Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“ Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
канд. техн. наук., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“___“ _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему
“ Комбінована система електропостачання на основі сонячної електростанції з накопичувачами електроенергії ”

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-22М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
_____Денис НЕТЮХАЙЛО
«____»_____

Керівник роботи
канд. техн. наук, доцент
_____Валентин СОЛДАТЕНКО
«_____»_____

Рецензент _____
_____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *будівництва, транспорту та енергетики*
Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
Галузь знань *14 Електрична інженерія*
Спеціальність *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
Освітньо-професійна програма *«Енергетичний менеджмент»*

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ
канд. техн. наук, професор
_____ *Петро ПЛЄШКОВ.*
«___»_____2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Нетюхайлу Денису Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Комбінована система електропостачання на основі сонячної електростанції з накопичувачами електроенергії*
Combined power supply system based on solar power plant with energy storage

2. Керівник роботи (проекту) *Солдатенко Валентин Петрович, канд. техн. наук., доц.*
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту_____

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) *Метою роботи є підвищення надійності та економічності електрозабезпечення об'єктів віддалених від централізованих систем електропостачання за рахунок раціональної побудови комбінованої системи електропостачання та режимів її роботи. Завдання роботи: виконати аналітичний огляд питання використання фотоелектричних перетворювачів та батарей акумуляторів в складі комбінованих систем для електропостачання; виконати аналіз об'єкту електропостачання з побудовою графіків споживання потужності та розрахунком споживання електроенергії; здійснити вибір основного обладнання комбінованої системи електропостачання з розробкою схеми їх з'єднання; виконати дослідження режимів роботи складових елементів комбінованої системи електропостачання для кожного місяця з оцінкою енергетичних балансів та надійності роботи системи.*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	*к.т.н, доц. Савеленко І.В.*		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*	*10.10.2023 р.*	
2	*Огляд питання використання фотоелектричних перетворювачів в комбінованих система електропостачання*	*13.10.2023 р.*	
3	*Аналіз енергоспоживання та проєктування комбінованої системи електропостачання з сонячною електростанцією*	*25.10.2023 р.*	
4	*Дослідження режимів роботи комбінованої системи електропостачання*	*15.11.2023 р.*	
5	*Охорона праці*	*30.11.2023 р.*	
6	*Загальні висновки*	*07.12.2023 р.*	
7	*Оформлення пояснювальної записки КР*	*11.12.2023 р.*	
8	*Оформлення презентаційної частини КР*	*15.12.2023 р.*	

Дата видачі завдання
«____» _____2023 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання
«____» _____2023 р.

Підпис здобувача ___ _____

АНОТАЦІЯ

Нетюхайло Д.В. Комбінована система електропостачання на основі сонячної електростанції з накопичувачами електроенергії.

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ОПП «Енергетичний менеджмент». – Центральноукраїнський національний технічний університет. – м. Кропивницький, 2023р.

Метою роботи є підвищення надійності та економічності електрозабезпечення об’єктів віддалених від централізованих систем електропостачання за рахунок раціональної побудови комбінованої системи електропостачання та режимів її роботи.

У роботі виконаний аналітичний огляд питання використання фотоелектричних перетворювачів та батарей акумуляторів в складі комбінованих систем для електропостачання.

Проаналізована типова житлова будівля як об’єкт електропостачання з побудовою графіків споживання потужності та розрахунком споживання електроенергії.

На основі даних про споживання електричної енергії та сонячної інсоляції для умов Новоукраїнського району виконаний вибір основного обладнання комбінованої системи електропостачання з розробкою схеми їх з’єднання.

Проведені дослідження режимів роботи складових елементів комбінованої системи електропостачання для кожного місяця з оцінкою енергетичних балансів, надійності роботи системи, витрати палива на електрогенерацію.

Ключові слова: система електропостачання, автономне електрозабезпечення, сонячна електростанція, акумулювання електроенергії, відновлювана енергетика

THE SUMMARY

Netiukhailo D. Combined power supply system based on solar power plant with energy storage.

Specialty 141 – "Electric power, electrical engineering and electromechanics". – "Energy management". – Central Ukrainian National Technical University. – Kropyvnytskyi, 2023

The purpose of the work is to increase the reliability and cost-effectiveness of the power supply of objects remote from centralized power supply systems due to the rational construction of the combined power supply system and its modes of operation.

The paper provides an analytical review of the issue of using photoelectric converters and battery batteries as part of combined power supply systems.

A typical residential building was analyzed as an electricity supply facility with construction of power consumption graphs and calculation of electricity consumption.

On the basis of data on the consumption of electric energy and solar insolation for the conditions of the Novoukrainian district, the selection of the main equipment of the combined power supply system with the development of their connection scheme was made.

Conducted studies of the operating modes of the components of the combined power supply system for each month with an assessment of energy balances, system reliability, fuel consumption for power generation.

Key words: power supply system, autonomous power supply, solar power plant, electricity storage, renewable energy

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ 4
ЗМІСТ 6
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ 8
ВСТУП 9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 11
1.1 Перспективи розвитку сонячної енергетики у світі 11
1.2 Фотоелектричні сонячні елементи та модулі: будова, параметри, застосування 14
1.3 Позитивні та негативні риси систем енергозабезпечення на основі фотоелектричних панелей 19
1.4 Роль акумуляторних батарей у забезпеченні стабільної роботи фотоелектростанцій 21
1.5 Висновки до першого розділу 23
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ 24
2.1 Побудова графіка потужності об’єкта електропостачання та розрахунок добового електроспоживання 24
2.2 Вибір типу та розрахунок генерації фотоелектричних панелей для комбінованої системи електропостачання 33
2.3 Розрахунок параметрів та вибір типу допоміжного обладнання для підключення фотоелектричних панелей 39
2.4 Висновки до другого розділу 41

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 42
3.1 Обчислення сонячної інсоляції та енергетичного балансу комбінованої системи електропостачання за місяцями 42
3.2 Обґрунтування вибору ємності та типу електрохімічних акумуляторів... 69
3.3 Розрахунок надійності роботи акумуляторних батарей..... 75
3.4 Енергетичні розрахунки процесів заряду і розряду пристроїв акумулювання в години пікового навантаження 76
3.5 Визначення типу та експлуатаційних характеристик резервного джерела живлення для комбінованої системи електропостачання 83
3.6 Висновки до третього розділу..... 87
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ 89
4.1 Виникнення статичної електрики та заходи з її подолання..... 89
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 92
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 94
Додаток А Технічні характеристики інвертора Outback Power VFX3048E.... 96

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АБ - акумуляторна батарея

ВАХ – вольт-амперна характеристика

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

ДЕС – дизельна електростанція

СЕ – сонячний елемент

СФБ – сонячна фотоелектрична батарея

ФМ – фотоелектричний модуль

ФСЕ – фотоелектричний сонячний елемент.

ВСТУП

Актуальність теми. Надійне електропостачання малопотужних електроспоживачів можливо організувати за рахунок використання різнорідних джерел живлення в рамках комбінованих систем. Для підвищення надійності та автономності роботи таких систем все більшого застосування знаходять установки, що використовують енергію відновлюваних джерел. Зважаючи на доступність випромінювання Сонця практично в будь-якій точці стрімко розвиваються та знаходять використання сонячні фотоелектричні установки саме для електропостачання віддалених від центрів живлення об’єктів. Проте при розробці схем електропостачання на базі сонячних фотоелектричних станцій потребують врахування щосезонні та щодобові коливання надходження сонячного випромінювання для різних регіонів, а також необхідність застосування накопичувачів енергії й додаткових джерел електроенергії з метою покриття дефіциту електроенергії в темний час доби та за хмарної погоди. З цією метою знайшли застосування в якості найзручнішого засобу для згладжування нерівномірності виробництва електроенергії фотоелектричними

Мета і задачі дослідження. *Метою роботи* є підвищення надійності та економічності електрозабезпечення об’єктів віддалених від централізованих систем електропостачання за рахунок раціональної побудови комбінованої системи електропостачання та режимів її роботи.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі:

- виконати аналітичний огляд питання використання фотоелектричних перетворювачів та батарей акумуляторів в складі комбінованих систем для електропостачання;

- виконати аналіз об’єкту електропостачання з побудовою графіків споживання потужності та розрахунком споживання електроенергії;

- здійснити вибір основного обладнання комбінованої системи електропостачання з розробкою схеми їх з’єднання;

- виконати дослідження режимів роботи складових елементів комбінованої системи електропостачання для кожного місяця з оцінкою енергетичних балансів та надійності роботи системи.

Об’єкт дослідження – режими роботи складових елементів комбінованої системи електропостачання житлового будинку та енергетичні баланси виробленої і спожитої електроенергії.

Предмет дослідження – комбінована система електропостачання житлового будинку з використанням сонячної електростанції, дизельного генератора та пристроєм для акумулювання електричної енергії.

Методи дослідження. Під час виконання досліджень були застосовані методи визначення сонячної інсоляції протягом року, метод розрахунку енергетичних балансів, методи теорії електричних кіл, методи теорії імовірності та математичної статистики.

Наукова цінність роботи полягає в подальшому розвитку теорії розробки комбінованих систем електропостачання на основі фотоелектричних джерел енергії з акумулюванням виробленої електроенергії для умов Центральноукраїнського регіону.

Практична цінність Для типового житлового будинку з малим електроспоживанням для умов центральноукраїнського регіону була розроблена схема та вибране обладнання комбінованої системи електропостачання з сонячними фотобатареями та акумуляторами.

Структура роботи: кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку посилань, додатків. Повний обсяг роботи складає 96 сторінок. Основна частина викладена на 93 сторінках друкованого тексту, містить 34 рисунків та 28 таблиць. Список використаних джерел містить 18 джерела та викладений на 2 сторінках.

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1 Перспективи розвитку сонячної енергетики у світі

Сонячна енергетика набирає значних обертів у світі. Зокрема, Китай та Японія є лідерами в цій галузі, оскільки на них припадає половина світового ринку сонячної енергії. Китай виробив 35 гігават електроенергії з сонячних електростанцій у 2016 році, прагнучи зменшити забруднення довкілля та задовольнити зростаючий попит на енергію.

Японська Асоціація фотоелектричної енергії прогнозує, що до 2030 року встановлена потужність сонячних електростанцій у Японії сягне 100 гігават. Індія також активно розвиває сонячну енергетику – вона планує збільшити потужності з 2 до 20 гігават у найближчі 10 років. Останні тенденції в Індії свідчать, що вартість сонячної електроенергії впала до 100 доларів за мегават-годину, що є конкурентним показником порівняно з енергією з імпортного вугілля чи газу.

Ще одним світовим лідером у сонячній енергетиці є Німеччина, яка має найбільшу кількість сонячних панелей в Європі. У 2022 році частка сонячної енергії у виробництві електроенергії Німеччини сягнула майже 10%. Успіху фотоенергетики в Німеччині сприяли державні субсидії та політика підтримки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Таким чином сонячна енергетика стрімко розвивається у багатьох країнах світу, оскільки є екологічно чистим та економічно вигідним джерелом електроенергії. Лідерами галузі є Китай, Японія, Індія та Німеччина.

Автономні сонячні установки та мікро-мережі активно розгортаються на африканському континенті, оскільки лише 30% території південніше Сахари

мають доступ до електроенергії. Африка з розвиненою видобувною промисловістю, розвиває сонячну енергетику як альтернатива використанню дизельних генераторів чи як резервне джерело енергії для ненадійних електромереж. Пустелі мають колосальний потенціал для розвитку сонячної енергетики завдяки величезним незаселеним територіям зі значною кількістю сонячних днів на рік. Згідно з розрахунками, використання лише 1 % території світових пустель може забезпечити генерацію всієї електроенергії, що споживається людством на даний момент.

Це свідчить про величезний невикористаний потенціал сонячної енергії в пустелях світу. Розгортання масштабних сонячних електростанцій в пустелях може стати важливим кроком на шляху до сталого енергетичного майбутнього людства.

Варто зазначити, що вартість сонячної фотоенергії з 1977 року знизилася в 100 разів. Ця тенденція, ймовірно, збережеться і надалі, роблячи сонячну енергетику ще більш привабливою для Африки та інших регіонів. Отже, сонячна енергія має великий потенціал для забезпечення доступного та надійного електропостачання в усьому світі.

Розвиток цивілізації супроводжується збільшенням попиту на енергію, особливо в країнах, що розвиваються. Наприклад, енергоспоживання Китаю з 2000 по 2009 рік зросло вдвічі і перевищило показники США.

Зростання населення, розвиток промисловості та підвищення рівня життя вимагають все більше викопного палива. Проте його запаси виснажуються, а видобуток потребує дедалі більших витрат.

Тому альтернативні джерела енергії, такі як сонячна та вітрова, набувають особливого значення. Вони дозволять задовольнити глобальний попит на енергію екологічним способом та зменшити залежність від викопного палива. Розвиток «зеленої» енергетики є ключовим для сталого майбутнього людства.

Наразі основна частка енергії виробляється з традиційних викопних джерел – вугілля, газу, нафти (78 %) та атомних електростанцій (близько 3 %). Частка відновлюваних джерел енергії поки що становить близько 5 %.

Для вирішення проблеми дефіциту електроенергії та зменшення залежності від викопного палива, світова спільнота робить акцент на розвитку саме «зеленої» енергетики – вітрової, сонячної, гідро- та біоенергетики. Ці відновлювані джерела є практично невичерпними та екологічно чистими.

Тому пріоритетним напрямком розвитку світової енергетики в найближчі десятиліття має стати саме збільшення частки відновлюваних джерел, особливо сонячної та вітрової енергії. Це дозволить забезпечити сталий енергетичний баланс та уникнути дефіциту електроенергії в майбутньому.

За прогнозами МЕА до 2030 року частка ВДЕ наблизиться до майже третини виробництва електроенергії та 7 % виробництва палива для двигунів внутрішнього згорання. Це суттєве зростання порівняно з сьогоденням.

В регіонах з низьким потенціалом ВДЕ, ймовірно, пріоритет отримає розвиток атомної енергетики та раціональне використання традиційних джерел.

Позитивним є те, що нові «зелені» технології розвиваються набагато швидшими темпами, ніж традиційна енергетика. Це дає підстави сподіватися, що частка відновлюваних джерел енергії зростатиме і надалі, забезпечуючи сталий енергетичний баланс та екологічну безпеку у всьому світі.

Країни, які залежать від імпорту традиційних викопних палив (ЄС, США, Японія), стали приділяти підвищену увагу та фінансування розвитку відновлюваних джерел енергії. Це дозволило ВДЕ швидко наблизитися до рівня конкурентоспроможності з традиційними технологіями.

Зокрема, вартість енергії з вітру, сонця, геотермальних та біоджерел вдалося істотно знизити завдяки технологічному прогресу та масштабуванню цих галузей. Тож «зелена» енергетика стає дедалі більш економічно вигідною альтернативою для багатьох країн.

Це свідчить, що подальше зростання інвестицій та інновацій у сфері ВДЕ може прискорити перехід до низьковуглецевої економіки та підвищити енергетичну безпеку світу. Розвиток «зеленої» енергетики має стати глобальним стратегічним пріоритетом.

Розвиток різних видів відновлюваних джерел енергії не відбувається рівномірним чином. Гідроенергетика була першопрохідцем серед ВДЕ, але її потенціал обмежений і в значній мірі вже вичерпаний. Подальше зростання гідроенергії стримується екологічними проблемами. Натомість найбільші перспективи росту серед ВДЕ наразі мають вітрова та сонячна енергетика завдяки технологічному прогресу та значному невикористаному потенціалу. Саме ці галузі, ймовірно, стануть локомотивами розвитку «зеленої» енергії у найближчі десятиліття.

Використання традиційної біомаси також скорочується через перехід населення до більш досконалих технологій отримання теплоти.

Світовими лідерами за обсягом інвестицій у ВДЕ є Китай, США, Німеччина, Італія, Індія. Найбільше коштів вкладається в сонячну та вітрову енергетику, оскільки саме ці технології демонструють найшвидше зростання.

Зокрема, у розвиток сонячної енергетики вкладено понад 140 млрд доларів США – на будівництво дахових СЕС у Європі та сонячних теплових електростанцій в Іспанії і США. У вітрову енергетику інвестовано понад 80 млрд доларів.

Такі значні капіталовкладення свідчать про стрімкий розвиток «зеленої» енергетики та її важливу роль у майбутньому енергопостачанні. Сонце та вітер стануть ключовими джерелами чистої енергії.

1.2 Фотоелектричні сонячні елементи та модулі: будова, параметри, застосування

Галузь відновлюваної енергетики, що базується на використанні сонячного випромінювання для виробництва електроенергії та тепла,

називається сонячною енергетикою. Вона ґрунтується на перетворенні сонячного світла в електричний струм за допомогою фотоелектричного ефекту та в тепло за допомогою сонячних колекторів.

Сонячна енергетика є одним з найперспективніших напрямків розвитку альтернативної енергетики у світі. Адже енергія Сонця є відновлюваним та практично невичерпним джерелом, на відміну від викопних видів палива. Крім того, сонячна енергія є екологічно чистою, оскільки її використання не призводить до викидів парникових газів та інших шкідливих речовин в атмосферу.

Варто зазначити, що останнім часом спостерігається стрімке здешевлення сонячних батарей та панелей. Це робить сонячну енергію все більш конкурентоспроможною в порівнянні з традиційними видами палива, такими як вугілля чи нафта. Тож сонячна енергетика має величезний потенціал для подальшого розвитку та широкого застосування у всьому світі.

Одним із різновидів пристроїв, що використовуються в сонячній енергетиці, є фотоелектричний сонячний елемент (ФСЕ). Загальний вигляд батареї із ФСЕ приведений на рис. 1.1. Його робота ґрунтується на явищі фотоефекту – процесі перетворення світла в електричний струм. ФСЕ перетворює енергію сонячного випромінювання безпосередньо на електроенергію, виступаючи первинним перетворювачем у фотоелектричній системі.

Завдяки прямому перетворенню сонячної енергії, ФСЕ є оптимальним рішенням для комбінованого електропостачання віддалених об’єктів, де немає підведення мережевої електроенергії. Наприклад, їх часто використовують у супутниках, маяках, придорожніх знаках. Крім того, ФСЕ все частіше застосовують у приватних будинках як додаткове або резервне джерело енергії. З розвитком технологій вартість ФСЕ знижується, а їх ККД зростає, що робить їх застосування все більш привабливим.

Існують три основні типи фотоелектричних сонячних елементів: монокристалічні, полікристалічні та аморфні, що базуються на тонкоплівковій

технології. Монокристалічні та полікристалічні ФСЕ характеризуються схожим рівнем ефективності перетворення сонячної енергії на електричну, а саме коефіцієнтом корисної дії (ККД) у діапазоні 13-20%. Цей показник вдвічі перевищує ККД сонячних елементів на основі аморфного кремнію, які є значно дешевшими у виробництві.

Слід зазначити, що технології виготовлення ФСЕ постійно вдосконалюються, підвищуючи їх ефективність і знижуючи вартість. Основними напрямками розвитку є створення багатоперехідних сонячних елементів, застосування альтернативних напівпровідникових матеріалів, а також інтеграція з концентраторами сонячного випромінювання. Усе це стимулює попит на фотоелектричні системи та розвиток галузі сонячної енергетики загалом.

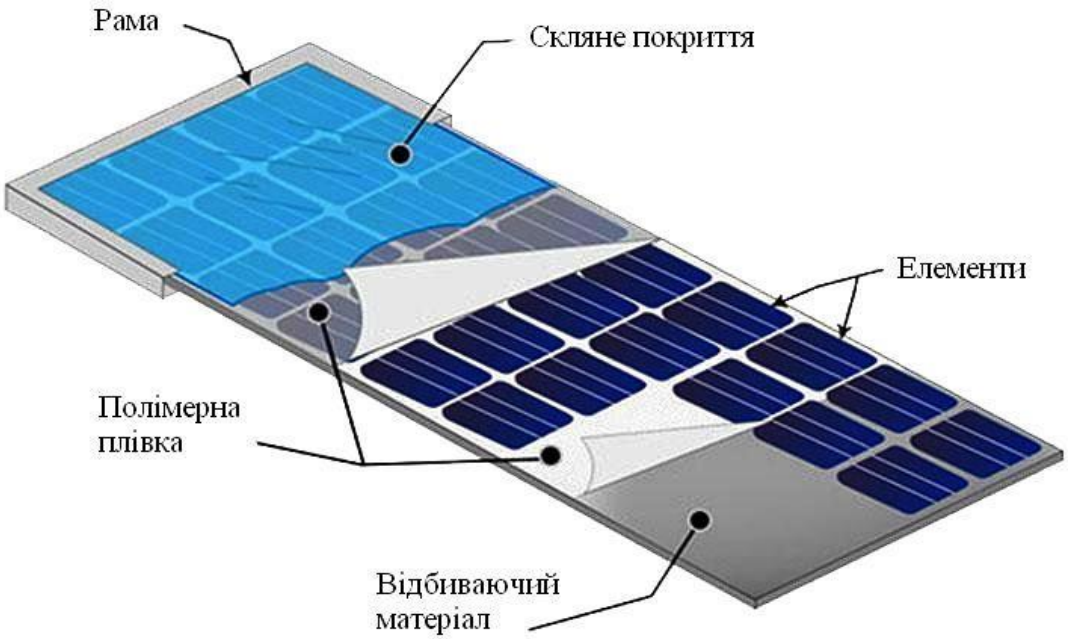


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд батареї фотоелектричних сонячних елементів

Фотоелектричні сонячні елементи (СЕ) випускають певних стандартних розмірів та форм. Зокрема, вони можуть мати круглу форму з діаметром 100, 125 або 150 міліметрів, або квадратну зі стороною 82, 100 чи 125 міліметрів. Потужність таких одиничних сонячних елементів становить зазвичай від 0,9

до 2,7 Ват. Детальні характеристики типового сонячного елемента, такі як струм короткого замикання, напруга холостого ходу, фізичні розміри та інші параметри можна знайти у специфікаціях виробників.

Варто зазначити, що розміри та потужності сучасних сонячних елементів постійно зростають з удосконаленням технологій їх виробництва, зокрема завдяки застосуванню тонших пластин кремнію та альтернативних матеріалів.

Фотоелектричний модуль (ФМ) являє собою пристрій, що об’єднує декілька фотоелектричних сонячних елементів в єдину конструкцію. Зазвичай такі елементи електрично з’єднуються послідовно всередині модуля для отримання необхідної напруги. Крім фотоелектричних елементів, конструкція ФМ включає захисне скло, рамку та додаткові компоненти, такі як блокуючі діоди для запобігання виникнення зворотних струмів.

Готові фотоелектричні модулі мають стандартизовані розміри та потужність, зазвичай від 100 до 400 Ват. Вони оснащуються вихідними клемами, за допомогою яких ФМ підключається до зовнішніх споживачів або інших компонентів сонячної фотоелектричної системи – контролерів заряду, інверторів, акумуляторів тощо.

Типові фотоелектричні модулі мають потужність від 10 до 300 Ват. У технічній документації на ФМ зазвичай вказується номінальна потужність, яку він здатен генерувати за стандартних умов випробувань (англ. Standart Test Conditions) – при освітленості 1000 Вт / м^2, температурі навколишнього середовища +25°C та спектральному складі сонячного випромінювання, характерному для широти 45°.

Проте на практиці потужність, що виробляється ФМ, може істотно відхилятися від паспортної, оскільки залежить від багатьох факторів в умовах реальної експлуатації – географічного розташування, пори року, погодних умов, кута нахилу ФМ тощо.

