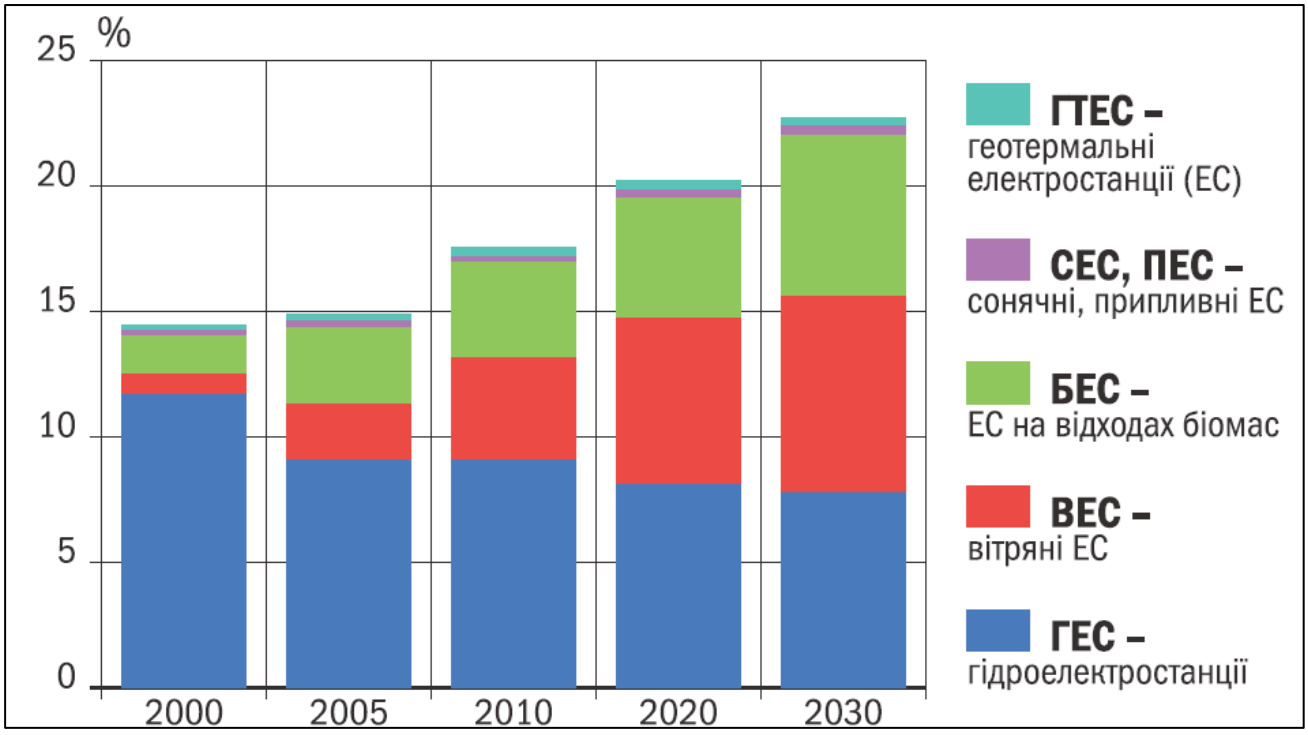


Рис. А.2. Частка відновлювальних джерел енергії в структурі виробництва електроенергії в ЄС (2000–2030 рр., %)