Основною характеристикою ФМ є його вольт-амперна характеристика (ВАХ) (див. рис. 1.2), що показує залежність між напругою та струмом

навантаження за фіксованої температури і освітленості. Аналіз ВАХ дає уявлення про оптимальні режими роботи ФМ в складі фотоелектричної системи.

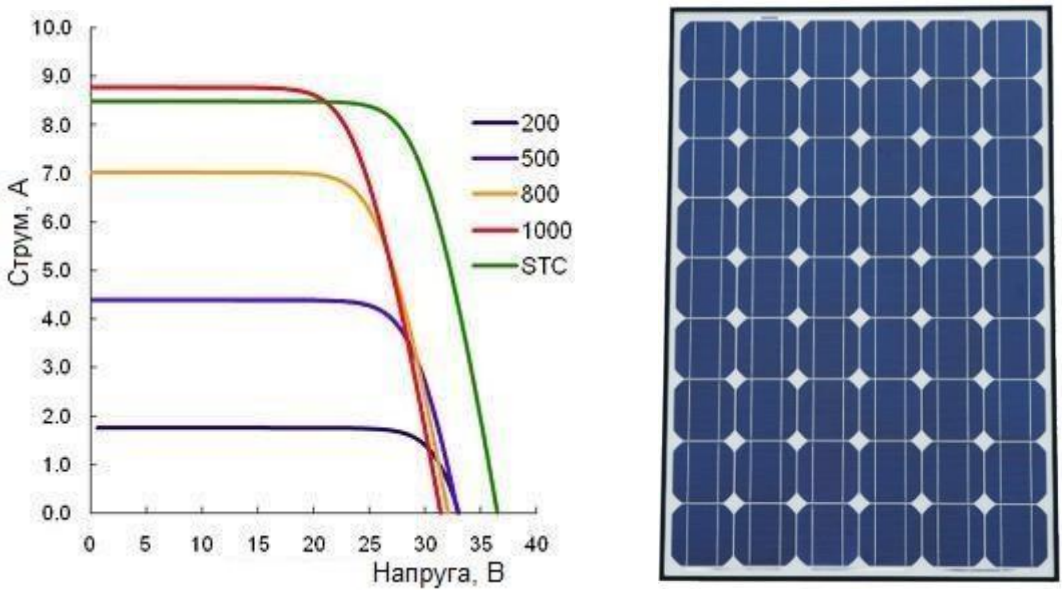


Рисунок 1.2 – Вольт-амперна характеристика фотоелектричного модуля потужністю200 Вт та її загальний вигляд

З вольт-амперної характеристики фотоелектричного модуля можна визначити такі важливі параметри:

- напруга максимальної потужності ($U_р$) – напруга, за якої фотомодуль видає найбільшу потужність;

- струм максимальної потужності ($I_р$) – відповідний до $U_р$ струм через зовнішнє навантаження.

Пікова потужність характеризує максимальне значення потужності, яку фотомодуль може видати за стандартних умов випробувань.

Ефективність перетворення сонячної енергії фотомодулем визначається коефіцієнтом корисної дії ККД. Для кремнієвих фотоелектричних модулів ККД типово становить 13-18%, а у перспективних конструкціях сягає 40% завдяки використанню багатоперехідних технологій і концентраторів сонячного випромінювання.

Для отримання необхідних параметрів по напрузі та потужності, фотоелектричні модулі можуть з’єднуватися між собою паралельно чи послідовно.

Сонячна фотоелектрична батарея (СФБ) складається із декількох фотомодулів, електрично та конструктивно об’єднаних між собою. Загальна потужність такої батареї трохи менша за сумарну потужність окремих модулів через втрати, пов’язані з розкидом характеристик між модулями однієї партії виробництва. Наприклад, для 10 фотоелектричних модулів послідовно з’єднаних з 10% розкидом ці втрати становлять близько 6%.

На основі сонячних фотоелектричних батарей реалізуються великі сонячні електростанції (СФЕС), що виробляють електроенергію для подачі в загальну електромережу. Потужності таких станцій можуть сягати сотень мегават.

1.3 Позитивні та негативні риси систем енергозабезпечення на основі фотоелектричних панелей

Основні переваги фотоелектричних систем енергозабезпечення на основі фотоелектричних панелей наступні:

- відновлюване та екологічно чисте джерело енергії, використання сонячного випромінювання не призводить до викидів шкідливих речовин;

- можливість автономного електропостачання віддалених об’єктів, зокрема, фотоелектричні системи часто застосовуються у космічних апаратах, маяках, засобах транспорту;

- простота монтажу та обслуговування, фотоелектричні панелі легко інтегруються в існуючі конструкції будівель;

- простота та надійність конструкції завдяки відсутності рухомих вузлів, мінімальна потреба в обслуговуванні;

- тривалий термін експлуатації, що сягає 20-30 років при мінімальних витратах на обслуговування;

- модульність конструкції та можливість нарощування потужності, збільшення вироблення енергії можливе шляхом додавання сонячних панелей;

- мінімальні витрати на обслуговування протягом усього терміну служби;

- висока енергоефективність та швидка окупність вкладених коштів;

- зниження вартості електроенергії у довгостроковій перспективі, особливо при подальшому здорожчанні традиційних енергоносіїв;

- можливість отримання вигідного «зеленого» тарифу при подачі електроенергії в мережу.

Основні недоліки систем енергозабезпечення на основі фотоелектричних панелей наступні:

- висока початкова вартість обладнання, незважаючи на тенденцію до здешевлення, окупність фотоелектричних систем може становити 5-7 років;

- нестабільна генерація електроенергії, залежна від погодних умов, пори доби та року, потребує резервування іншими джерелами енергії або накопичення в акумуляторах;

- невисокий коефіцієнт корисної дії перетворення сонячної енергії (13-20% для кремнієвих фотоелементів, в перспективі – до 40%), великі площі панелей для забезпечення значних потужностей;

- складність інтеграції з існуючими мережами електропостачання через нестабільний та непередбачуваний характер генерації.

Як бачимо, переваги фотоенергетичних технологій полягають переважно у їх екологічності, автономності та гнучкості. Натомість, основні проблеми пов’язані з високою собівартістю і нестабільністю виробництва енергії. Тож подальший розвиток цієї сфери передбачає вдосконалення фотоперетворювачів, зниження їх вартості та ефективну інтеграцію фотоелектричних систем з традиційними енергомережами.

1.4 Роль акумуляторних батарей у забезпеченні стабільної роботи фотоелектростанцій

Акумулювання електроенергії є дуже актуальним питанням для комбінованих систем електрозабезпечення з фотоелектричними системами с складі, оскільки генерація ними енергії має переривчастий характер, залежно від часу доби, погодних умов тощо.

Основні причини важливості накопичення енергії в таких системах:

- забезпечення безперервного електропостачання споживачів, в тому числі в нічний час та за несприятливих погодних умов (хмарність, дощ, сніг);

- збільшення самоспоживання сонячної електроенергії та підвищення економічної ефективності фотоелектричних станцій;

- вирівнювання графіка навантаження та поліпшення стабільності мереж, до яких підключені сонячні станції;

- забезпечення резервного живлення в разі перебоїв в централізованому електропостачанні.

Перспективним напрямком є застосування літій-іонних акумуляторів, які характеризуються високою питомою ємністю, ККД, ресурсом циклів заряд-розряд. Проте потрібне подальше удосконалення технологій та зниження вартості.

В цілому, ефективні рішення для акумулювання дозволять істотно розширити використання комбінованих систем електропостачання з фотоелектричними системами та сонячних станцій для забезпечення стійкого електропостачання.

Акумуляторні батареї (АБ) є ефективним та зручним способом накопичення та зберігання електроенергії. Вони мають такі основні переваги:

- економічна ефективність та можливість масштабування ємності шляхом підключення додаткових АБ;

- екологічна безпечність, відсутність шуму та шкідливих викидів під час експлуатації;

- компактність та можливість розміщення в будь-яких зручних місцях;

- відносна простота та швидкість монтажу;

- швидка реакція на підключення навантаження та зміну режимів роботи;

- можливість глибокого розряду без пошкодження, на відміну від інших видів накопичувачів;

Завдяки цим характеристикам, акумуляторні батареї широко застосовуються як резервні та буферні джерела живлення в системах безперебійного електропостачання, в тому числі сумісно з поновлюваними джерелами енергії.

Поряд з перевагами, акумуляторні батареї мають певні недоліки та обмеження, які необхідно враховувати при проєктуванні систем.

Зокрема, процеси заряду, розряду та температурний режим потребують ретельного моніторингу та контролю для запобігання зниженню ресурсу роботи АБ. Також важливою проблемою є обмежена кількість можливих циклів заряд-розряд, яка залежить від глибини розрядів. За глибоких розрядів циклічний ресурс акумуляторів різко зменшується (див. рис. 1.3).

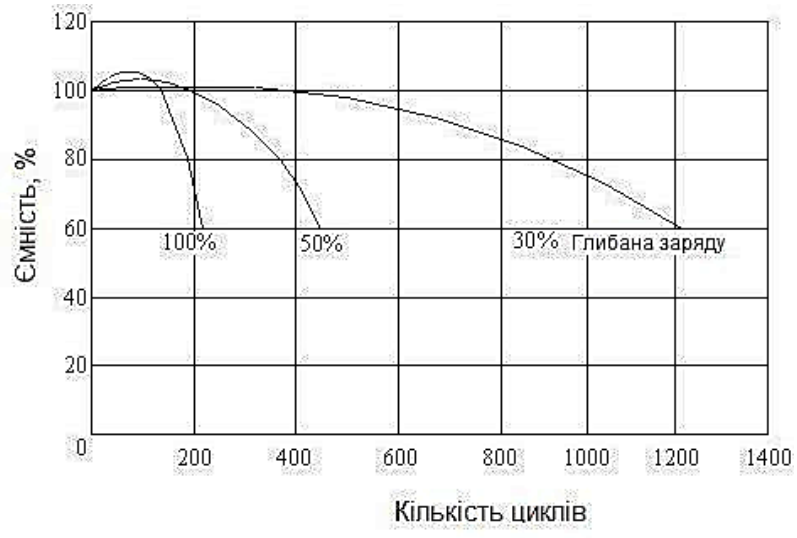


Рисунок 1.3 – Життєвий цикл гелієвого акумулятора Solinved SOL12-100

Додатковими факторами, що знижують термін служби акумуляторних батарей є вплив високих температур, перезаряди та саморозряд в режимі тривалого зберігання.

Отже, для ефективного та тривалого функціонування акумуляторних батарей потрібен належний догляд та системи контролю і захисту, що обмежують негативні фактори впливу на них.

1.5 Висновки до першого розділу

1. Проаналізовано сучасні тенденції розвитку світової енергетики та виявлено тренд у напрямі зростаючого використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової.

2. Детально розглянуто фотоелектричні системи – їх склад, принцип роботи, характеристики основних компонентів (фотоелектричні модулі, акумуляторні батареї).

3. Досліджено вплив умов експлуатації акумуляторних батарей в складі фотоелектричних систем на їхній ресурс. Зокрема, показано, що глибокі розряди батарей призводять до різкого скорочення терміну їх служби.

Отже, проведено комплексний аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку фотоелектричної енергетики як одного з найбільш перспективних напрямків відновлюваної енергетики для застосування в якості джерела живлення в комбінованих системах електропостачання.

РОЗДІЛ 2
АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ

2.1 Побудова графіка потужності об’єкта електропостачання та розрахунок добового електроспоживання

Для правильного проектування комбінованої системи електропостачання від сонячних фотоелектричних панелей необхідно провести аналіз об’єкта електроспоживання та оцінити потенціал сонячного випромінювання в місці розміщення електроустановки.

Розглянемо для прикладу будинок, що знаходиться неподалік міста Новоукраїнка, що є одним із районних центрів Кіровоградської області, на базі відпочинку «Скіфія». Загальний вигляд району розміщення будинку приведений на рис. 2.1, а загальний вигляд будинку – на рис. 2.2. Зображення були отримані за допомогою безкоштовного картографічного веб-сервісу від компанії Google. Середньорічний потенціал надходження енергії сонячного випромінювання складає близько 1 050 000 Вт·год / м^2.

В якості об’єкта електропостачання був обраний приватний житловий будинок, розрахований на проживання чотирьох дорослих осіб. В першу чергу необхідно проаналізувати добове споживання електричної енергії електроприладами. Для цього були зібрані відомості стосовно виду електричних приладів, їх кількості, номінальної потужності та орієнтовної тривалості роботи.

Дані про електроспоживання зведено до табл. 2.1.

За даними приведеними в табл. 2.1 були побудовані графіки електроспоживання окремих споживачів електричної енергії, що приведені на рис. 2.3 - 2.9, та в цілому по житловому будинку, що приведений на рис. 2.10.

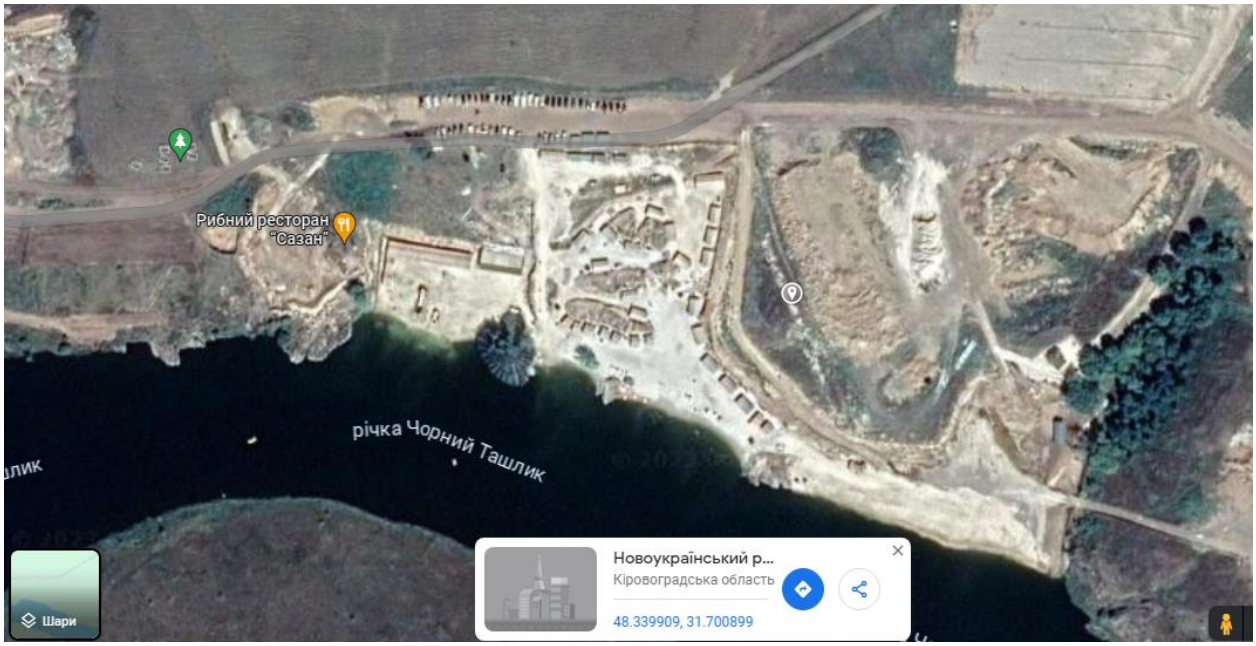


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд розміщення будинку

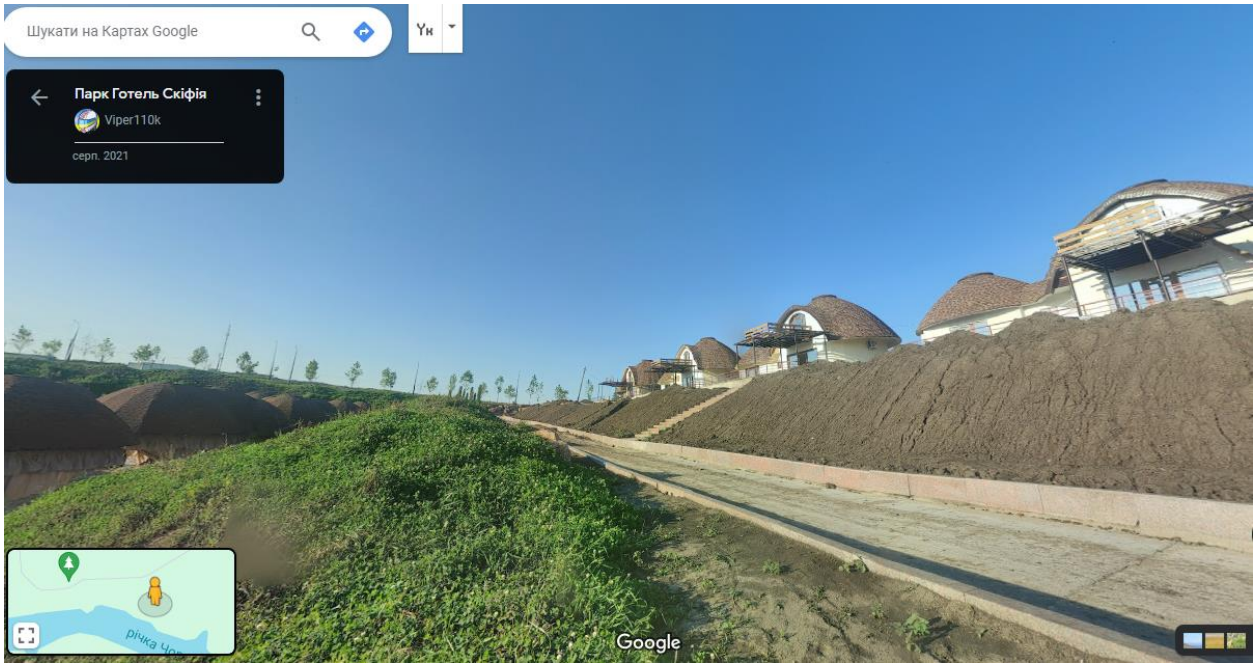


Рисунок 2.2 – загальний вигляд будинку

Таблиця 2.1 – Дані про електроспоживачів житлового будинку

№ з/п	Найменування споживача електроенергії	Кількість споживачів, шт.	Потужність приладу номінальна, Вт	Номери годин роботи приладу протягом доби	Добове електроспоживання, Вт·год
1	лампа освітлювальна	8	20	7, 8, 12, 18, 19, 21, 22, 23	1280
2	телевізор широкоформатний	1	100	7, 8, 9, 10, 12, 19, 20, 21, 22, 23	1000
3	холодильник двокамерний однокомпресорний	1	130	1 – 24	3120
4	комп’ютер настільний	1	300	7, 20, 21	900
5	насос системи водопостачання	1	1000	20	1000
6	плита кухонна, електрична	1	1000	7, 18	2000
7	машина пральна	1	1500	12, 21	3000
8	Всього по електроспоживачам	15		1-24	12300

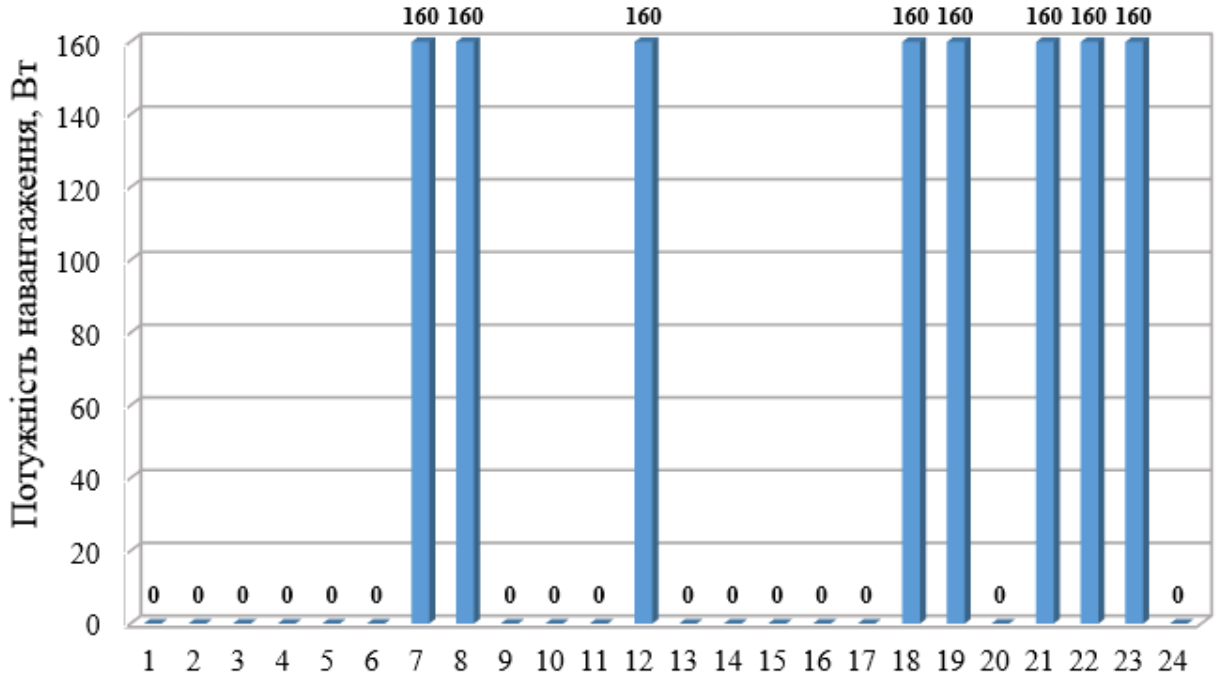


Рисунок 2.3 – Графік споживання активної потужності освітлювальними приладами

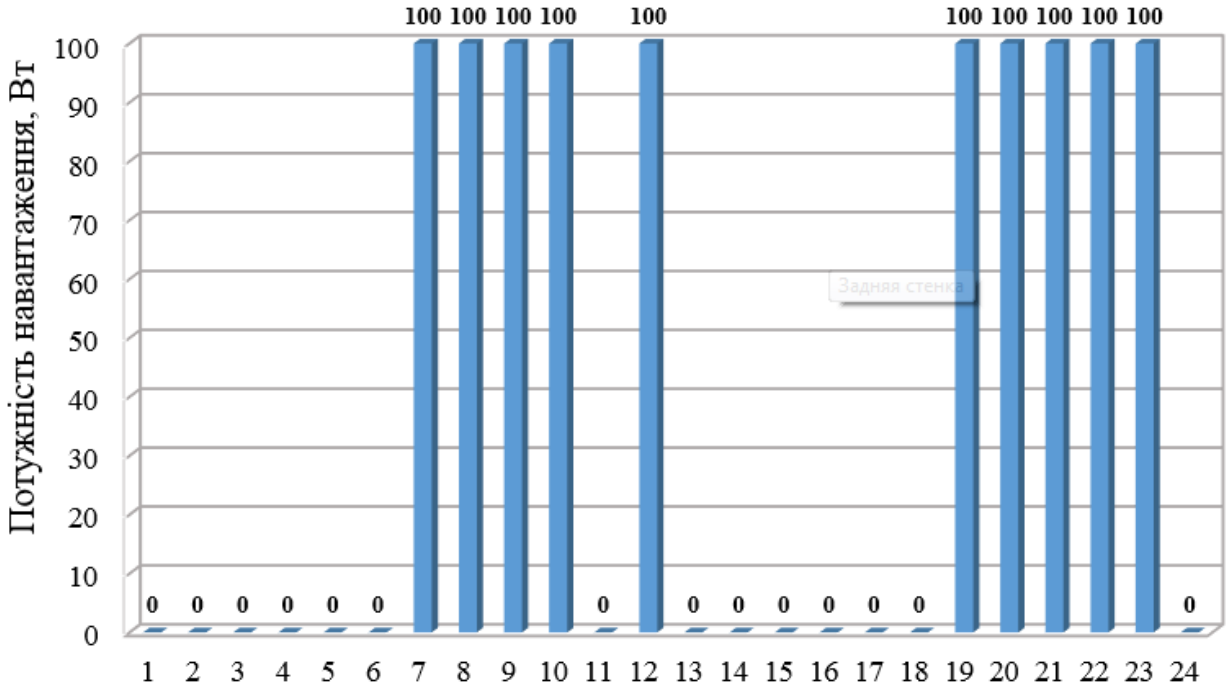


Рисунок 2.4 – Графік споживання активної потужності приймачем телевізійного сигналу