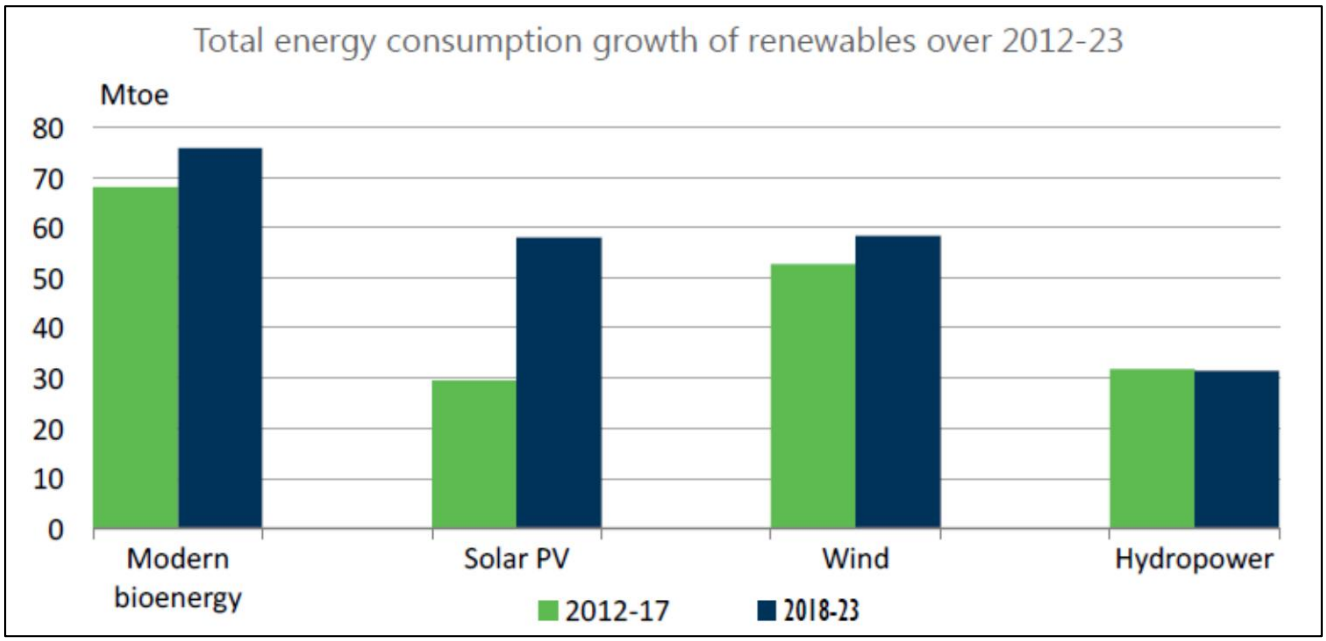


Рис. А.3. Динаміка споживання відновлюваної енергії в світі протягом 2018-2023 рр.