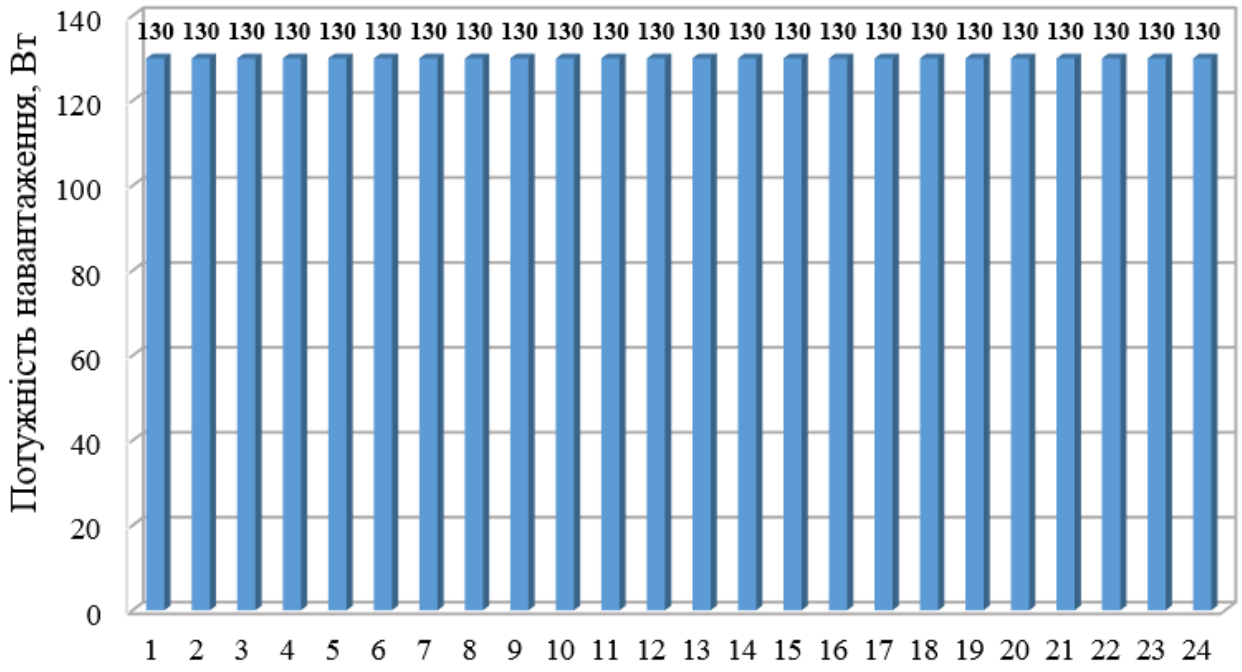


Рисунок 2.5 – Графік споживання активної потужності пристроєм для охолодження продуктів харчування

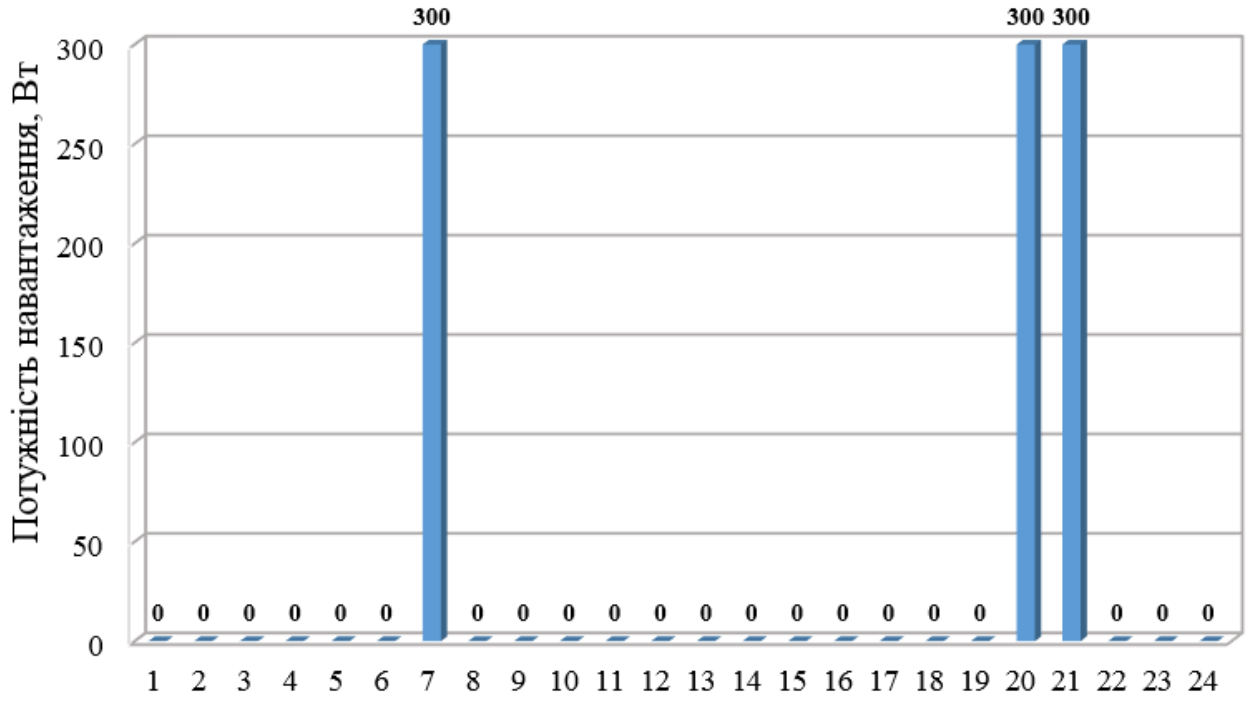


Рисунок 2.6 – Графік споживання активної потужності персональним робочим комп’ютером з периферійними пристроями

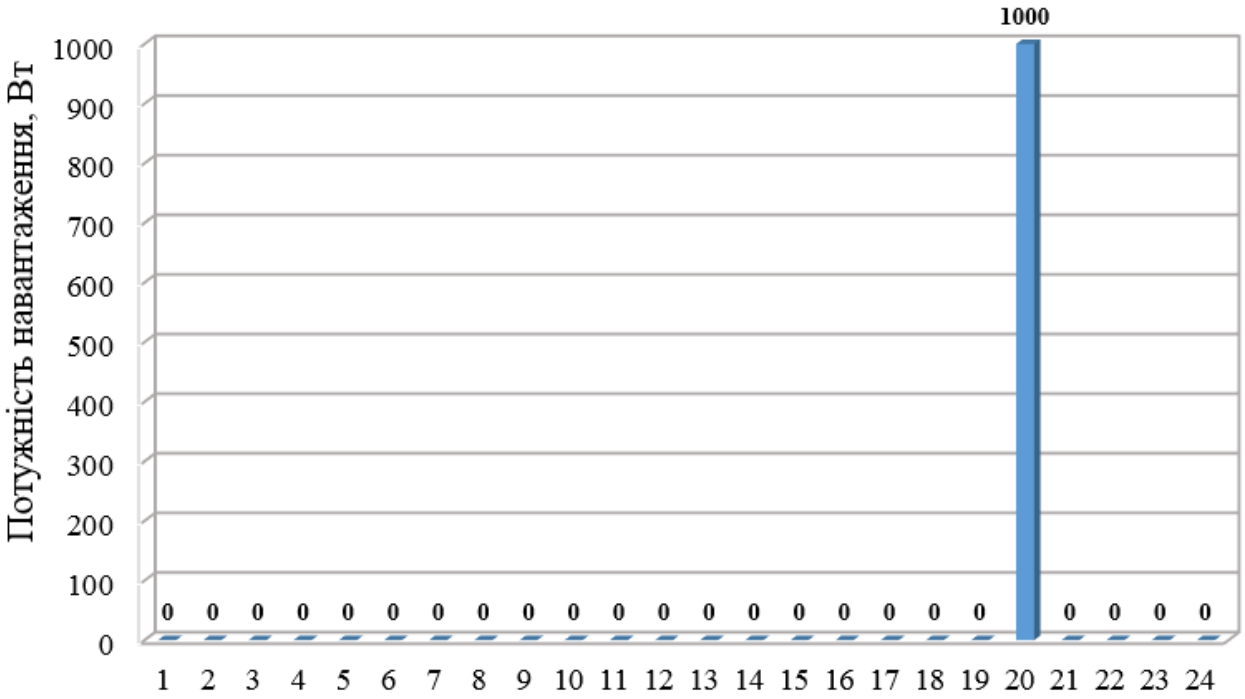


Рисунок 2.7 – Графік споживання активної потужності пристроєм для перекачування води до системи автономного водопостачання

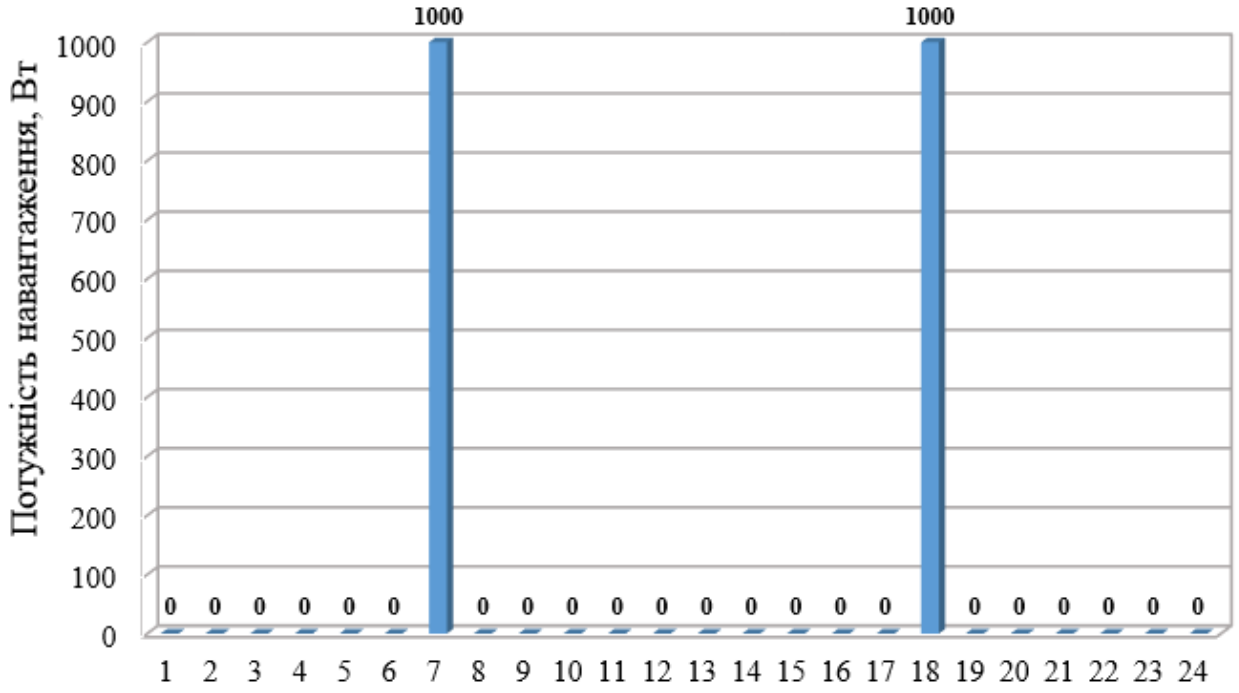


Рисунок 2.8 – Графік споживання активної потужності пристроєм для розігріву та приготування їжі

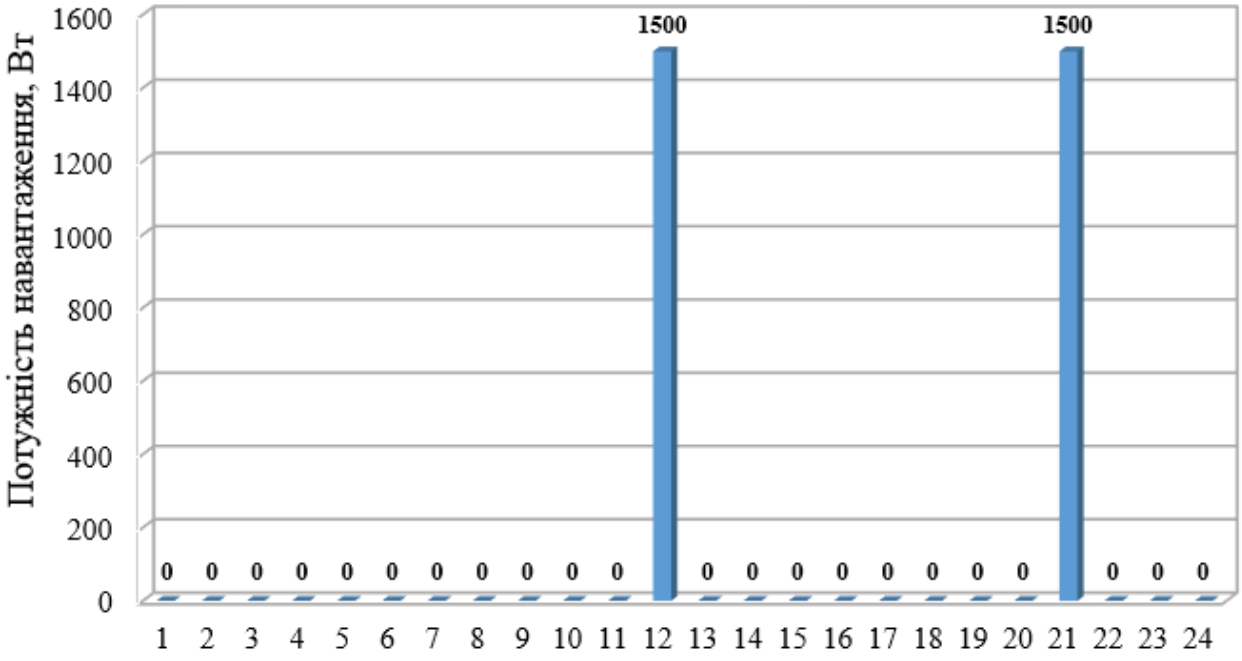


Рисунок 2.9 – Графік споживання активної потужності пристроєм для прання білизни



Рисунок 2.10 – Сумарний графік споживання активної потужності електроспоживачами житлового будинку

Розрахуємо споживання електричної енергії електроприладами будинку за нічний період доби:

$$W_{night.time} = \sum_{j=1}^{6}(P_j \Delta t) + \sum_{j=19}^{24}(P_j \Delta t) = \\ = 130 \cdot 6 + 390 \cdot 3 + 1530 \cdot 1 + 2190 \cdot 1 + 130 \cdot 1 = 5800 \text{ Вт} \cdot \text{год.} \quad (2.1)$$

Розрахуємо споживання електричної енергії електроприладами будинку за денний період доби:

$$W_{sun.time} = \sum_{j=7}^{18}(P_j \Delta t) = 1690 \cdot 1 + 390 \cdot 1 + 230 \cdot 2 + \\ + 130 \cdot 6 + 1890 \cdot 1 + 1290 \cdot 1 = 6500 \text{ Вт} \cdot \text{год.} \quad (2.2)$$

Розрахуємо сумарне споживання електричної енергії електроприладами за добовий проміжок:

$$W_{day} = W_{night.time} + W_{sun.time} = 5800 + 6500 = 12300 \text{ Вт} \cdot \text{год.} \quad (2.3)$$

Обчислимо середнє значення потужності за темний період доби:

$$P_{night.average} = \frac{W_{night.time}}{T_{night\ time}} = \frac{5800}{12} = 480 \text{ Вт.} \quad (2.4)$$

Обчислимо середнє значення потужності за світлий період доби:

$$P_{sun.average} = \frac{W_{sun.time}}{T_{sun.time}} = \frac{6500}{12} = 540 \text{ Вт.} \quad (2.5)$$

Для подальшої розробки структурної схеми електропостачання житлового будинку необхідно виконати оцінку потенціалу надходження енергії сонячного випромінювання в місцевості, де розміщується споживач. З цією метою за географічними координатами бази відпочинку було з відкритих джерел отримано інформацію про значення сумарної (з урахуванням прямої та розсіяної) сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню усереднені по місяцях року за умов наявності хмар. Відповідні дані приведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Усереднені сумарні величини сонячного опромінення

Місяць / енергонадходження	кДж / м^2	Вт·год / м^2
January	63000	17500
February	138000	38300
March	339000	94200
April	447000	124200
May	523000	145300
June	578000	160600
July	615000	170800
August	440000	122200
September	264000	73300
October	121000	33600
November	63000	17500
December	38000	10600

Використовуючи дані про параметри добового електроспоживання та дані помісячного надходження сонячної енергії на горизонтальну поверхню можна виконати проектування фотоелектричної установки у Новоукраїнському районі Кіровоградської області.

Відповідно до вихідного завдання необхідно виконати проєкт комбінованої системи електропостачання на базі сонячної фотоелектростанції з джерелом резервного живлення та акумулюванням електроенергії. В якості резервного джерела попередньо передбачаємо для установки дизельну

мініелектростанцію, яка буде покривати споживання будинку в години пікового навантаження.

2.2 Вибір типу та розрахунок генерації фотоелектричних панелей для комбінованої системи електропостачання

Для того щоб правильно обрати тип сонячних фотоелектричних панелей розглянемо їх існуючі види.

Щоб обрати оптимальні сонячні батареї, розгляньмо всі їх різновиди. Залежно від структури розташування атомів кремнію в кристалічній ґратці, фотоелектричні перетворювачі сонячної енергії поділяються на:

- панелі з монокристалічних кремнієвих осередків, що мають високий ККД до 24 %, проте їх виробництво вимагає складних технологій та дороге;

- сонячні батареї з полікристалічного кремнію, що дешевші за рахунок простішого виробництва, ККД їх складає до 20 %;

- сонячні модулі з аморфного, невпорядкованого кремнію, які значно дешевші у виготовленні, але менш ефективні, а ККД близький до 12 %.

Також виділяють плівкові сонячні елементи, виготовлені шляхом нанесення тонких шарів фотоактивних матеріалів. Їх перевагою є гнучкість та мала вага, але ККД не перевищує 15 %.

Кінцевий вибір буде залежати від поставлених вимог та фінансового бюджету. Монокристалічні оптимальні за ефективністю, полікристалічні – за вартістю, а аморфні та плівкові доцільні для гнучких конструкцій.

Зважаючи на більшу ефективність перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію в монокристалічних фотоелектричних панелях зупинимо свій вибір саме на них.

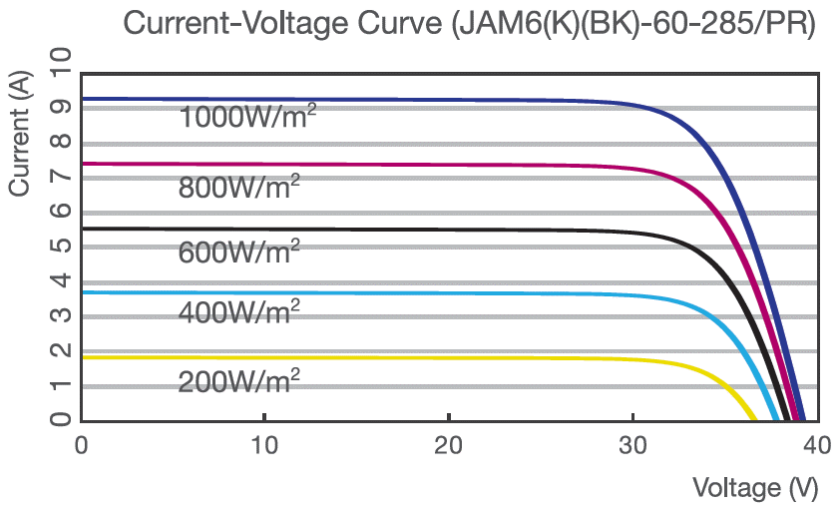
Таким чином до встановлення планується обрати фотоелектричні панелі виробництва компанії JASolar типу JAM6(K)(BK)-60-285/PR, загальний вигляд яких приведений на рис. 2.11., технічні дані приведені в табл. 2.3, робочі характеристики приведені на рис. 2.12.



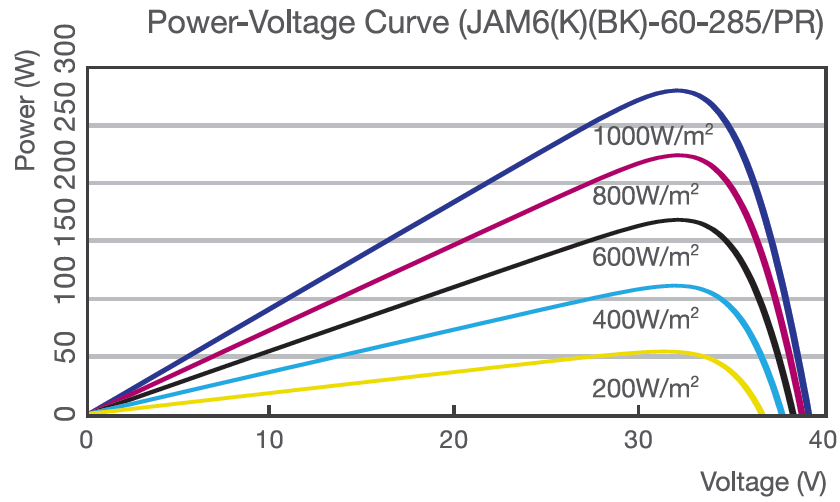
Рисунок 2.11 – Загальний вигляд фотопанелі типу JAM6(K)(BK)-60-285/PR

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики фотоелектричних панелей типу JAM6(K)(BK)-60-285/PR

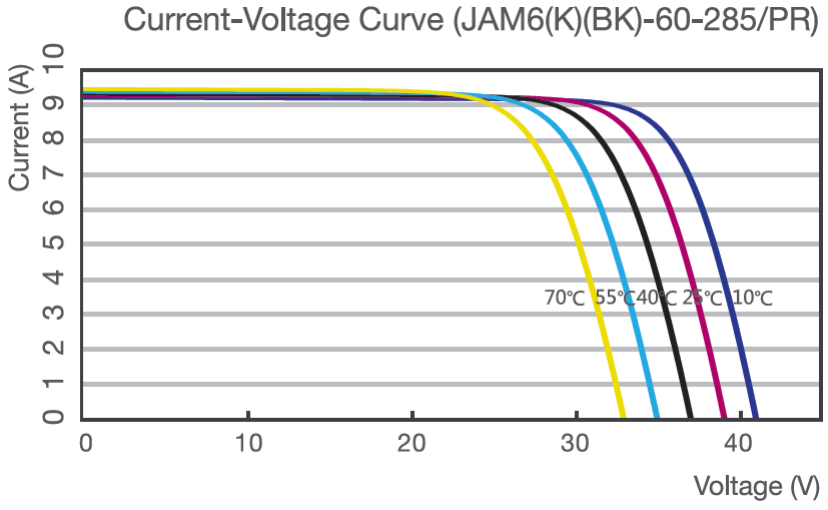
Характеристика	Показник
Потужність максимальна, Вт	285
Напруга холостого ходу, В	39,25
Напруга в точці максимальної потужності, В	31,7
Струм короткого замикання, А	9,46
Струм в точці максимальної потужності, А	8,99
Коефіцієнт корисної дії	17,43
Температурний коефіцієнт струму короткого замикання, %/°С	+0,060
Температурний коефіцієнт напруги холостого ходу, %/°С	-0,300
Температурний коефіцієнт максимуму потужності, %/°С	-0,390
Інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м^2	1000
Температура оточуючого повітря, °С	25
Показник повітряної маси, в.о.	1,5



а)



б)



в)

а – вольт-амперна, б – вольт-ватна, в – вольт-амперна при зміні температури

Рисунок 2.12 – Робочі характеристики фотопанелі JAM6(K)(BK)-60-285/PR

Використавши дані про результуючу сонячну радіацію та номінальну потужність обраної фотопанелі типу JAM6(K)(BK)-60-285/PR виконаємо розрахунок кількості електроенергії, що буде генеруватися обраним фотомодулем у місцевості запланованій до його встановлення, за виразом:

$$W_{PV} = k_T \cdot \eta_{PV} \cdot S_{PV} \cdot E_{sol}, \tag{2.6}$$

де k_T – поправка на зниження потужності фотоелектричних панелей внаслідок нагрівання під час роботи та не перпендикулярного падіння сонячних променів на поверхню фотоелектричної батареї;

η_{PV} – коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі;

S_{PV} – площа фотоелектричної панелі, м^2;

E_{sol} – сонячна інсоляція за розрахунковий період, Вт·год / м^2.