Додаток Б

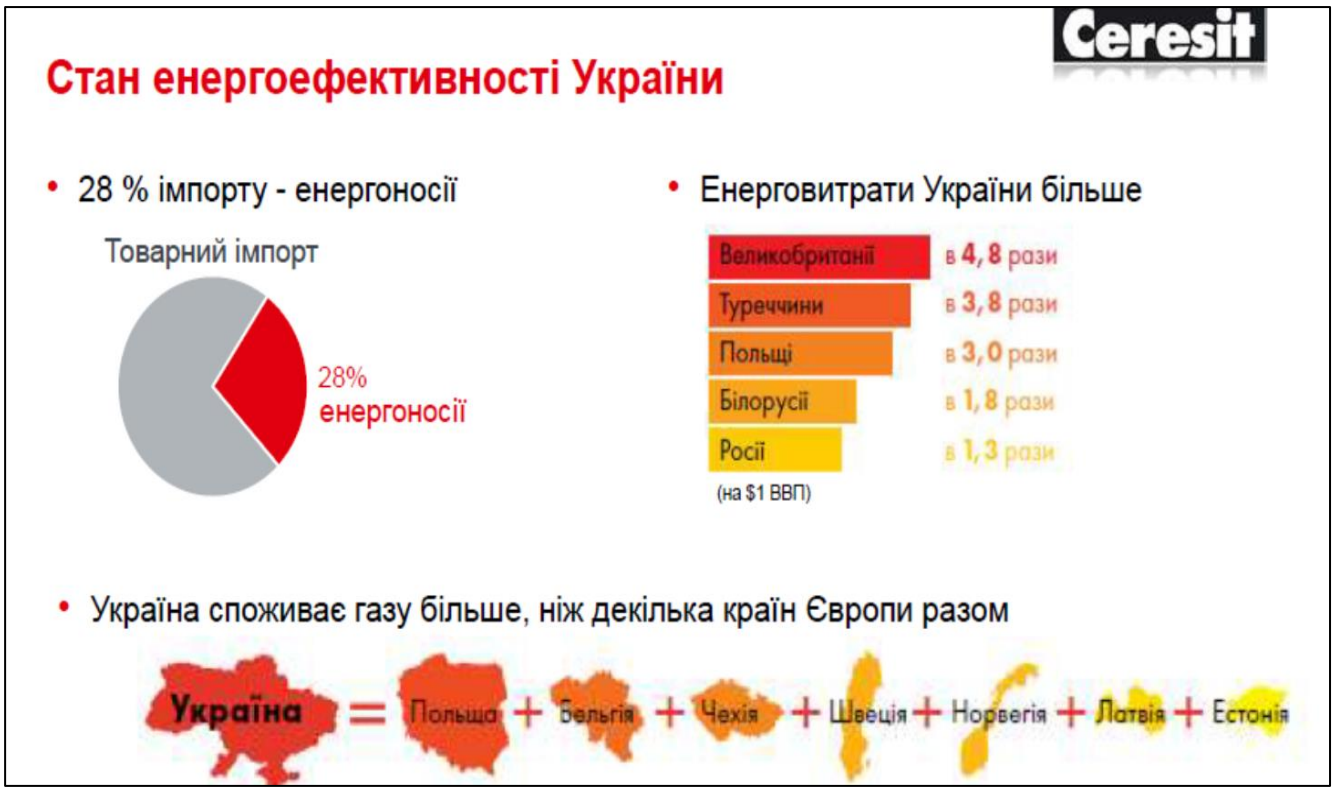


Рис. Б.1. Стан енергоефективності України