Значення k_T складає 0,7 в холодний період та 0,5 в теплий період року, що викликано зміною температури поверхні фотоелектричної батареї від меншої взимку до більшої влітку.

Для задоволення потреб споживача у електричній енергії протягом місяця W_{month} таким чином потрібно встановити не менше як наступну кількість фотоелектричних модулів, що визначається за виразом:

$$n_{PV} = \frac{W_{month}}{W_{PV}}. \tag{2.7}$$

Результати обчислень необхідної кількості фотоелектричних модулів для кожного місяця з урахуванням величини коливання W_{month} середнього місячного споживання протягом річного періоду приведено в табл. 2.4.

Очевидно, що для встановлення реальної установки необхідно округлювати число фотоелектричних панелей із табл. 2.4 до найближчого більшого цілого числа.

Таблиця 2.4 – Результати визначення кількості фотоелектричних модулів для задоволення місячної потреби у електричній енергії

Місяць	E, кВт·год/м^2	W_{PV}, Вт·год	W_{month}, Вт·год	n_{PV}, шт
January	17500,00	5941,25	412300,00	69,4
February	38300,00	13002,85	377000,00	29
March	94200,00	31980,90	368900,00	11,5
April	124200,00	42165,90	330000,00	7,8
May	145300,00	35235,25	319300,00	9,1
June	160600,00	38945,50	279000,00	7,2
July	170800,00	41419,00	257300,00	6,2
August	122200,00	29633,50	249000,00	8,4
September	73300,00	17775,25	387500,00	21,8
October	33600,00	8148,00	396800,00	48,7
November	17500,00	5941,25	399000,00	67,2
December	10600,00	3598,70	443300,00	123,2

Провівши аналіз даних із табл. 2.4 видно, що найгірша ситуація із електропостачанням спостерігається взимку у грудні місяці, а для задоволення потреби у електропостачанні необхідно найбільша кількість фотоелектричних панелей в цей період – 124 шт. Влітку ж навпаки, потреба найменша у липні та складає всього 7 панелей. Зважаючи на значні коливання приймемо до подальшої розробки встановити кількість фотоелектричних панелей числом 12 шт. Цього вистачить для покриття потреб у електропостачанні протягом періоду з березня по серпень. Для покриття дефіциту електрики передбачимо до установки електрогенератор з двигуном внутрішнього згорання, що працює на дизельному паливі.

Використовуючи онлайн калькулятор сонячного випромінювання для заданого розташування об’єкта електропостачання було визначено величину місячних об’ємів генерації фотоелектричними панелями при їх максимальній кількості 123 шт та для прийнятої кількості 12 шт. Встановлення

фотоелектричних панелей передбачується з дотриманням азимутального кута рівного 180° (у напрямку на південь) та під кутом 40° до горизонту.

Підсумкові результати розрахунку продуктивності фотоелектричних панелей разом із споживанням електричної енергії приведені на рис. 2.13.

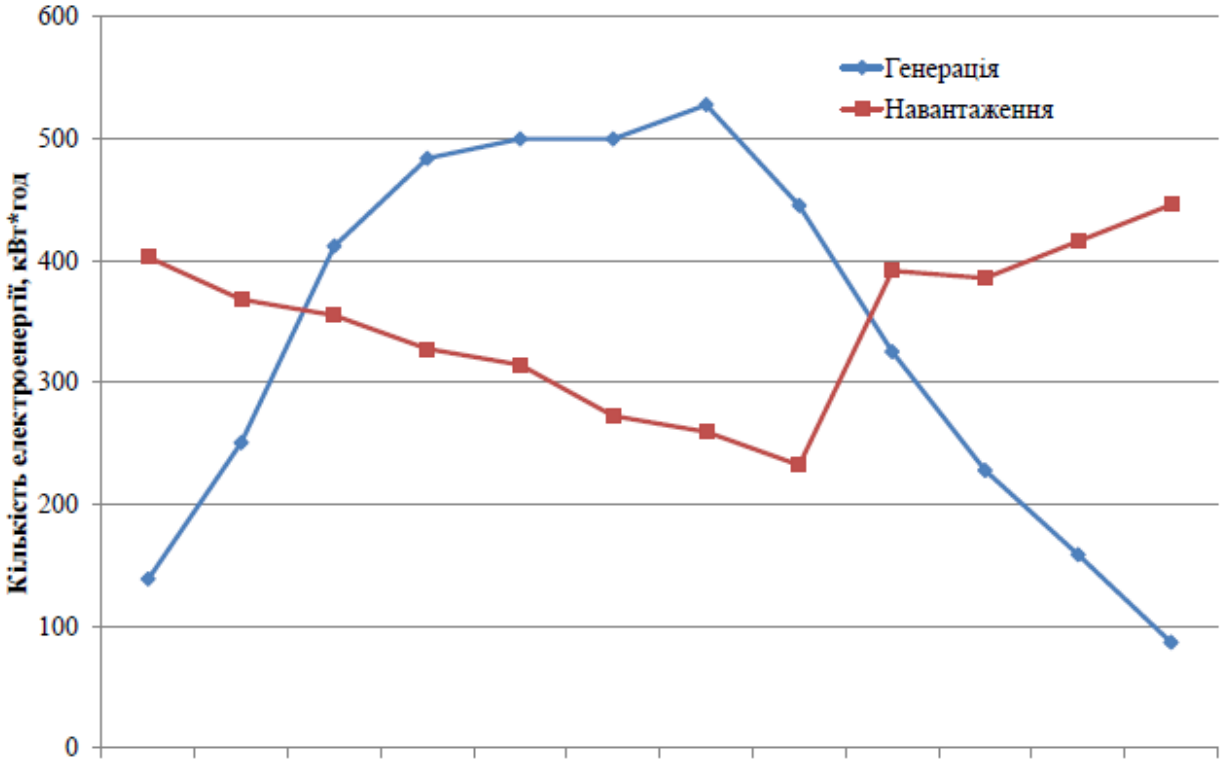


Рисунок 2.13– Дані помісячного споживання та генерації електричної енергії фотоелектричними панелями в кількості 12 шт.

Також в табл. 2.5 наведено генерацію електроенергії фотоелектричними панелями усереднену за місяць.

Таблиця 2.5 – Генерація електричної енергії фотобатареями

Назва місяця	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
Генерація, Вт·год / міс	4470	8700	13340	16100	16140	16640
Назва місяця	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Генерація, Вт·год / міс	17050	14860	10580	7560	5170	2820

2.3 Розрахунок параметрів та вибір типу допоміжного обладнання для підключення фотоелектричних панелей

Контролер заряду є вкрай важливим компонентом сонячної електростанції, адже без належного керування процесами зарядки та розрядки система працювати коректно не зможе. Зокрема, саме контролер забезпечує оптимальний заряд акумуляторних батарей від сонячних панелей та запобігає їх перезарядці чи недозарядці. Отже, обираючи зарядний контролер для власної сонячної станції, вкрай важливо переконатись в його сумісності з обраними фотоелектричними модулями за параметрами напруги, струму та потужності.

Існують MPPT та PWM контролери заряду з суттєвими технічними відмінностями.

Контролери максимальної потужності (MPPT) – це високотехнологічні пристрої, що істотно підвищують ефективність сонячних систем завдяки спеціальним алгоритмам відстеження точки максимальної вихідної потужності фотоелектричних модулів. MPPT-контролери дозволяють збільшити обсяг акумульованої від сонячних панелей енергії на 25-30% порівняно зі звичайними контролерами.

Незважаючи на високу початкову ціну, такі контролери значно прискорюють окупність усього обладнання сонячної станції завдяки приросту виробленої електроенергії. Отже, вибір на користь якісного MPPT-контролера – це довгострокове вигідне вкладення в енергоефективність системи.

Контролери з широтно-імпульсною модуляцією (PWM) – це бюджетний варіант пристроїв керування зарядом, що базуються на простих алгоритмах роботи. Їх основним недоліком є менша ефективність перетворення енергії порівняно з MPPT-контролерами.

Тому застосування PWM-контролерів доцільне переважно в регіонах з дуже високою інсоляцією, де навіть без складних алгоритмів вдається зібрати значну кількість сонячної енергії. Натомість в умовах помірної чи низької

сонячної активності PWM-контролери можуть бути малоефективним рішенням через втрачену можливість максимізації збору енергії.

Зважаючи на те, що в центральноукраїнському регіоні, де розміщено об’єкт розрахунку, спостерігається низька сонячна активність. Тому для підвищення ефективності використання фотоелектричних батарей передбачається застосування контролера з функцією MPPT-трекінгу.

Попередньо обрані до установки 12 фотоелектричних панелей планується встановити трьома паралельними вітками по чотири панелі у вітці.

Визначимо струм заряду:

$$I_{зр} = \frac{P_{PVном}}{U_{PVном}} = \frac{280}{24} = 11,667\,A, \tag{2.8}$$

де $P_{PVном}$ – номінальна потужність фотоелектричної батареї;

$U_{PVном}$ – номінальна напруга фотоелектричної батареї.

Враховуючи те, що панелі будуть об’єднуватися у три паралельні вітки, то сумарний струм заряду буде рівний:

$$I_{\Sigma зр} = 3I_{зр} = 3 \cdot 11,667 = 35\,A. \tag{2.9}$$

Приймемо до установки контролер заряду SRNE MC2420N10 20A з функцією MPPT-трекінгу. Номінальний струм контролера складає 20 А, а максимальна вхідна напруга 100 В. Обраних дванадцять фотоелектричних панелей будуть підключатися трьома вітками кожна до свого контролера заряду по чотири фотопанелі у вітці. Таким чином для кожної вітки із чотирьох панелей струм буде рівний 11,667 А, а напруга – 96 В, що не перевищує відповідних номінальних параметрів контролера.

Вибір інвертора проводимо із врахуванням номінальної напруги обраних фотоелектричних панелей, напруги батареї акумуляторів та можливості погодження режимів роботи в режимі пікових навантажень.

До встановлення буде обрано інвертор типу Outback Power VFX3048E, що формує вихідну напругу у вигляді чистого синусоїдального сигналу. Зовнішній вигляд інвертора приведено на рис. 2.14, а технічні характеристики приведено у Додатку А.



Рисунок 2.14 – Зовнішній вигляд інвертора Outback Power VFX3048E

2.4 Висновки до другого розділу

1. Було проведено аналіз енергоспоживання об’єкту, розташованого поза межами централізованого електропостачання. Вивчено добові графіки навантажень та витрат електроенергії.

2. Здійснено оцінку сонячного потенціалу даної місцевості з розрахунком сумарної (прямої та розсіяної) інсоляції на горизонтальну поверхню з урахуванням місцевої хмарності.

3. Базуючись на даних щодо надходження сонячної енергії та попередньо проаналізованих потребах у електроживленні, спроектовано оптимальну сонячну фотоелектричну систему, визначено необхідну кількість фотомодулів, схеми їх з’єднання та розміщення, підібрано відповідний контролер заряду і інвертор напруги для забезпечення ефективної роботи системи.

РОЗДІЛ 3
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Обчислення сонячної інсоляції та енергетичного балансу комбінованої системи електропостачання за місяцями

Виконаємо помісячний аналіз інтенсивності сонячного випромінювання. Результати аналізу дозволять встановити ефективність використання фотоелектричних панелей, виявити надлишок або нестачу електричної енергії шляхом складання балансу електричної потужності. З цією метою скористаємося довідниковими даними про погодинні суми прямого сонячного опромінення на горизонтальну поверхню при середньому рівні хмарності. Зазначені дані для географічних координат об’єкта електропостачання на прикладі місяця липня приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Пряме сонячне опромінення на одиницю площі горизонтальної поверхні при середньому рівні хмарності для місяця липень

t, год	*E*, кДж/м^2	*t*, год	*E*, кДж/м^2	*t*, год	*E*, кДж/м^2
1 AM	0,0	9 AM	1020,0	5 PM	470,0
2 AM	0,0	10 AM	1150,0	6 PM	250,0
3 AM	40,0	11 AM	1230,0	7 PM	80,0
4 AM	130,0	12 AM	1230,0	8 PM	40,0
5 AM	250,0	1 PM	1190,0	9 PM	0,0
6 AM	470,0	2 PM	1070,0	10 PM	0,0
7 AM	640,0	3 PM	850,0	11 PM	0,0
8 AM	850,0	4 PM	640,0	12 PM	0,0

Однак для подальших розрахунків необхідно питомі показники сонячної інсоляції (на 1 м^2) перевести в сумарну величину, яка буде відноситися до усієї площі встановлених фотоелектричних панелей. Для цього необхідно питому величину із табл. 3.1 помножити на площу однієї фотоелектричної панелі та на їх кількість. Площа обраної марки фотопанелі JAM6(K)(BK)-60-285/PR складає 1,96 м^2, а встановлена їх кількість рівна 12. Таким чином сумарна площа фотоелектричних панелей складає $1{,}96 \cdot 12 = 23{,}52$ м^2.

Однак варто зауважити, що не вся енергія сонячного випромінювання перетворюється на електричну енергію, а лише 17,43 %, що відповідає коефіцієнту корисної дії фотопанелей. Тобто величину сумарної площі слід помножити на величину 0,1743. Результати перерахунку даних табл. 3.1 приведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Пряме сонячне опромінення на горизонтальну поверхню фотоелектричних панелей при середньому рівні хмарності для місяця липень

t, год	E_{PV}, кДж	*t*, год	E_{PV}, кДж	*t*, год	E_{PV}, кДж
1 AM	0,0	9 AM	4750,0	5 PM	2190,0
2 AM	0,0	10 AM	5350,0	6 PM	1160,0
3 AM	190,0	11 AM	5730,0	7 PM	370,0
4 AM	610,0	12 AM	5730,0	8 PM	190,0
5 AM	1160,0	1 PM	5540,0	9 PM	0,0
6 AM	2190,0	2 PM	4980,0	10 PM	0,0
7 AM	2980,0	3 PM	3950,0	11 PM	0,0
8 AM	3960,0	4 PM	2980,0	12 PM	0,0

Енергетичні розрахунки в галузі електротехніки зручно проводити в кіловат·годинах. Тому виконаємо переведення даних табл. 3.2 з кілоджоулів в кіловат години використовуючи співвідношення 1 кДж = 0,2778 Вт·год. Результати розрахунку приведені в табл. 3.3. За даними табл. 3.3 та даними виконаних у другому розділі розрахунків був побудований усереднений

добовий графік генерації фотоелектричними панелями та графік електроспоживання житлової будівлі, що приведені на рис. 3.1.

Таблиця 3.3 – Результати перерахунку сонячного опромінення на горизонтальну поверхню фотоелектричних панелей в електроенергію при середньому рівні хмарності для місяця липень

t, год	W_{PV}, Вт·год	*t*, год	W_{PV}, Вт·год	*t*, год	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0,0	9 AM	4750,0	5 PM	2190,0
2 AM	0,0	10 AM	5350,0	6 PM	1160,0
3 AM	190,0	11 AM	5730,0	7 PM	370,0
4 AM	610,0	12 AM	5730,0	8 PM	190,0
5 AM	1160,0	1 PM	5540,0	9 PM	0,0
6 AM	2190,0	2 PM	4980,0	10 PM	0,0
7 AM	2980,0	3 PM	3950,0	11 PM	0,0
8 AM	3960,0	4 PM	2980,0	12 PM	0,0

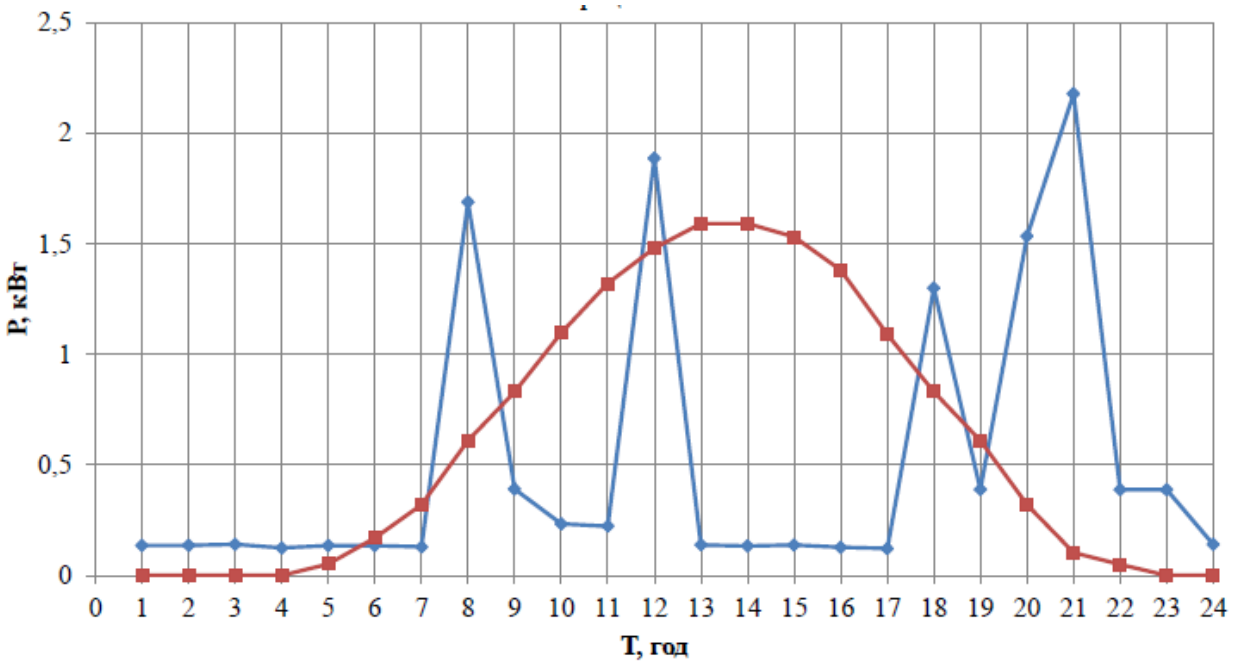


Рисунок 3.1 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця липень

Визначимо за даними, приведеними на рис. 3.1 і табл. 3.3 добові значення енергоспоживання житлового будинку W_{day}, генерації електроенергії фотоелектричними панелями W_{PVday} та баланс електроенергії W_{bal}:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 12300 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{PVday} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 14960 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{PVday} - W_{day} = 14960 - 12300 = 2660 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Шляхом аналізу графіків споживання та генерації електричної енергії виконаємо розрахунок енергетичного балансу для кожної години протягом доби. Для цього необхідно знайти різницю електричних потужностей навантаження і генерації фотопанелей.

Так, наприклад, для першої години доби середня потужність генерації фотоелектричних панелей складає 0 Вт (нічний час), а потужність споживачів навантаження рівна 130 Вт. Визначимо значення балансу електричної потужності:

$$P_{bal1} = P_{PV1} - P_{load1} = 0 - 130 Вт.$$

Аналогічні розрахунки проводимо і для інших годин доби, а результати зводимо в табл. 3.4

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку погодинних значень балансу електричної потужності

t	P_{PV}, Вт	P_{load}, Вт	P_{bal}, Вт	t	P_{PV}, Вт	P_{load}, Вт	P_{bal}, Вт
1 AM	0,0	130,0	-130,0	1 PM	1530,0	130,0	1400,0
2 AM	0,0	130,0	-130,0	2 PM	1380,0	130,0	1250,0
3 AM	52,0	130,0	-78,0	3 PM	1090,0	130,0	960,0
4 AM	170,0	130,0	40,0	4 PM	830,0	130,0	700,0
5 AM	320,0	130,0	190,0	5 PM	610,0	130,0	480,0
6 AM	610,0	130,0	480,0	6 PM	320,0	1290,0	-970,0
7 AM	830,0	1690,0	-860,0	7 PM	103,0	390,0	-287,0
8 AM	1096,0	390,0	706,0	8 PM	50,0	1530,0	-1480,0
9 AM	1320,0	230,0	1090,0	9 PM	0,0	2190,0	-2190,0
10 AM	1480,0	230,0	1250,0	10 PM	0,0	390,0	-390,0
11 AM	1590,0	130,0	1460,0	11 PM	0,0	390,0	-390,0
12 AM	1590,0	1890,0	-300,0	12 PM	0,0	130,0	-130,0

За результатами розрахунку, приведеними в табл. 3.4 побудована часова діграма балансу електричної потужності, що приведена на рис. 3.2.

Аналізуючи графік рис. 3.2 можна помітити, що сонячні фотоелектричні панелі не здатні в повній мірі забезпечити електричною енергією споживачів житлової будівлі в години пікового навантаження. Компенсувати нестачу енергії доведеться за рахунок встановлення батареї акумуляторів.

Виконаємо визначення величини ємності розряду (знак «мінус») або заряду (знак «плюс») батареї акумуляторів за виразом:

$$C_i = \frac{P_{bal.i}}{U} \cdot t_i, \tag{3.1}$$

де U – величина напруги батареї акумуляторів;

$P_{bal.i}$ – значення балансу електричної потужності;

i – розрахункова година.

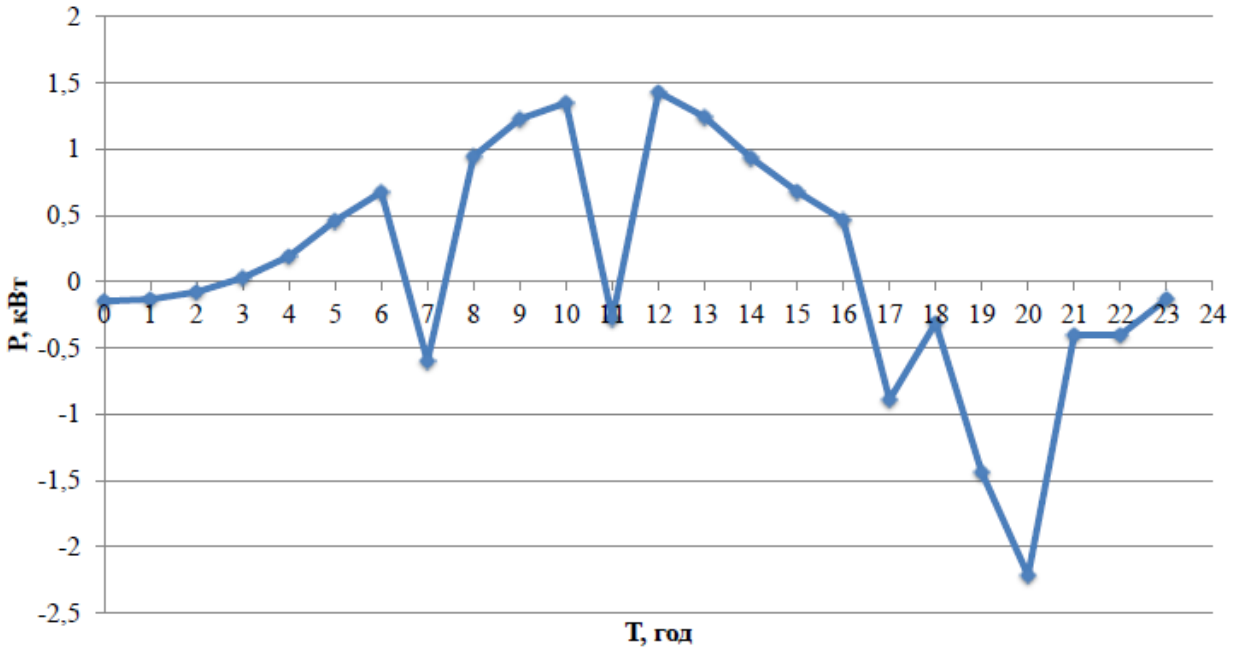


Рисунок 3.2 – Часова діаграма балансу електричної потужності

В якості прикладу визначимо для першої години доби (1 АМ) величину ємності розряду батарей акумуляторів:

$$C_1 = \frac{P_{bal.1}}{U} \cdot t_1 = \frac{-130}{24} \cdot 1 = -5,4 A \cdot год.$$

Аналогічно були виконані розрахунки і для інших годин доби, а результати зведені до табл. 3.5.

Просумуємо ємність розряду (від'ємні значення в табл. 3.5) в період часу з 1 АМ – 3 АМ та 6 РМ – 12 РМ (нічний час доби, тривалість 10 годин), отримаємо значення $C_{розр}$ = 257,292 А·год.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку струмів заряду/розряду батареї акумуляторів

t	P_{bal}, Вт	C_i, А·год	t	P_{bal}, Вт	C_i, А·год
1 AM	-130,0	-5,417	1 PM	1400,0	58,333
2 AM	-130,0	-5,417	2 PM	1250,0	52,083
3 AM	-78,0	-3,250	3 PM	960,0	40,000
4 AM	40,0	1,667	4 PM	700,0	29,167
5 AM	190,0	7,917	5 PM	480,0	20,000
6 AM	480,0	20,000	6 PM	-970,0	-40,417
7 AM	-860,0	-35,833	7 PM	-287,0	-11,958
8 AM	706,0	29,417	8 PM	-1480,0	-61,667
9 AM	1090,0	45,417	9 PM	-2190,0	-91,250
10 AM	1250,0	52,083	10 PM	-390,0	-16,250
11 AM	1460,0	60,833	11 PM	-390,0	-16,250
12 AM	-300,0	-12,500	12 PM	-130,0	-5,417

Оберемо до установки шість акумуляторів з номінальною ємність по 100 А·год кожний. Вони будуть сполучатися у три паралельні вітки по два акумулятори з’єднані послідовно для отримання номінальної напруги 24 В узгодженої з напругою фотоелектричних панелей. Таким чином отримаємо в сумі ємність 300 А·год.

Визначене число ємності розряду потрібно розділити на три (за числом паралельних віток), тоді отримаємо 85,764 А·год розряду сумарної ємності на кожну із трьох віток акумуляторів протягом 12 годин.

Просумуємо ємності заряду та розряду в період часу з 4 AM – 5 PM за виключенням розряду за пікових годин навантаження (8 AM, 12 AM), отримаємо значення $C_{зар}$ = 351,667 А·год. Такої ємності заряду достатньо, щоб зарядити акумуляторні батареї до 100 %, адже на кожну групу акумуляторів буде приходитися 117,222 А·год.

Аналогічно виконаємо аналіз для всіх місяців року врахувавши помісячну зміну навантаження. Це дасть уявлення про реальні сезонні навантаження, роботу фотоелектричних панелей для електроживлення будівлі по місяцях, потребу в додатковій генерації електроенергії дизельною електростанцією та відповідну потребу палива для неї.

Січень. В табл. 3.6 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця січень, а на рис. 3.3 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.6 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця січень

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	90	420	200
2 AM	0	0	0	2 PM	0	0	0
3 AM	0	0	0	3 PM	0	0	0
4 AM	0	0	0	4 PM	0	0	0
5 AM	0	0	0	5 PM	0	0	0
6 AM	0	0	0	6 PM	0	0	0
7 AM	0	0	0	7 PM	0	0	0
8 AM	0	0	0	8 PM	0	0	0
9 AM	0	0	0	9 PM	0	0	0
10 AM	90	420	120	10 PM	0	0	0
11 AM	130	610	170	11 PM	0	0	0
12 AM	130	610	170	12 PM	0	0	0

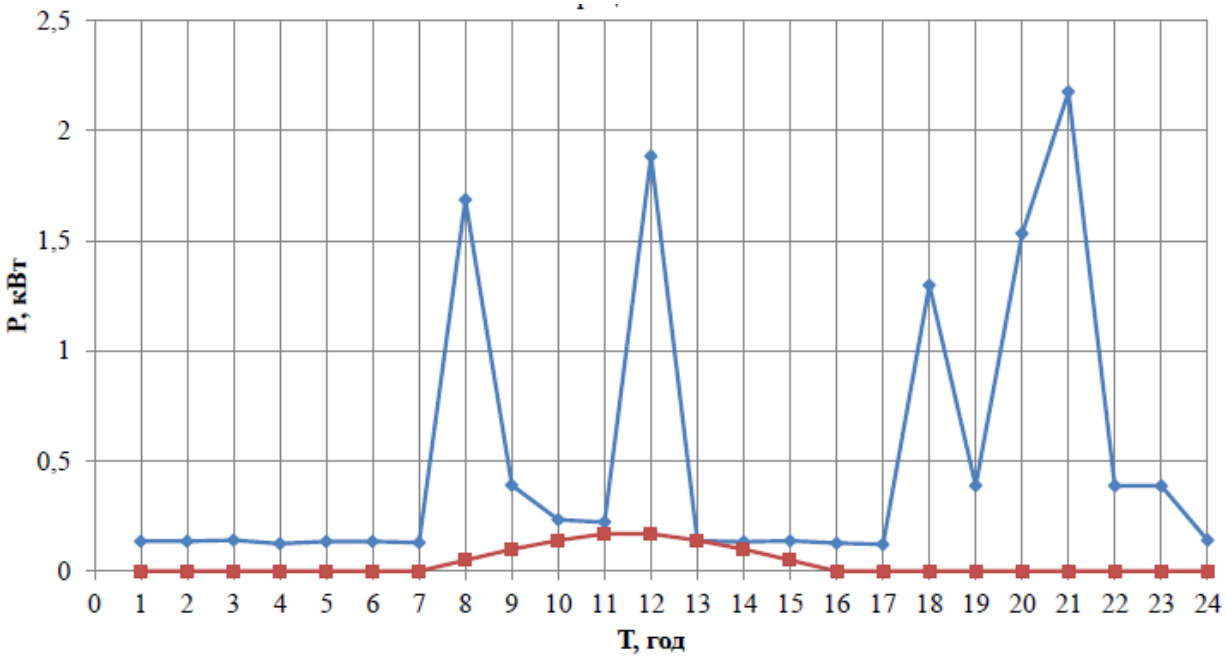


Рисунок 3.3 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця січень

Розрахуємо енергетичний баланс за день у січневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 13850 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{PV\,day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 570 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{PV\,day} - W_{day} = 570 - 13850 = -13280 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Лютий. В табл. 3.7 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця лютий, а на рис. 3.4 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.7 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця лютий

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	300	1390	390
2 AM	0	0	0	2 PM	170	790	220
3 AM	0	0	0	3 PM	80	370	100
4 AM	0	0	0	4 PM	0	0	0
5 AM	0	0	0	5 PM	0	0	0
6 AM	0	0	0	6 PM	0	0	0
7 AM	0	0	0	7 PM	0	0	0
8 AM	40	190	50	8 PM	0	0	0
9 AM	170	790	220	9 PM	0	0	0
10 AM	340	1580	440	10 PM	0	0	0
11 AM	380	1770	490	11 PM	0	0	0
12 AM	420	1960	540	12 PM	0	0	0

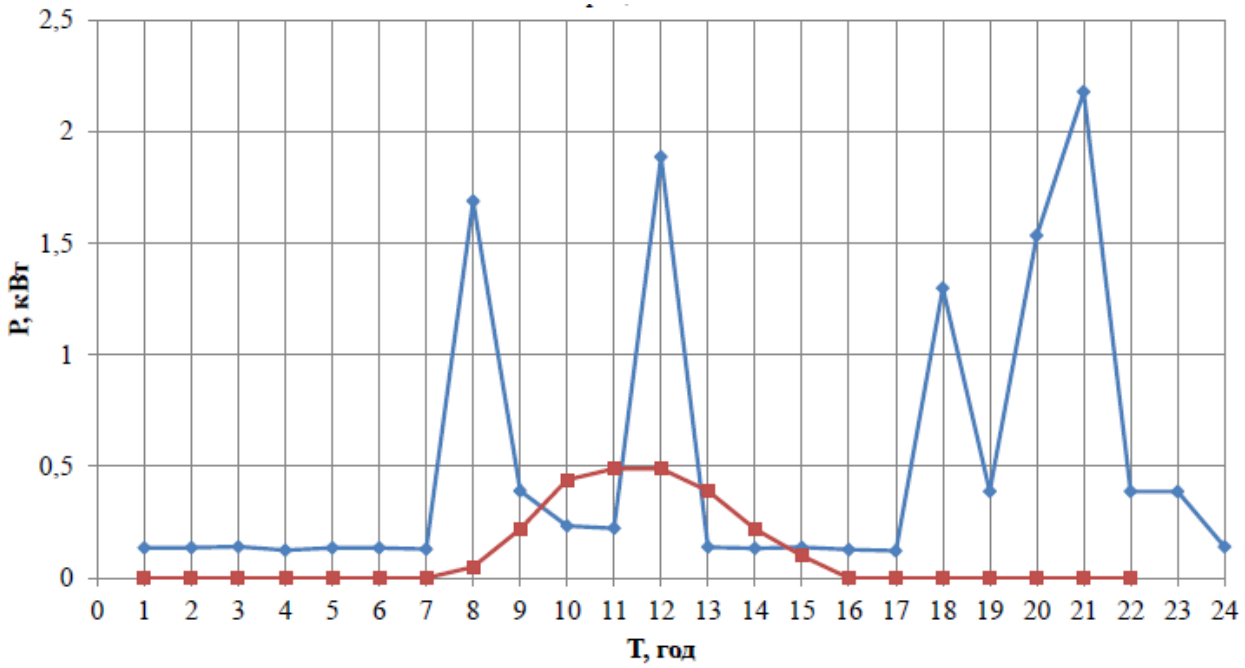


Рисунок 3.4 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця лютий

Розрахуємо енергетичний баланс за день у лютневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 13850 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{PV\,day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 710 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{PV\,day} - W_{day} = 570 - 13850 = -13140 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Березень. В табл. 3.8 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця березень, а на рис. 3.5 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.8 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця березень

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	640	2980	830
2 AM	0	0	0	2 PM	420	1960	540
3 AM	0	0	0	3 PM	250	1160	320
4 AM	0	0	0	4 PM	80	370	100
5 AM	0	0	0	5 PM	0	0	0
6 AM	0	0	0	6 PM	0	0	0
7 AM	120	560	150	7 PM	0	0	0
8 AM	300	1400	390	8 PM	0	0	0
9 AM	510	2370	660	9 PM	0	0	0
10 AM	680	3170	880	10 PM	0	0	0
11 AM	720	3350	930	11 PM	0	0	0
12 AM	680	3170	880	12 PM	0	0	0

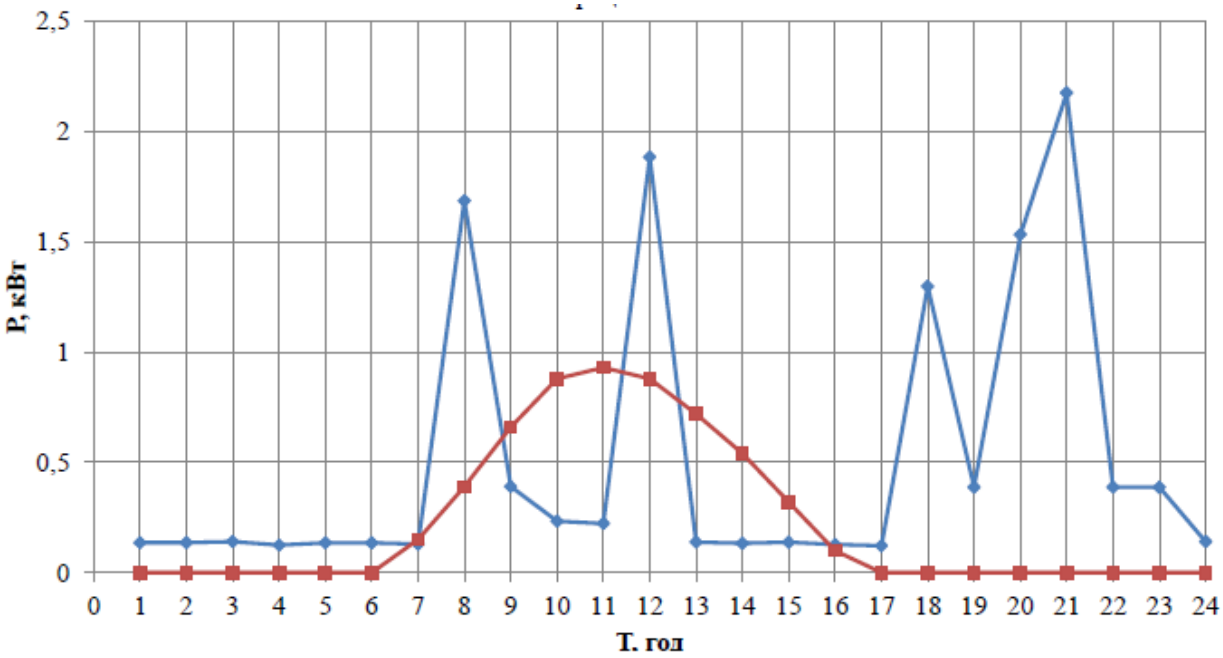


Рисунок 3.5 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця березень

Розрахуємо енергетичний баланс за день у березневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 13850 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\text{PV}day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 5670 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{\text{PV}day} - W_{day} = 5670 - 13500 = -7830 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Квітень. В табл. 3.9 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця квітень, а на рис. 3.6 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.9 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця квітень

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	940	4380	1210
2 AM	0	0	0	2 PM	760	3540	980
3 AM	0	0	0	3 PM	550	2560	710
4 AM	0	0	0	4 PM	340	1580	440
5 AM	40	190	50	5 PM	170	790	220
6 AM	210	980	270	6 PM	0	0	0
7 AM	420	1960	540	7 PM	0	0	0
8 AM	680	3170	880	8 PM	0	0	0
9 AM	810	3770	1040	9 PM	0	0	0
10 AM	930	4330	1190	10 PM	0	0	0
11 AM	980	4560	1260	11 PM	0	0	0
12 AM	970	4520	1250	12 PM	0	0	0

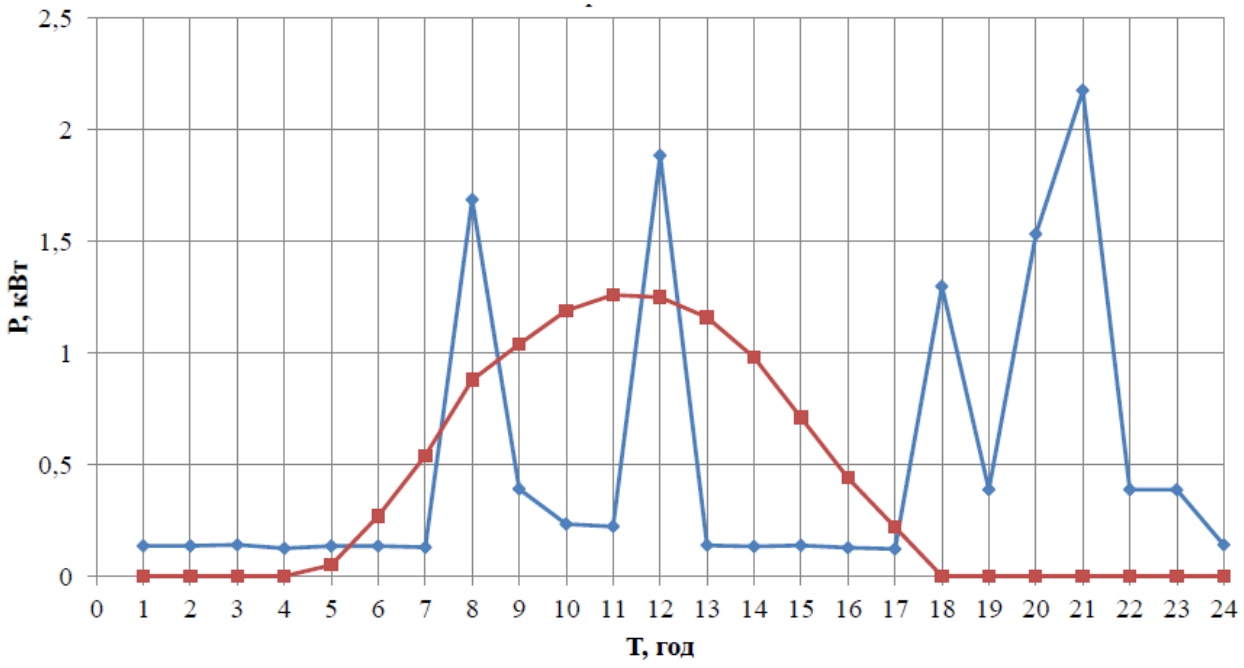


Рисунок 3.6 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця квітень

Розрахуємо енергетичний баланс за день у квітневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 13500 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\text{PV}day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 10060 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{\text{PV}day} - W_{day} = 10060 - 13500 = -3440 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Травень. В табл. 3.10 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця травень, а на рис. 3.7 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.10 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця травень

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	1030	4790	1330
2 AM	0	0	0	2 PM	910	4240	1170
3 AM	0	0	0	3 PM	740	3450	950
4 AM	40	190	50	4 PM	510	2370	660
5 AM	170	790	220	5 PM	300	1390	390
6 AM	340	1580	440	6 PM	120	560	150
7 AM	560	2610	720	7 PM	40	190	50
8 AM	730	3390	940	8 PM	10	50	10
9 AM	930	4330	1190	9 PM	0	0	0
10 AM	970	4520	1250	10 PM	0	0	0
11 AM	1120	5210	1440	11 PM	0	0	0
12 AM	1200	5590	1550	12 PM	0	0	0

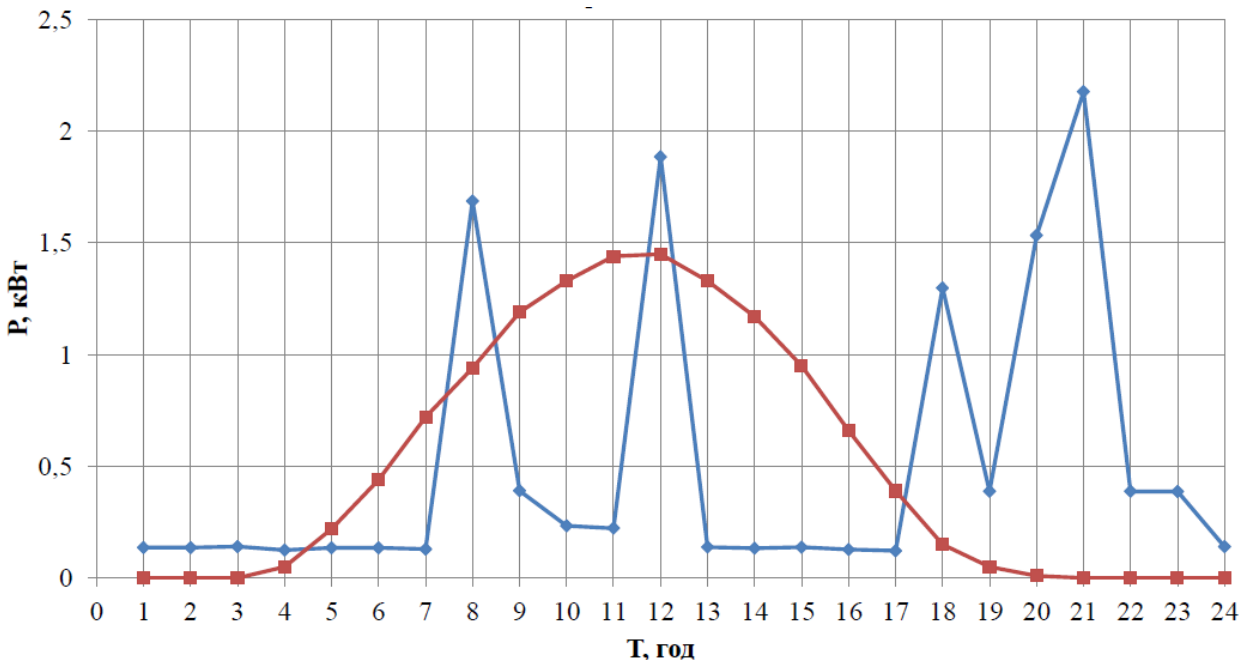


Рисунок 3.7 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця травень

Розрахуємо енергетичний баланс за день у травневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 12300 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\text{PV}day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 12530 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{\text{PV}day} - W_{day} = 12530 - 12300 = 230 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Розрахунок енергетичного балансу показав, що фотоелектричні батареї в травні виробляють за добу достатню кількість електричної енергії, щоб покрити добове електроспоживання будинку.

Проведемо розрахунок для заряду / розряду батареї акумуляторів, щоб переконатися в достатній їх ємності. В табл. 3.11 приведені результати

розрахунку погодинного енергетичного балансу та ємності заряду / розряду батарей акумуляторів за методикою, яка була використана під час визначення аналогічних показників для місяця липня (табл. 3.5.).