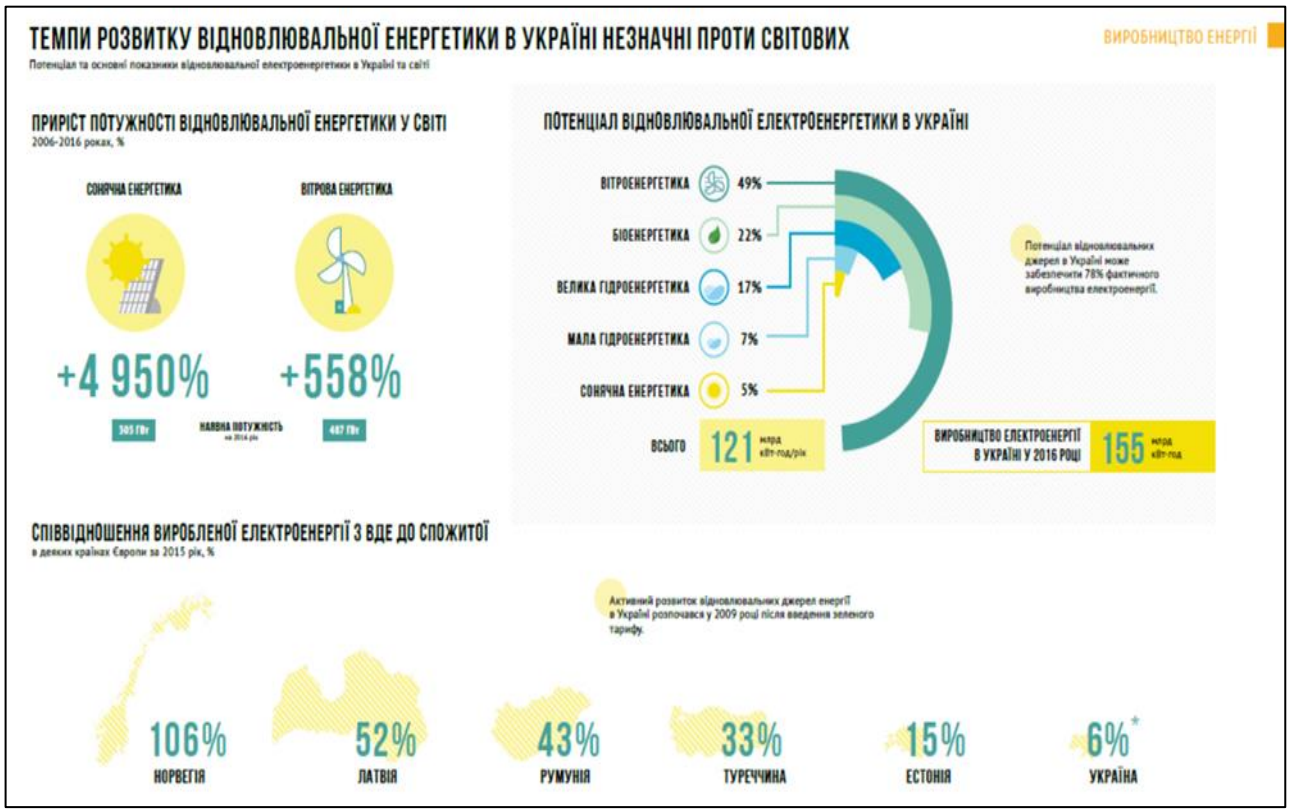
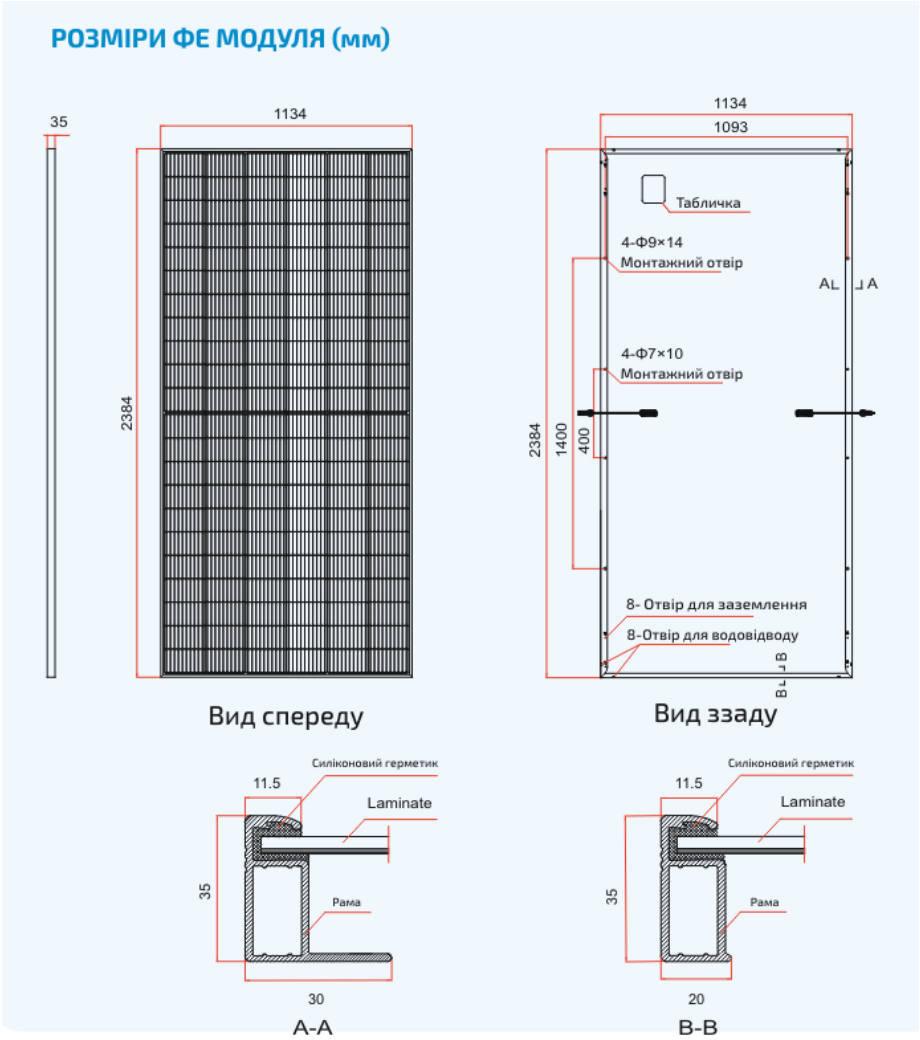