Таблиця 3.11 – Результати розрахунку ємності заряду / розряду батареї акумуляторів для місяця травень

t	P_{bal}, Вт	C_i, А·год	t	P_{bal}, Вт	C_i, А·год
1 AM	-130	-5,417	1 PM	1200	50,000
2 AM	-130	-5,417	2 PM	1040	43,333
3 AM	-130	-5,417	3 PM	820	34,167
4 AM	-80	-3,333	4 PM	530	22,083
5 AM	90	3,750	5 PM	260	10,833
6 AM	310	12,917	6 PM	-1140	-47,500
7 AM	-970	-40,417	7 PM	-340	-14,167
8 AM	550	22,917	8 PM	-1520	-63,333
9 AM	960	40,000	9 PM	-2190	-91,250
10 AM	1020	42,500	10 PM	-390	-16,250
11 AM	1310	54,583	11 PM	-390	-16,250
12 AM	-340	-14,167	12 PM	-130	-5,417

Просумуємо ємність розряду (від'ємні значення в табл. 3.11) в період часу з 1 AM – 4 AM та 6 PM – 12 PM (нічний час доби, тривалість 11 годин), отримаємо значення $C_{розр}$ = -273,75 А·год. Тобто ємності встановлених акумуляторів величиною в 300 А·год буде достатньо для покриття цих потреб.

Просумуємо ємності заряду та розряду в період часу з 5 AM – 5 PM за виключенням розряду за пікових годин навантаження (8 AM, 12 AM), отримаємо значення $C_{зар}$ = 261,26 А·год. Такої ємності заряду достатньо, щоб зарядити акумуляторні батареї до 96 %, адже на кожну групу акумуляторів протягом доби буде приходитися 87,1 А·год.

Червень. В табл. 3.12 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця червень, а на рис. 3.8 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.12 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця червень

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	1060	4940	1370
2 AM	0	0	0	2 PM	940	4380	1210
3 AM	0	0	0	3 PM	810	3770	1040
4 AM	130	610	170	4 PM	640	2980	830
5 AM	250	1160	320	5 PM	470	2190	610
6 AM	420	1960	540	6 PM	290	1350	370
7 AM	640	2980	830	7 PM	130	610	170
8 AM	770	3590	990	8 PM	0	0	0
9 AM	980	4560	1260	9 PM	0	0	0
10 AM	1020	4750	1320	10 PM	0	0	0
11 AM	1110	5170	1430	11 PM	0	0	0
12 AM	1070	4980	1380	12 PM	0	0	0

Розрахуємо енергетичний баланс за день у червневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 12350 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\text{PV}\,day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 13840 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{\text{PV}\,day} - W_{day} = 13840 - 12350 = 1490 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

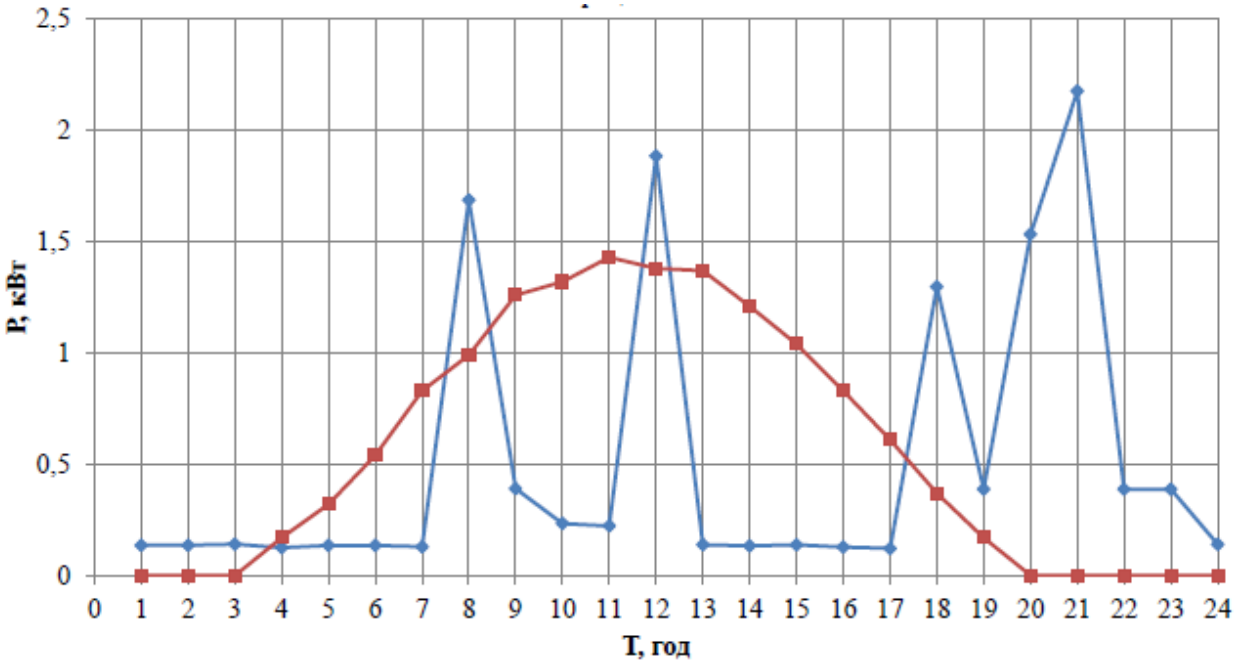


Рисунок 3.8 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця червень

Розрахунок енергетичного балансу показав, що фотоелектричні батареї в червні виробляють за добу достатню кількість електричної енергії, щоб покрити добове електроспоживання будинку.

Проведемо розрахунок для заряду / розряду батареї акумуляторів, щоб переконатися в достатній їх ємності. В табл. 3.13 приведені результати розрахунку погодинного енергетичного балансу та ємності заряду / розряду батарей акумуляторів за методикою, яка була використана під час визначення показників для місяця липня (табл. 3.5.).

Просумуємо ємність розряду (від'ємні значення в табл. 3.13) в період часу з 1 AM – 3 AM та 6 PM – 12 PM (нічний час доби, тривалість 11 годин), отримаємо значення $C_{розр}$ = -202,02 А·год. Тоді заряд встановлених акумуляторів величиною в 300 А·год буде зменшуватися за 12 годин на величину 67,34 А·год.

Таблиця 3.13 – Результати розрахунку ємності заряду / розряду батареї акумуляторів для місяця червень

t	P_{bal}, Вт	C_i, А·год	t	P_{bal}, Вт	C_i, А·год
1 AM	-130,0	-5,417	1 PM	1240,0	51,667
2 AM	-130,0	-5,417	2 PM	1080,0	45,000
3 AM	-130,0	-5,417	3 PM	910,0	37,917
4 AM	40,0	1,667	4 PM	700,0	29,167
5 AM	190,0	7,917	5 PM	480,0	20,000
6 AM	410,0	17,083	6 PM	-920,0	-38,333
7 AM	-860,0	-35,833	7 PM	-220,0	-9,167
8 AM	600,0	25,000	8 PM	-1530,0	-63,750
9 AM	1030,0	42,917	9 PM	-2190,0	-91,250
10 AM	1090,0	45,417	10 PM	-390,0	-16,250
11 AM	1300,0	54,167	11 PM	-390,0	-16,250
12 AM	-510,0	-21,250	12 PM	-130,0	-5,417

Просумуємо ємності заряду та розряду в період часу з 4 AM – 5 PM за виключенням розряду за пікових годин навантаження (8 AM, 12 AM), отримаємо значення $C_{зар}$ = 307,226 А·год. Такої ємності заряду достатньо, щоб зарядити акумуляторні батареї до 100 %, адже на кожну групу акумуляторів протягом доби буде приходитися 102,4 А·год.

Серпень. В табл. 3.14 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця червень, а на рис. 3.9 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.14 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця серпень

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	720	3350	930
2 AM	0	0	0	2 PM	640	2980	830
3 AM	0	0	0	3 PM	510	2370	660
4 AM	40	190	50	4 PM	340	1580	440
5 AM	40	190	50	5 PM	170	790	220
6 AM	210	980	270	6 PM	40	190	50
7 AM	380	1770	490	7 PM	40	190	50
8 AM	560	2610	720	8 PM	0	0	0
9 AM	720	3350	930	9 PM	0	0	0
10 AM	760	3540	980	10 PM	0	0	0
11 AM	810	3770	1040	11 PM	0	0	0
12 AM	760	3540	980	12 PM	0	0	0

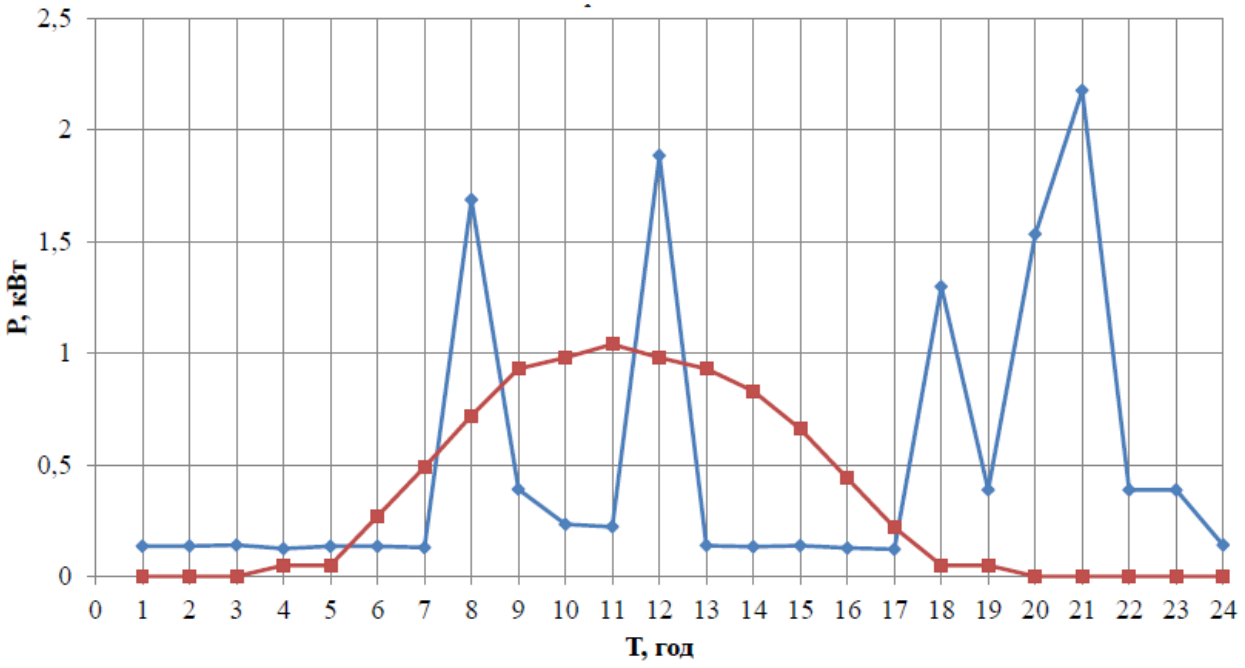


Рисунок 3.9 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця серпень

Розрахуємо енергетичний баланс за день у серпневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 12350 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\text{PV}\,day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 8690 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{\text{PV}\,day} - W_{day} = 8690 - 12350 = -3660 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Вересень. В табл. 3.15 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця вересень, а на рис. 3.10 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.15 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця вересень

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	430	2000	550
2 AM	0	0	0	2 PM	340	1580	440
3 AM	0	0	0	3 PM	300	1390	390
4 AM	0	0	0	4 PM	120	560	150
5 AM	10	50	10	5 PM	90	420	120
6 AM	70	330	90	6 PM	10	50	10
7 AM	120	560	150	7 PM	0	0	0
8 AM	260	1210	340	8 PM	0	0	0
9 AM	340	1580	440	9 PM	0	0	0
10 AM	420	1960	540	10 PM	0	0	0
11 AM	470	2190	610	11 PM	0	0	0
12 AM	510	2370	660	12 PM	0	0	0

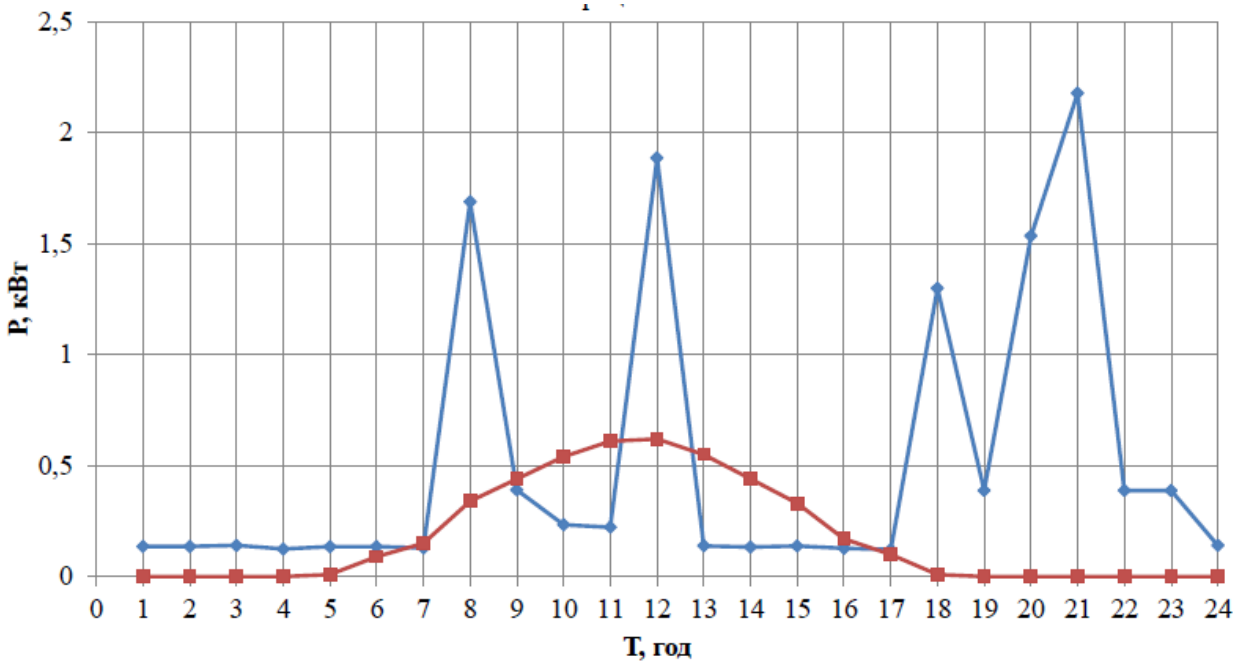


Рисунок 3.10 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця вересень

Розрахуємо енергетичний баланс за день у вересневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 13940 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{PV\,day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 4500 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{PV\,day} - W_{day} = 4500 - 13940 = -9440 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Жовтень. В табл. 3.16 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця жовтень, а на рис. 3.11 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.16 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця жовтень

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	170	790	220
2 AM	0	0	0	2 PM	130	610	170
3 AM	0	0	0	3 PM	40	190	50
4 AM	0	0	0	4 PM	0	0	0
5 AM	0	0	0	5 PM	0	0	0
6 AM	0	0	0	6 PM	0	0	0
7 AM	0	0	0	7 PM	0	0	0
8 AM	50	230	60	8 PM	0	0	0
9 AM	130	610	170	9 PM	0	0	0
10 AM	170	790	220	10 PM	0	0	0
11 AM	210	980	270	11 PM	0	0	0
12 AM	250	1160	320	12 PM	0	0	0

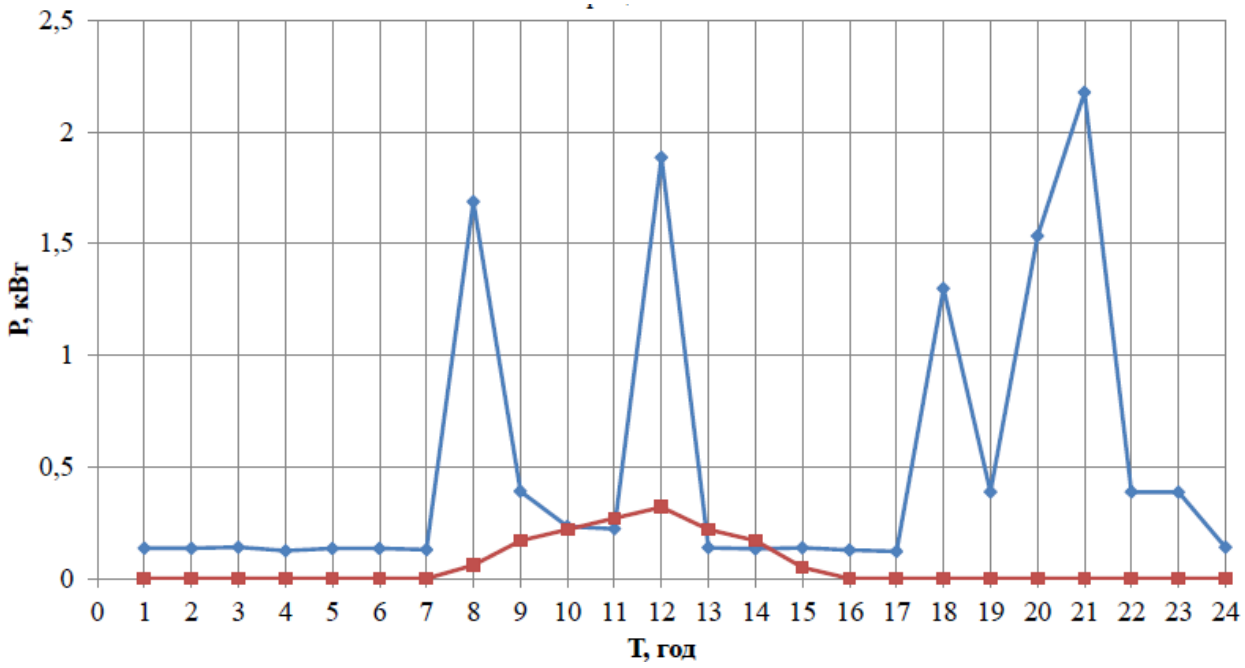


Рисунок 3.11 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця жовтень

Розрахуємо енергетичний баланс за день у жовтневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 13940 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{PV\,day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 1480 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{PV\,day} - W_{day} = 1480 - 13940 = -12960 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Листопад. В табл. 3.17 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця листопад, а на рис. 3.12 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.17 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця листопад

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	90	420	120
2 AM	0	0	0	2 PM	40	190	50
3 AM	0	0	0	3 PM	0	0	0
4 AM	0	0	0	4 PM	0	0	0
5 AM	0	0	0	5 PM	0	0	0
6 AM	0	0	0	6 PM	0	0	0
7 AM	0	0	0	7 PM	0	0	0
8 AM	0	0	0	8 PM	0	0	0
9 AM	40	190	50	9 PM	0	0	0
10 AM	90	420	120	10 PM	0	0	0
11 AM	120	560	150	11 PM	0	0	0
12 AM	120	560	150	12 PM	0	0	0

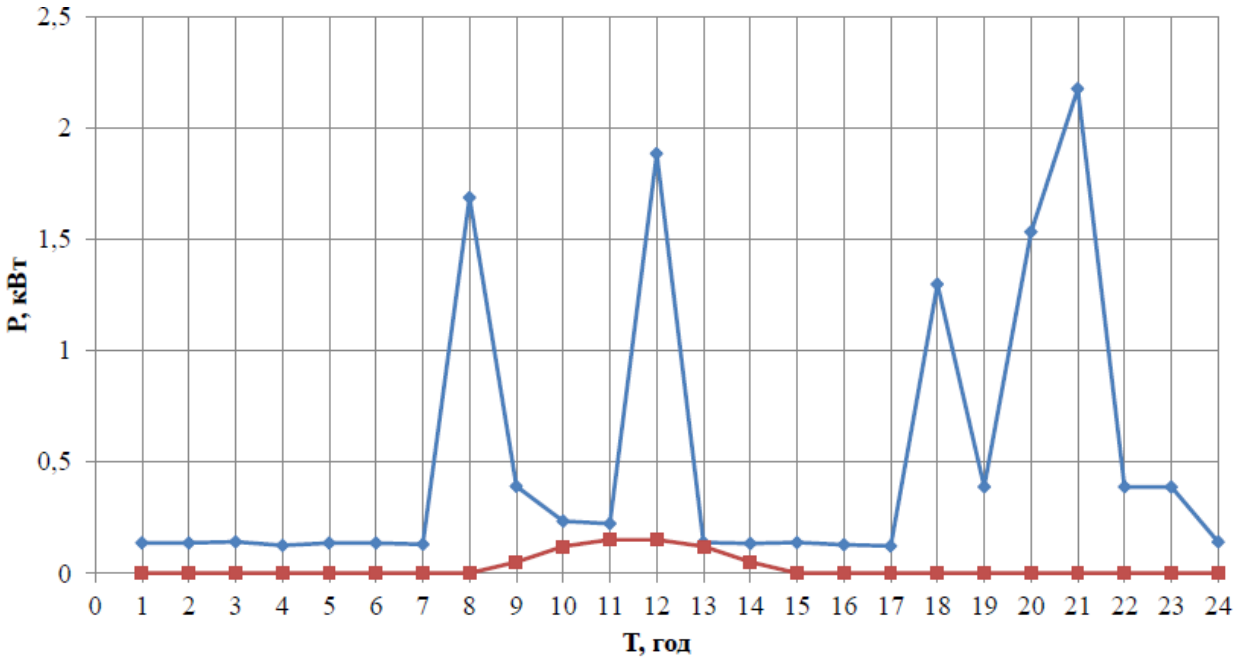


Рисунок 3.12 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця листопад

Розрахуємо енергетичний баланс за день у листопадовому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 13940 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{PV\,day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 640 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{PV\,day} - W_{day} = 640 - 13940 = -13300 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Грудень. В табл. 3.18 приведені дані надходження сонячної інсоляції на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця грудень, а на рис. 3.13 приведений графік потужності генерації електроенергії фотоелектричними панелями для цього місяця.

Таблиця 3.18 – Сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню та генерація фотоелектричними панелями для місяця грудень

Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год	Година доби	E, кДж/м^2	E_{PV}, кДж	W_{PV}, Вт·год
1 AM	0	0	0	1 PM	40	190	50
2 AM	0	0	0	2 PM	0	0	0
3 AM	0	0	0	3 PM	0	0	0
4 AM	0	0	0	4 PM	0	0	0
5 AM	0	0	0	5 PM	0	0	0
6 AM	0	0	0	6 PM	0	0	0
7 AM	0	0	0	7 PM	0	0	0
8 AM	0	0	0	8 PM	0	0	0
9 AM	0	0	0	9 PM	0	0	0
10 AM	40	190	50	10 PM	0	0	0
11 AM	40	190	50	11 PM	0	0	0
12 AM	40	190	50	12 PM	0	0	0

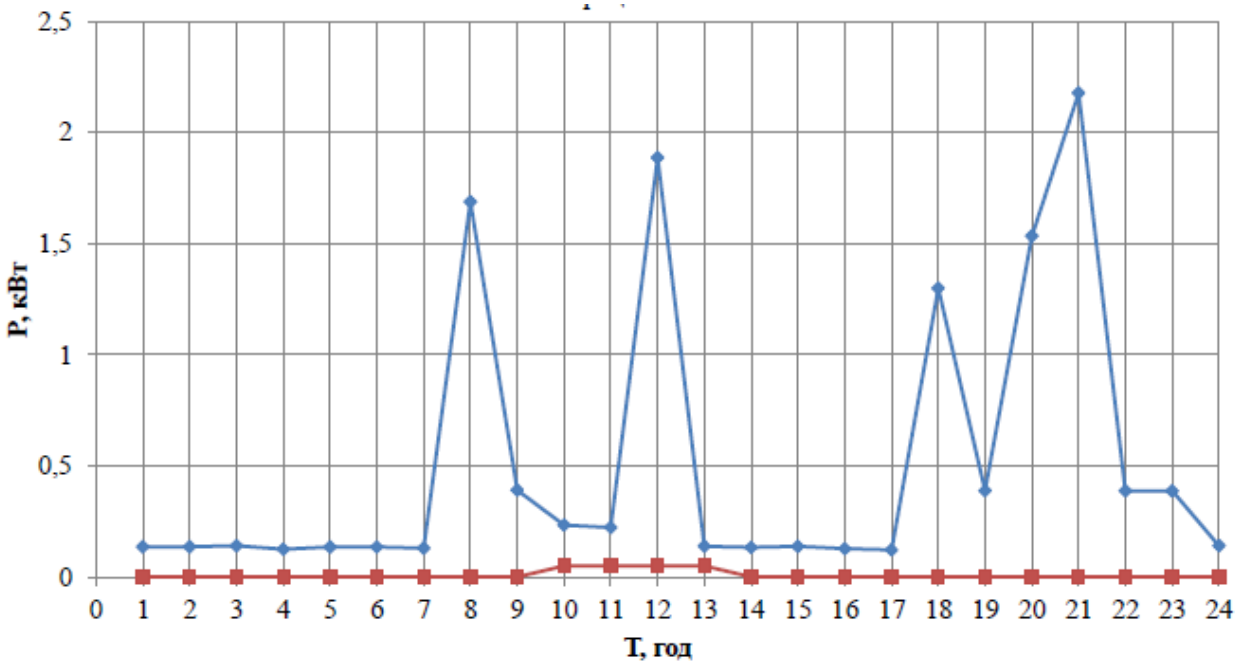


Рисунок 3.13 – Графік електроспоживання житлової будівлі та усереднений графік генерації фотоелектричних панелей для місяця грудень

Розрахуємо енергетичний баланс за день у грудневому місяці:

$$W_{day} = \sum_{j=1}^{24} W_j = 13850 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{PV\,day} = \sum_{j=1}^{24} W_{PVj} = 200 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{bal} = W_{PV\,day} - W_{day} = 200 - 13850 = -13650 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Зведемо визначені величини енергетичного балансу за місяцями для зручності використання у табл. 3.19.

Таблиця 3.19 – Результати розрахунку місячного енергетичного балансу

Місяць	W_{bal}, Вт·год	Місяць	W_{bal}, Вт·год	Місяць	W_{bal}, Вт·год
January	-13280	May	230	September	-9440
February	-13140	June	1490	October	-12960
March	-7830	July	2660	November	-13300
April	-3440	August	-3660	December	-13650

З табл. 3.19 можна підвести підсумок, що комбінована система електропостачання з сонячними фотоелектричними панелями здатна забезпечити електроенергією житловий будинок на протязі травня-червня. В інші місяці енергозабезпечення потребує використання дизельної електростанції та батареї акумуляторів, що працюватиме в буферному режимі.

3.2 Обґрунтування вибору ємності та типу електрохімічних акумуляторів

Слідуюче завдання полягає у виборі типу акумуляторної батареї. Із відомих типів акумуляторних батарей для фотоелектричних установок найчастіше застосовують свинцево-кислотні та гелієві акумулятори. Вибір гелієвих акумуляторів зумовлений їх унікальними характеристиками: відсутністю потреби у регуляторі зарядного струму, великою кількістю циклів заряду-розряду, допустимістю тривалого перебування у розрядженому стані, низьким саморозрядом, можливістю використання в любому положенні в житловому будинку.

Гелієві акумулятори мають низку переваг порівняно зі свинцево-кислотними. По-перше, вони характеризуються тривалим терміном служби – до 20 років, що значно довше, ніж у свинцевих акумуляторів. По-друге, у гелієвих акумуляторів кількість циклів заряд-розряд сягає 3000 для окремих моделей, тоді як у свинцевих – 500-800 циклів. Крім того, гелієві акумулятори добре переносять глибокий розряд, на відміну від свинцево-кислотних. Ще однією перевагою є екологічна безпека – гелієві акумулятори не містять токсичних речовин і їх можна утилізувати як побутові відходи.

Отже, завдяки низці унікальних властивостей, гелієві акумуляторні батареї є оптимальним вибором для фотоелектричних установок у житлових будинках. Вони забезпечують надійну та ефективну роботу системи протягом тривалого часу.

На сьогодні гелієві акумулятори широко застосовуються у потужних системах безперебійного живлення та альтернативної енергетики в домашніх умовах.

Такі батареї потребують лише захисту від перезарядки та повинні мати пристрій обмеження напруги під час зарядки, що забезпечує їм максимальний термін служби. За умови такого захисту від перенапруг гелієві АБ можуть

витримати більш як 700 циклів заряду / розряду, що значно більше порівняно зі звичайними свинцево-кислотними акумуляторами.

Отже, підбираючи гелієві акумулятори для комбінованих систем електропостачання, вкрай важливо передбачити наявність пристрою захисту від перезарядки та обмежувача напруги заряду. Це дозволить в повній мірі реалізувати всі переваги таких акумуляторів та подовжити термін їх експлуатації.

Батареї на основі гелієвих акумуляторів мають низку суттєвих переваг, таких як: відсутність потреби в обслуговуванні, стійкість до протікань, високі показники при глибоких розрядах, можливість встановлення в будь-якому положенні, швидка зарядка, стійкість до низьких температур та вібрацій, можливість роботи у вологому середовищі.

Водночас, у гелієвих акумуляторів є деякі недоліки: вища початкова ціна, більша маса порівняно з іншими типами акумуляторів, неможливість доливати воду при тривалих перезарядах.

Отже, аналізуючи можливості застосування гелієвих батарей, слід враховувати як їх численні переваги для систем безперебійного живлення, так і певні недоліки та особливості експлуатації. Гелієві акумулятори залишаються одним з кращих виборів для комбінованих систем електропостачання.

Для автономного електропостачання не можна застосовувати звичайні автомобільні свинцево-кислотні акумулятори або батареї, не пристосовані для глибоких циклів розряду. Адже автомобільні акумулятори розраховані на інший режим експлуатації – часті неглибокі розряди під час запуску двигуна. Вони не пристосовані для глибокого вичерпного розряду, який необхідний в автономних системах електроживлення.

Тому для комбінованих сонячних чи вітрових електростанцій потрібно підбирати саме акумулятори з можливістю глибокого розряду – гелієві або літій-іонні. Саме такі батареї здатні витримати велику кількість циклів

заряд / розряд і забезпечити надійне автономне електропостачання. Їх основні характеристики розраховані на режим тривалого періодичного розряду.

Сонячна фотоелектрична установка працює з урахуванням обмеження робочої напруги батареї акумуляторів. З урахуванням того що два пристрої підключені послідовно номінальна напруга батареї складає U_{bat} = 24В.

Середнє значення струму розряду батареї акумуляторів на навантаження в нічний час доби дорівнює:

$$I_{night.bat} = \frac{P_{night.average}}{U_{bat}} = \frac{480,0\ Bm}{24\ B} = 20,0\ A.$$

Середнє значення струму розряду батареї акумуляторів на навантаження в денний час доби дорівнює:

$$I_{sun.bat} = \frac{P_{sun.average}}{U_{bat}} = \frac{54,0\ Bm}{24\ B} = 22,5\ A.$$

Визначимо рівень необхідної ємності батарей гелієвих акумуляторів для нічного та денного розряду при ефективності процесу розряду 75 % (η_{disch} = 0,75) та розрахунковій тривалості денного і нічного проміжків часу рівному $T_{night} = T_{sun}$ = 12 годин:

$$C_{bat.night} = \frac{I_{night.bat} \cdot T_{night}}{\eta_{disch}} = \frac{20,0 \cdot 12}{0,75} = 320,0\ A \cdot год.$$

$$C_{bat.sun} = \frac{I_{sun.bat} \cdot T_{sun}}{\eta_{disch}} = \frac{22,5 \cdot 12}{0,75} = 360,0\ A \cdot год.$$

Таким чином для заряду батарей акумуляторів та живлення навантаження фотоелектричні панелі повинні віддавати в денний період

наступну ємність електричного заряду:

$$C_{PV} = C_{bat.night} + C_{bat.sun} = 320 + 360 = 680\ A \cdot год.$$

Розрахуємо середнє значення струму фотоелектричних панелей:

$$I_{PV.average} = \frac{C_{PV}}{T_{sun}} = \frac{680,0}{12} = 57,0\ A \cdot год.$$

Батарея акумуляторів буде підключатися до чотирьох фотоелектричних панелей. Виконаємо розрахунок батареї акумуляторів. Вона буде складатися із двох акумуляторів напругою 12 В та ємністю 100 А·год, що з'єднані послідовно. Таким чином номінальна напруга батареї буде складати 24 В. Загальна енергія, що може бути запасена в батареї акумуляторів рівна 100 *А·год*·24 *В* = 2400 *Вт·год*. Згідно розрахунків найбільший розряд складає 91 *А·год*, що відповідає енергії 91 *А·год*·24 *В* = 2184 *Вт·год*.

Схема підключення силового електрообладнання (фотоелектричні панелі, зарядно-розрядні контролери, інвертор, акумулятори, дизельна електростанція) в комбінованій системі електропостачання приведена на рис. 3.14. Як видно з рис. 3.14 схема електропостачання включає шість акумуляторів з номінальною ємністю 100 А·год кожен. Повний запас енергії системи буде рівним 6552 Вт·год, що є достатнім, адже пік навантаження в зимовий період складає 2850 Вт.

Термін експлуатації гелієвих акумуляторів у циклічному режимі залежить від низки факторів:

- робоча температура оточуючого середовища, за низьких температур ємність акумулятора знижується;

- швидкість розряду, чим вона вища, тим менше повних зарядних циклів витримає батарея.

- спосіб зарядки, тому для подовження життя батареї слід

використовувати «щадний» режим зарядки.

- глибина розряду, це найважливіший фактор, який впливає на термін служби гелієвого акумулятора, адже чим глибший розряд, тим менше циклів заряду/розряду він витримає.

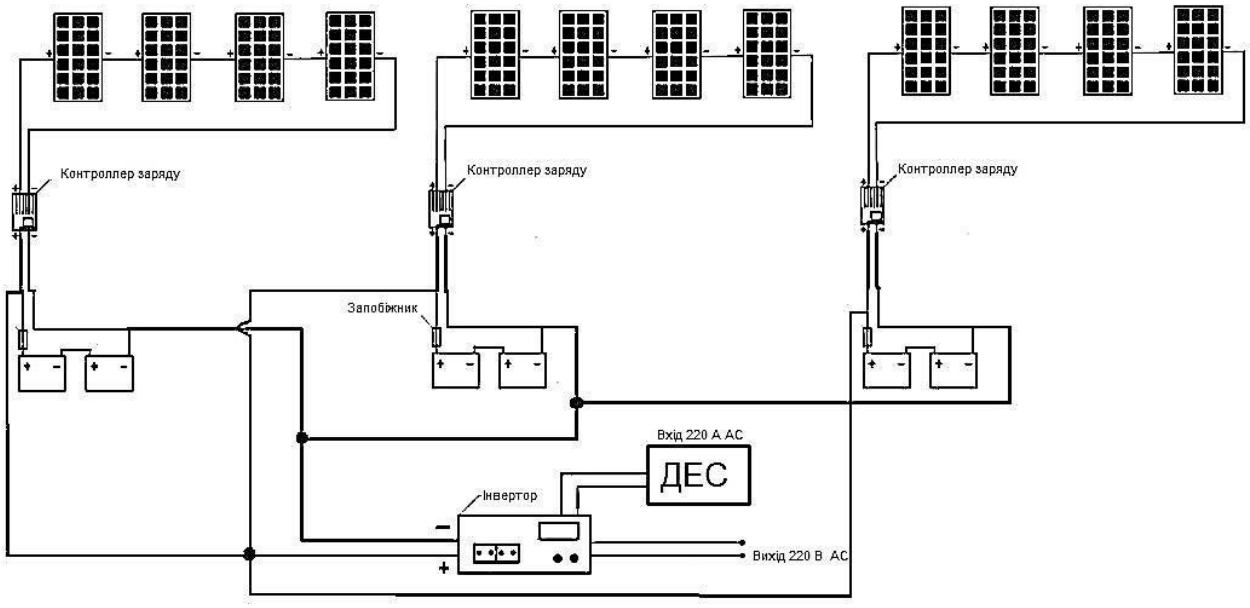


Рисунок 3.14 – Схема з’єднання силового обладнання комбінованої системи електропостачання з фотоелектричними панелями та акумуляторами

Вплив ступені розряду на число розрядних циклів гелієвого акумулятора, за умови його циклічної роботи приведено на рис. 3.15.

Всі ці параметри необхідно враховувати при підборі та експлуатації гелієвих батарей для комбінованих систем електропостачання, аби подовжити термін їхньої служби.

Як було визначено попередніми розрахунками максимальна глибина розряду складає 91 А·год на акумулятор. Відтак наближено число циклів заряду/розряду рівне 400 циклів.

Вибираємо до установки гелієвий акумулятор марки Solinved SOL12-100, зовнішній вигляд якого представлений на рис. 3.16, а технічні дані в табл. 3.20.

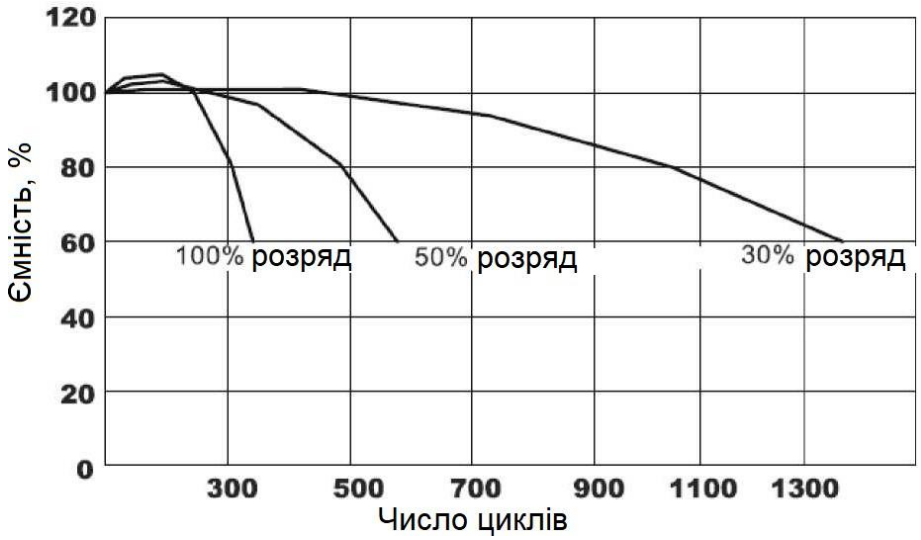


Рисунок 3.15 – Вплив ступені розряду на число розрядних циклів гелієвого акумулятора



Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд акумулятора Solinved SOL12-100,

Акумулятори типу Solinved SOL12-100 не обслуговуються, розроблені спеціально для систем безперебійного живлення. До їх переваг слід віднести високий ресурс циклів заряджання / розряджання (1200) і, як наслідок, триваліший термін експлуатації (в середньому 7-8 років залежно від умов експлуатації). Акумулятор можна встановити у житлових приміщеннях. В’язка структура електроліту і повна герметичність корпусу запобігають витоку кислоти і гарантують відсутність шкідливих випарів.

Таблиця 3.20 – Характеристики акумулятора Solinved SOL12-100

Параметр	**Значення**
Номінальна напруга, В	12
Номінальна ємність (при температурі 25°С), А·год	100
Номінальний струм, А	20
Максимальна температура, °С	50
Число циклів заряд/розряд - при глибині розряду 30 % - при глибині розряду 50 % - при глибині розряду 60 % - при глибині розряду 100 %	 2100 1000 800 400
Ресурс, років	до 10
Вага, кг	32

3.3 Розрахунок надійності роботи акумуляторних батарей

Для комбінованих систем електропостачання, що передбачають акумулювання електроенергії, однією із важливих вимог висувається надійність роботи системи. До їх складу одним із важливих елементів входить акумуляторна батарея, що має обмежений термін експлуатації та може вийти з ладу. Тому виконаємо визначення імовірності роботи батареї акумуляторів без відмов на протязі деякого періоду автономної роботи використовуючи наступний вираз:

$$p(t) = e^{-m\lambda \cdot t}, \tag{3.1}$$

де m – число акумуляторів, які сполучені послідовно;

λ – інтенсивність потоку відмов;

t – розрахунковий час роботи.

Типове значення інтенсивності потоку відмов складає $\lambda = 10^{-6}$ год$^{-1}$.

Виконаємо розрахунок виходячи з тривалості роботи акумулятора в складі батареї три роки, при цьому число годин роботи їх буде рівне t = 24·365·3 = 26380 годин та двох послідовно сполучених акумуляторів у складі батареї:

$$p(t) = e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot 26380} = 0,95$$

Таким чином було визначено, що імовірність безвідмовної роботи акумуляторів в складі батареї протягом трьох років складає близько 95 %. Це досить висока імовірність, тому немає необхідності в розробці спеціальних заходів з підвищення надійності їх роботи.

3.4 Енергетичні розрахунки процесів заряду і розряду пристроїв акумулювання в години пікового навантаження

В даній роботі в п.п. 3.2 були виконані детальні інтегральні розрахунки ємності розряду та заряду акумуляторних батарей в періоди часу, коли фотоелектричні панелі здатні забезпечити покриття енергією використану електрику акумуляторів, а саме для травня, червня та липня. Проведемо більш детальний аналіз процесу розряду та заряду батарей акумуляторів.

Виконаємо аналіз роботи акумуляторів для місяця травня.

Загальна добова ємність розряду складає $C_{розр}$ = -273,65 А·год. Тому на одну пару акумуляторів, що працюють в послідовному режимі, щодоби розрядна ємність складе 91,22 А·год.

Загальна добова ємність заряду складає $C_{розр}$ = 261,26 А·год. Така кількість заряду може виконати заряд кожної із груп акумуляторів до 96 %.

Виконаємо аналіз роботи акумуляторів для місяця червня.

Загальна добова ємність розряду складає $C_{розр}$ = -202,02 А·год. Тому на одну пару акумуляторів, що працюють в послідовному режимі, щодоби розрядна ємність складе 67,34 А·год.

Загальна добова ємність заряду складає $C_{розр}$ = 307,22 А·год. Така кількість заряду може виконати заряд кожної із груп акумуляторів до 100 %.

Виконаємо аналіз роботи акумуляторів для місяця липня.

Загальна добова ємність розряду складає $C_{розр}$ = -257,4 А·год. Тому на одну пару акумуляторів, що працюють в послідовному режимі, щодоби розрядна ємність складе 85,8 А·год.

Загальна добова ємність заряду складає $C_{розр}$ = 356,3 А·год. Така кількість заряду може виконати заряд кожної із груп акумуляторів до 100 %.

Алгоритм роботи комбінованої системи електропостачання передбачає покриття навантаження згідно графіків електроспоживання за рахунок виробництва електричної енергії фотоелектричними установками та дизельною електростанцією.

Підхід до формування енергетичного балансу в комбінованих фото-дизельних системах електропостачання передбачає три ключові етапи:

- визначення середніх навантажень об’єкта по місяцях, для чого використовуються місячні графіки електричних навантажень;

- розрахунок середньомісячної генерації від фотоелектричної станції на основі сонячної інсоляції для обраної місцевості розташування об’єкта електропостачання;

- порівняння цих показників і визначення необхідної частки генерації від дизельної електростанції для покриття попиту.

Завдяки такому балансуванню можна оптимізувати використання сонячної енергії і мінімізувати затрати на паливо для електрогенератора. Це ключові фактори ефективності комбінованих систем живлення.

Аналіз навантажень та генерації від сонячних панелей по місяцях дає цінну інформацію для розуміння режимів роботи всієї системи.

В літній період дванадцять фотоелектричних панелей можуть повністю забезпечити потреби житлової будівлі в електроенергії. Однак в осінньо-зимовий період їх генерація зменшується через нижчу інсоляцію. Саме тому в цей час необхідно підключення дизель-генератора.

При цьому акумулятори працюють у буферному режимі – накопичують енергію та віддають її за потреби. Завдяки цьому навантаження перемикається на дизельну електростанцію плавно, без збоїв в електропостачанні. Тож гелієві акумулятори є важливим елементом надійності всієї системи живлення.

Інвертор Outback Power VFX3048E, який виконує ключові функції з керування комбінованою системою електропостачання, має наступні можливості:

- перетворює постійний струм від сонячних панелей та акумуляторів на змінний струм при напрузі живлення 220 В для споживачів;

- заряджає акумулятори від фотоелектричної станції та генератора;

- синхронізується з дизельною електростанцією для сумісної роботи з фотоустановками;

- автоматично перемикає навантаження між джерелами живлення;

- має захист від перевантажень і глибоких розрядів.

Аналізуючи графіки електрогенерації, які були наведені раніше, можна зробити висновок, що сонячні панелі не здатні забезпечити достатню кількість електроенергії для живлення житлового будинку взимку. Отже, у цей період часу доведеться підключати дизель-генератор, аби забезпечити безперебійне живлення будівлі. Крім того, дизельна електростанція дозволить заряджати акумулятори, які потім, у свою чергу, віддаватимуть накопичену енергію під час пікових навантажень. Для покриття пікового споживання електроенергії необхідна потужність паливного генератора у 4000 Вт. Проте планується обрати електростанцію з меншою потужністю, оскільки в системі є акумулятори, котрі також допоможуть покривати пікові навантаження. Вони будуть підзаряджатися від дизель-генератора. Таке рішення дозволить зекономити на витраті палива.

Важливим показником роботи дизельної електростанції являється коефіцієнт використання встановленої потужності. Цей параметр інтегрально характеризує ефективність роботи електростанції у цілому, з урахуванням не лише її технологічної досконалості, але і кваліфікації персоналу, організації роботи як керівництвом самої станції, так і організації усієї галузі на державному рівні та враховує інші фактори та розраховується за виразом:

$$K_{using} = \frac{W_{gen}}{P_{nom} \cdot T_{rating}} \cdot 100\%, \tag{3.2}$$

де K_{using} – коефіцієнт використання встановленої потужності дизельної електростанції;

W_{gen} – електроенергія, що була реально вироблена електростанцією за період оцінки;

P_{nom} – номінальна потужність електрогенератора;

T_{rating} – часовий проміжок, для якого проводиться оцінка ефективності використання встановленої потужності.

В табл. 3.21 приведено результати розрахунків необхідної помісячної генерації електроенергії дизельною електростанцією, що були зроблені на основі розрахованих вище енергетичних балансів потужності.

Таблиця 3.21 – Необхідна помісячна генерація електроенергії дизельною електоостанцією

Місяць	W_{gen}, Вт·год	Місяць	W_{gen}, Вт·год	Місяць	W_{gen}, Вт·год
January	411 680	May	0	September	283 200
February	381 060	June	0	October	385 660
March	242 730	July	0	November	399 000
April	103 200	August	113 460	December	423 150
Total					2 743 140

Для випадку встановлення дизельної електростанції потужністю 4000 Вт визначимо коефіцієнт використання встановленої потужності. Зважаючи на ту обставину, що протягом травня-червня робота установки не потрібна, то період оцінки замість року, тривалістю 8760 годин, слід скоротити на 24·(31 + 30 + 31) = 2208 годин. В такому разі період оцінки складе 6552 години.