Рис. Б.2. Темпи розвитку відновлювальної енергетики в Україні

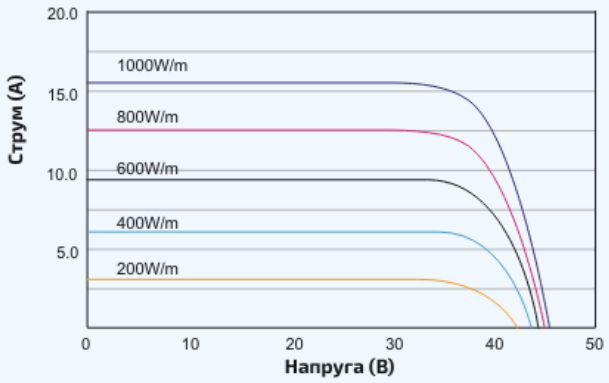
Рис. Б.3. Проєкт програми переходу України на відновлювальні джерела

Рис. Б.4. Програма "Енергетика майбутнього України"

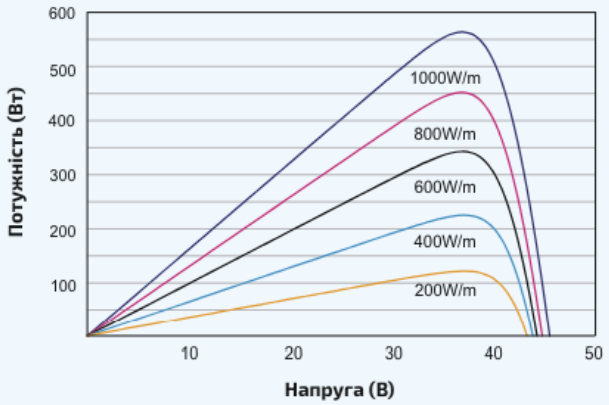
Додаток В


РОЗМІРИ ФЕ МОДУЛЯ (мм)
35
1134
2384
Вид спереду
1134
1093
Табличка
4-Ф9×14
Монтажний отвір
4-Ф7×10
Монтажний отвір
2384
1400
400
8- Отвір для заземлення
8-Отвір для водовідводу
Вид ззаду
Силіконовий герметик
11.5
Laminate
35
Рама
30
A-A
Силіконовий герметик
11.5
Laminate
35
Рама
20
B-B

I-V КРИВІ ФЕ МОДУЛЯ (565 Вт)



P-V КРИВІ ФЕ МОДУЛЯ (565 Вт)



МЕХАНІЧНІ ДАНІ

Сонячні комірки	Монокристалічні
Орієнтація комірок	132 комірок
Розміри модулю	2384×1134×35 мм
Вага	29.6 кг
Скло	3.2 мм, висока пропускна здатність, посилене скло з антибліковим покриттям
Матеріал інкапсуляції	EVA/POE
Підложка	Біла
Рама	35мм анодований алюмінієвий сплав
Розподільча коробка	Відповідає IP 68
Кабелі	Фотоелектричний кабель 4.0мм² Портретна: N 280мм/P 350мм, Альбомна: N 1400 мм / P 1400 мм
Роз'єм	Ts4 / Mc4 EVO2*

*Лише спеціальне замовлення.

ТЕМПЕРАТУРНІ ПАРАМЕТРИ

Номінальна робоча температура модуля (NMOT)	43°C (±2°C)
Температурний коефіцієнт PMAX	- 0.34%/°C
Температурний коефіцієнт VOC	- 0.25%/°C
Температурний коефіцієнт ISC	0.04%/°C

МАКСИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ

Робоча температура	-40~+85°C
Максимальна напруга в системі	1500V DC (IEC)
Макс. номінал запобіжника	20 A

(Не підключайте запобіжник у розподільній коробці з двома або більше стрінгами при паралельному підключенні)

ГАРАНТІЯ

12 років на дефекти виробництва

25 років на потужність генерації

2% деградації першого року

0.55% річного зменшення потужності

(Детальна інформація в гарантійних умовах)

ПАКУВАННЯ

Модулів у коробці: 31штук

Модулів в 40' контейнері: 620 штук

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384×1134×35 mm (93.86×44.65×1.38 inches)
Weight	29.1 kg (64.2 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	EVA/POE
Backsheet	White
Frame	35mm(1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm² (0.006 inches²), Portrait: 350/280 mm(13.78/11.02 inches) Length can be customized
Connector	TS4