За виразом (3.2) отримаємо значення коефіцієнт використання:

$$K_{using} = \frac{2743140}{4000 \cdot 6552} \cdot 100\% = 10{,}5\%.$$

Розглянемо можливість вибору дизельної електростанції вдвічі меншої потужності – на 2000 Вт. При цьому можна зменшити розрахунковий період їх роботи на п’ять годин в період ночі, а покриття дефіциту електроенергії буде здійснюватися за рахунок акумуляторів в період малого енергоспоживання. Окрім того, заряджені в денні години акумулятори можуть додатково розвантажити дизельну електростанцію шляхом видачі електроенергії в пікові години навантаження.

В такому випадку отримаємо за виразом (3.2) значення коефіцієнта використання:

$$K_{using} = \frac{2743140}{2000 \cdot (6552 - 5(365 - 92))} \cdot 100\% = 26{,}4\%.$$

Так, завдяки використанню акумуляторів та зменшенню часу роботи дизель-генератора вдалося підвищити коефіцієнт використання його потужності більш ніж в два рази – з 10,5 % до 26,4 %.

Для більш детального аналізу доцільно розрахувати коефіцієнт використання дизельної електростанції потужністю 2000 Вт по місяцях. Це

дозволить врахувати сезонні коливання споживання електроенергії і побачити, як дизель-генератор справлятиметься з покриттям пікових навантажень.

Для розрахунку попередньо були визначені дані щодо необхідної добової потреби в електроенергії генерованої дизельною електростанцією по місяцях, що приведені в табл. 3.22.

Таблиця 3.22 – Середньодобова потреба в електроенергії генерації дизельною електростанцією по місяцях

Місяць	W_{gen}, Вт·год	Місяць	W_{gen}, Вт·год	Місяць	W_{gen}, Вт·год
January	13 280	May	0	September	9 440
February	13 140	June	0	October	12 460
March	7 830	July	0	November	13 300
April	3 440	August	3 660	December	13 650

Так як батареї акумуляторів будуть зарядженими, то матимуть змогу забезпечити електричною енергією споживачів у період 1 AM – 6 AM та 2 PM – 5 PM, що складає 9 годин (табл. 2.1, табл.2.2). Тоді згідно виразу (3.2):

$$K_{using} = \frac{31280}{2000 \cdot (24-9)} \cdot 100\% = 44,5\%.$$

Аналогічно виконуються розрахунки і для інших місяців та зводяться в табл. 3.23. Аналіз даних табл. 3.23 засвідчує, що в період осені та зими дизельна електростанція має значний коефіцієнт використання, що підтверджує доцільність вибору електростанції потужністю 2000 Вт. У період весни та літа ступінь використання дизельної електростанції знижується внаслідок більшого ступеню задіяння фотоелектричних панелей.

Зважаючи на схему з’єднання акумуляторів та їх ємність максимальна потужність електроспоживачів, що можуть бути підключені до батареї акумуляторів складає 3·100·24 = 7,2 кВт.

Таблиця 3.23 – Середнє за добу значення коефіцієнта використання встановленої потужності дизельної електростанції

Місяць	K_{using}, %	Місяць	K_{using}, %	Місяць	K_{using}, %
January	44,5	May	0	September	31,5
February	43,8	June	0	October	41,5
March	26,1	July	0	November	44,3
April	22,9	August	12,2	December	45,5

Проведемо розрахунки для режиму розряду батареї акумуляторів в осінній період.

Під час роботи батареї акумуляторів тривалістю 9 год. електроспоживачі використають електроенергії величиною $W = 137 \cdot 9 = 1230$ Вт·год. Це складає 16,7 % добового розряду батарей. В години піку необхідну потужність забезпечать акумулятори, що зменшить навантаження на дизельну електростанцію потужністю 2000 Вт. Таким чином система буде забезпечувати безперебійне електроживлення житлової будівлі.

Проведемо визначення розряду батареї акумуляторів у години навантаження пік: при АМ 7 навантаження складає $P = 1800$ Вт, при АМ 12 – $P = 1980$ Вт, при РМ 8 – $P = 2450$ Вт, при РМ 9 – $P = 2630$ Вт. У разі розрахункового використання дизельної електростанції на 0,8 номінальної потужності розряд акумуляторів в період АМ 1 – АМ 6 складе $C_{розр} = 980$ Вт·год, що не буде критичним розрядом акумуляторів. Як описувалося вище в період АМ 1 – АМ 6 дизельна електростанція не працює для підвищення коефіцієнта її використання, надалі ж дизельна електростанція буде працювати для забезпечення електроживлення споживачів, коли нема пікового навантаження (до 12 АМ), тому батареї встигнуть зарядитися.

Станом на полудень розряд батарей акумуляторів не буде критичним та складатиме $C_{розр.bat} = 380$ Вт·год, а в подальшому в проміжку 1 РМ – 5 РМ розряд складе $C_{розр.bat} = 520$ Вт·год, як було визначено вище.

В проміжку часу 8 РМ – 9 РМ розряд становитиме $C_{розр.bat}$ = 1880 Вт·год.

Аналогічно виконаємо аналіз роботи і для зимового навантаження, де в пікові години навантаження складає: при АМ 7 – P = 1860 Вт, при АМ 12 – P = 1990 Вт, при РМ 6 – P = 1670 Вт, при РМ 8 – P = 2500 Вт, при РМ 9 – P = 2700 Вт.

Розряд акумуляторів в період АМ 1 – АМ 6 складе $C_{розр}$ =1040 Вт·год, РМ 1 – $C_{розр}$ =1040 Вт·год, РМ 2 – РМ 4 складе $C_{розр}$ =550 Вт·год, РМ 8 – $C_{розр}$ =2000 Вт·год,

Дані розрахунку засвідчують можливість використання дизельної електростанції потужністю 2000 Вт.

3.5 Визначення типу та експлуатаційних характеристик резервного джерела живлення для комбінованої системи електропостачання

Для роботи в складі комбінованої системи електропостачання необхідно обрати тип дизельного електрогенератора потужністю не нижче 2000 Вт. Нижче приведено переваги електростанції на основі дизельного двигуна:

- дизельні двигуни мають вищий ККД порівняно з бензиновими, що забезпечує більш економічну роботу;

- дизпаливо менш пожежонебезпечне, ніж бензин чи газ, що підвищує загальний рівень безпеки при експлуатації.

- викиди дизельних двигунів менш токсичні, ніж у бензинових, тому дизель-генератори часто рекомендують для використання в житловій забудові.

- робочий ресурс дизельних двигунів значно більший за бензинові аналоги, що забезпечує надійність та довговічність усього агрегату.

Тому дизельний електрогенератор потужністю від 2000 Вт є оптимальним вибором для забезпечення безперебійного електроживлення з огляду на ефективність, безпеку та надійність.

Після аналізу ринку дизельних електрогенераторів був обраний дизельний генератор Кентавр КДГ283ЕК потужністю 2800 кВт, зовнішній вигляд якого приведений на рис. 3.17.

Генератор Кентавр КДГ283ЕК обладнаний економічним та надійним дизельним двигуном з робочим об’ємом 296 см^3. Використання чавунних гільз циліндра та сідел клапанів з хромовольфраму гарантує тривалий ресурс роботи та мінімум технічних проблем. Шумозахисний кожух ефективно знижує рівень шуму до 85 децибел. Наявність систем захисту від перевантаження та низького тиску масла забезпечує надійну і безпечну роботу. Транспортні колеса полегшують маневрування та переміщення генератора. Електросистема пристрою оснащена системою регулювання напруги AVR та електричного старту. Це дозволяє ефективно згладжувати коливання напруги на виході та підтримувати її стабільних параметрів, здійснювати надійний захист системи від перевантажень і перепадів навантаження. Система вентиляції генератора змінного струму захищає від коротких замикань.



Рисунок 3.17 – Зовнішній вигляд генератора Кентавр КДГ283ЕК

Бак для палива на 15 літрів є достатнім для тривалої автономної роботи протягом 8 годин, при цьому витрата палива складає 265 г / кВт·год. За необхідності, ємність паливного баку можна збільшити додатковими каністрами.

Необхідні помісячні обсяги генерації електроенергії дизельною електростанцією вказано у табл. 3.22. Для розрахунку було використано середнє реальне добове споживання енергії житловою будівлею за вирахуванням електроенергії, що генерується фотоелектричними панелями. Це значення було помножене на кількість календарних днів у місяці, щоб отримати загальну кількість електроенергії яку має виробити дизельна електростанція. Ці дані дають можливість визначити питому витрату дизельного палива для електрогенератора в умовах навантаження в розробленій комбінованій системі електропостачання. Питома витрата палива розраховується на основі середньорічного навантаження за виразом:

$$b = \frac{1{,}05 \cdot K \cdot g_{gen}}{\eta_{gen}} + \frac{1{,}05 \cdot K_{x.x.} \cdot g_{gen} \cdot N_{gen} \cdot n \cdot 0{,}15}{W_{load}}, \tag{3.3}$$

де g_{gen} – питома витрата палива дизельним електрогенератором при навантаженні в розмірі 75 %, згідно технічних даних на електрогенератор Кентавр КДГ283ЕК ця величини складає 265 г / кВт·год;

$1{,}05 \cdot K$ – величина для врахування росту витрат по причині зміни навантаження, причому коефіцієнт K визначається із виразу:

$$K = 0{,}87 + 0{,}13 \cdot \frac{P_{nom}}{P_{load}}; \tag{3.4}$$

η_{gen} – коефіцієнт корисної дії електрогенератора;

$K_{x.x.}$ – коефіцієнт витрат на холостому ході, що для двигунів внутрішнього згорання потужністю до 1000 к.с. рівний 0,21;

N_{gen} – номінальна потужність ДВЗ виражена в кінських силах;

n – число пусків дизельного двигуна;

W_{load} – розрахункове електроспоживання навантаження.

Розрахуємо коефіцієнт K за виразом (3.4) при значенні номінальної потужності генератора 2800 Вт і середньому навантаженні генератора (з урахуванням роботи фотоелектричних батарей) 420 Вт:

$$K = 0,87 + 0,13 \cdot \frac{2800}{2000} = 1,052.$$

Визначимо за виразом (3.3) питому витрату палива:

$$b = \frac{1,05 \cdot 1,052 \cdot 0,265}{0,95} + \frac{1,05 \cdot 0,21 \cdot 0,265 \cdot 3,755 \cdot 2 \cdot 0,15}{2} = 0,341\ кг / кВт \cdot год.$$

Визначимо абсолютну витрату палива дизельною електростанцією за виразом:

$$G_{gen} = b \cdot K_{wear} \cdot W_{year}. \quad (3.5)$$

де K_{wer} – коефіцієнт зношеності генератора, приймається рівним 1 для нових;

W_{year} – енергія, яку генерує дизельна електростанція протягом року.

Згідно виразу (3.5) річна витрата палива складе:

$$G_{gen} = 0,341 \cdot 1 \cdot 2730,6 = 931,13\ кг.$$

При роздрібній ціні на дизельне паливо на рівні 54,99 грн / л визначимо річну вартість дизелю для забезпечення річної роботи дизельної електростанції:

$$C_{diesel.fuel} = G_{gen} \cdot 54,99 = 931,13 \cdot 54,99 = 51202,84\ грн.$$

3.6 Висновки до третього розділу

1. Базуючись на проведених розрахунках сонячної інсоляції та аналізі енергетичного балансу за місяцями, можна зробити висновок, що обрана кількість сонячних панелей забезпечить необхідну потужність для живлення житлової будівлі електроенергією протягом трьох місяців. В решту місяців планується використовувати дизельну електростанцію в поєднанні з системою акумуляторів, які працюватимуть в буферному режимі.

2. Було здійснено розрахунок максимального обсягу електроенергії, яку мають накопичувати акумуляторні батареї. Спираючись на отримані дані, було підібрано необхідну кількість акумуляторів, їх ємність та схему сполучення. При підборі акумуляторних батарей було враховано не тільки ємність, але й кількість циклів зарядки / розрядки та термін служби.

3. Було розроблено принципову схему підключення всіх компонентів системи електроживлення, а саме: сонячних фотопанелей, контролерів заряду акумуляторів, інвертора напруги, батарей гелієвих акумуляторів та дизельної електростанції.

6. Розраховане значення імовірності безвідмовної роботи батарей акумуляторів на рівні понад 95 %, що свідчить про достатню надійність обраних акумуляторів.

7. Базуючись на проведених розрахунках та аналізі запропонованої системи електроживлення виявлено наступне:

- розрахунки споживання будинку та генерації сонячних панелей по місяцях показують, що 12 обраних сонячних панелей цілком здатні забезпечити стабільне та надійне електропостачання в літній період, однак в зимові місяці їх потужності може не вистачити через зменшення сонячної інсоляції та зростання споживання;

- в місяці з недостатнім виробництвом сонячної електроенергії необхідна робота дизель-генератора для покриття дефіциту;

- система акумуляторних батарей виконує буферну функцію, згладжуючи коливання та забезпечуючи безперебійне електроживлення при перемиканні між сонячними панелями та дизель-генератором;

- використання акумуляторів у буферному режимі дозволило зменшити потрібну потужність дизель-генератора вдвічі, з 4000 Вт до 2000 Вт, що позитивно позначиться на вартості всієї системи.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Виникнення статичної електрики та заходи з її подолання

Нагромадження статичних електричних зарядів виникає внаслідок контакту та подальшого розділення двох матеріалів, принаймні один з яких є діелектриком. Цей процес призводить до поляризації молекул та перенесення електронів між поверхнями. Збільшені рівні накопиченої статичної електрики можуть становити загрозу безпеці працівників на виробництві. Вони належать до групи фізичних небезпечних та шкідливих чинників робочого середовища.

Надлишкова статична електрика може викликати іскріння при контакті з металевими поверхнями. Це становить загрозу у приміщеннях з легкозаймистими речовинами. Також вона притягує частинки пилу, що погіршує якість продукції та стан повітря. Ефективними заходами для зменшення накопичення зарядів є заземлення обладнання, підвищення вологості повітря та використання антистатичних матеріалів.

Суть електризації полягає у перерозподілі електричних зарядів між діелектричними матеріалами за певних умов. Заряди не виникають з нізвідки, а лише переміщуються між тілами при контакті, накопичуються на поверхнях або рухаються всередині одного матеріалу. Статична електрика може також з’являтися через індукцію – взаємодію заряджених частинок на відстані.

Розряд статичної електрики відбувається тоді, коли напруженість електричного поля перевищує міцність діелектрика. В цьому випадку настає електричний пробій, який може супроводжуватися іскроутворенням.

Основною характеристикою матеріалів, що визначає їх здатність до електропровідності та схильність до електризації, виступає питомий електричний опір. Чим вищий цей показник, тим гірше речовина проводить

струм і тим легше накопичує статичні заряди при терті чи контакті з іншими матеріалами.

Отже, речовини з високим питомим опором, такі як пластмаси чи смоли, потребують особливих заходів захисту від накопичення статичної електрики на виробництві.

Умовно вважають, що речовини та матеріали з питомим електричним опором менше 10 Ом·м не схильні до накопичення зарядів статичної електрики та не становлять небезпеки. Натомість, речовини з вищим опором, особливо за високих швидкостей розділення поверхонь, можуть накопичувати і зберігати значні заряди.

Кількість накопичених зарядів статичної електрики залежить від природи матеріалу та інтенсивності технологічного процесу, що спричиняє тертя та роз'єднання поверхонь. Чим вища швидкість їх відносного руху, тим більше електронів переноситься, формуючи надлишковий заряд. Тому для мінімізації статичної електрики слід правильно підбирати матеріали з невисоким опором і контролювати швидкості технологічних процесів, що можуть викликати електризацію.

Розряди статичної електрики можуть викликати спалахи та вибухи на підприємствах харчової промисловості. Це пов'язано насамперед із використанням речовин та матеріалів, схильних до сильної електризації – горючих рідин, органічного пилу. Електризація рідких речовин у 3 рази частіше призводить до займання, ніж електризація дрібнодисперсних твердих матеріалів. Це пояснюється нижчою мінімальною енергією запалення пилоповітряних сумішей у 10-100 разів.

Величина заряду рідин, що виникає при їхньому русі трубопроводами, залежить від діелектричної сталої, забрудненості, шорсткості стінок труб, швидкості потоку та діаметра.

Захист від небезпек статичної електрики має здійснюватися у два етапи: попередження накопичення зарядів або зменшення їх до безпечного рівня.

Устаткування, що може генерувати статичну електрику, підлягає багатоточковому заземленню, незалежно від наявності загального контуру заземлення. Кожна одиниця подібного обладнання має бути заземлена в двох або більше точках для надійного відведення накопичених зарядів.

Це дозволить уникати виникнення іскор і небезпечних розрядів статичної електрики на виробництві. Використання антистатичних матеріалів та підтримання оптимальної вологості також сприятиме мінімізації її накопичення.

Пристрої заземлення, призначені для захисту від явищ розрядів статичної електрики, як правило, об’єднують із системами заземлення електроустаткування.

Підключення захисних засобів має здійснюватися лише паралельно, щоб уникнути включення їх послідовно в контур струму розряду. Допустимий опір заземлювачів статичної електрики, розрахованих на невеликі струми, не повинен перевищувати 100 Ом для надійного відведення зарядів.

Правильне проектування та монтаж системи заземлення є запорукою ефективного захисту персоналу й устаткування від потенційно небезпечних наслідків накопичення статичної електрики.

Гнучкі трубопроводи, що використовуються для транспортування рідин схильних до електризації (спирти, бензин, гас тощо), мають бути обладнані заземленим металевим оплетенням для відведення зарядів статичної електрики.

Штуцери та фітинги подібних труб також повинні виготовлятися з електропровідних кольорових металів і надійно приєднуватися до заземленого оплетення, утворюючи єдину систему для відводу потенційно небезпечних зарядів.

Такі заходи дозволять уникнути накопичення статики при транспортуванні пожежонебезпечних рідин та попередити можливі розряди через вибухонебезпечні пари.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Було проведено дослідження функціонування ключових компонентів комбінованої системи електропостачання на базі відновлюваного джерела енергії – сонячного випромінювання.

2. Проведений здійснено аналіз графіків електроспоживання об’єкта електропостачання в віддаленій від електромереж місцевості та виконана оцінка добового споживання ним електроенергії.

3. Використовуючи дані про надходження сонячної інсоляції та споживання електроенергії було обґрунтовано склад фотоелектричної системи. Встановлено необхідну кількість сонячних панелей та схему їх з’єднання. Підібрано контролер заряду акумуляторних батарей та інвертор для перетворення постійного струму на змінний.

4. На підставі розрахунків сонячної інсоляції по місяцям року та аналізу енергетичних місячних балансів визначено, що обрана кількість фотоелектричних панелей забезпечить необхідну потужність для електропостачання будинку протягом трьох місяців. У решту періоду функціонуватиме дизельна електростанція, а акумулятори працюватимуть в буферному режимі для задоволення пікових навантажень.

5. Базуючись на проведених розрахунках та аналізі функціонування запропонованої системи електроживлення, можна зробити наступні висновки:

- аналіз графіків електроспоживання будівлі та генерування електроенергії сонячними панелями за місяцями показує, що 12 панелей цілком здатні забезпечити стабільність та надійність електропостачання в літній період, водночас, у місяці з більшим навантаженням та меншою сонячною активністю їх потужності може бути недостатньо;

- у періоди з недостатнім генеруванням сонячних панелей необхідно задіяти дизельну електростанцію для компенсації нестачі електроенергії;

- акумулятори виконують буферну функцію, тим самим згладжують різкі зміни навантаження та дозволяють реалізувати безперервність електроживлення при переключенні навантажень на живлення від дизельного генератора, тобто вони взаємодіють як із сонячними панелями, так і з дизель-генератором.

- завдяки буферній роботі акумуляторів спільно з дизельним генератором вдалося зменшити необхідну номінальну потужність останнього у 2 рази – з 4000 Вт до 2000 Вт, що позитивно позначиться на вартості системи електроживлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» Режим доступу: http://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf

2. Закон України «Про електроенергетику». Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80

3. Державне агенство з енергоефективності та енергозбереження України. Офіційний сайт. Режим доступу: http://saee.gov.ua/uk/news/2450

4. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources ED2. – New York, Taylor & Francis, 2012. – 601 P.

5. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник / С.О. Кудря. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.

6. Щербина О. Енергія для всіх. Технічний довідник з енергоощадності та відновлюваних джерел енергії. – Ужгород, 2007. – 336 с.

7. Blaabjerg F. Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems / F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, A.V. Timbus // IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.53, no.5, pp.1398-1409, Oct. 2006.

8. Blaabjerg F. Power electronics as an enabling technology for renewable energy integration / F. Blaabjerg and Z. Chen // J. Power Electron., vol. 3, no. 2, pp. 81–89, Apr. 2003

9. Blaabjerg F. Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems / F. Blaabjerg F, Z. Chen, S. Kjaer // IEEE Trans. Power Electron., vol. 19, no. 5, pp. 1184–1194, Sep. 2004

10. Blaabjerg F., Liserre M., Ma K. Power Electronics Converters for Wind Turbine Systems / F. Blaabjerg, M. Liserre, K. Ma // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2012. – Vol. 48. – No.2. – P. 708–719.

11. Power electronics and reliability in renewable energy systems. / F. Blaabjerg, K. Ma, D. Zhou

12. Вибір системи електропостачання з відновлювальними джерелами / Т.Г. Сабірзянов, П.Г. Плєшков, М.В. Кубкін, В.П Солдатенко / // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. Вип. 117. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Харків: ХНТУСГ, 2011 – С. 17–19.

13. Математична модель фотобатареї як джерела електричної енергії / Т. Г. Сабірзянов, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, О.А. Козловський // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 25, ч. 1. – С. 331-335.

14. Duffie J. Solar engineering of thermal processes / J. Duffie, W. Beckman. – John Wiley & Sons, Inc, New York – 1980.

15. Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. Техн. наук, М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист. //Алгоритм визначення густини потоку сонячного випромінювання на довільно-орієнтовану поверхню. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація., 2012, вип. 25, ч.І, стр. 303-312;

16. JA Solar. Режим доступу: https://ja-solar.com.ua/#kompaniya;

17. НПАОП 40.1-1.21-98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». К.: Державний комітет України з нагляду за охороною праці, 1998. – 180 с.;

18. Дизельний генератор Кентавр КДГ283ЕК. Режим доступу: https://storgom.ua/ua/product/dizelnyi-generator-kentavr-kdg-283ek.html#properties-tab

Додаток А

Технічні характеристики інвертора Outback Power VFX3048E

Специфікація	VFX3048E
Вхід DC	24/48/96 У DC
Номінальна потужність за 25С	3000 ВА
Напруга за АС/частота	230 В/50 Гц
Вихід за АС при 25С	13,0 А АС
Власне споживання з навантаженням	~23 Вт
Власне споживання без навантаження	~6 Вт
ККД	93%
Гармонічні спотворення норм. номінал	2%
Гармонічні спотворення норм. мак.	5%
Діапазон напруги по виходу АС	2%
Пікова сила струму Пік	35 А АС
RMS	25 А АС
Макс. вихідна потужність АС Пік	5750 ВА
5с	4800 ВА
30 хв	3300 ВА
Макс. навантаження по входу АС	30 А
Діапазон напруги входу АС	160 - 300 В
Діапазон частоти входу АС	44-56 Гц
Діапазон напруги входу DC	42,0-68,0 В
Сила струму заряду батарей	210 А DC
Рекомендований автомат DC	ODBC-250