

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: РОЗРОБКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНО-ДИЗЕЛЬНОЇ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ КОТЕДЖНОГО БУДИНКУ

Виконав студент VI курсу, групи ЕМм-61
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

_____ (підпис)

Демчук О.І.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник

_____ (підпис)

Козак К.М.
_____ (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

_____ (підпис)

Вакуленко О.О.
_____ (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

Тарасенко М.Г.
_____ (прізвище та ініціали)

Рецензент

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 75 сторінок, 19 аркушів презентації, 28 ілюстрацій, 28 таблиць та 12 використаних першоджерел.

Об'єкт дослідження – процеси електропостачання від дизель-генератора та фотоелектростанції.

Предмет дослідження – сонячна фотоелектростанція для живлення будинку.

Метою кваліфікаційної роботи є: підвищення надійності електропостачання віддаленого від електричних мереж будинку шляхом розробки проекту фотоелектростанції з накопичувачами електричної енергії та дизель-генератором.

У роботі розглянуто проведено аналіз системи електропостачання на основі сонячних панелей та об'єкту електропостачання.

Відповідно до даних про поступлення сонячної енергії та споживання електроенергії, обґрунтовано склад фотоелектричної системи.

Проведено розрахунок сонячної інсоляції та аналізу енергетичного балансу за місяцями. Розраховано та вибрано сонячні панелі, контролер заряду, акумуляторні батареї, інвертор та дизель-генератор.

Проведено аналіз роботи запропонованої системи електропостачання у різні пори року.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ, КОНТРОЛЕР ЗАРЯДУ, АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ, ІНВЕРТОР ТА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Розвиток сонячної енергетики в світі	9
1.2 Фотоелектричні перетворювачі енергії	12
1.3 Основні переваги і недоліки фотоелектричних систем	15
1.4 Акумулявання енергії від фотоелектричних модулів у акумуляторних батареях	16
1.5 Висновки до розділу	17
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Аналіз споживання електроенергії	18
2.2 Опис і вибір сонячної панелі	21
2.3 Розрахунок і вибір контролерів заряду/розряду	26
2.4 Вибір інвертора	28
2.5 Висновки до розділу	29
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	30
3.1 Розрахунок сонячної інсоляції та аналіз енергетичного балансу за місяцями	30
3.2 Вибір і розрахунок акумуляторних батарей	49
3.3 Імовірність безвідмовної роботи акумуляторних батарей	55
3.4 Аналіз заряду/розряду АБ без ДЕС при пікових навантаженнях	55
3.5 Вибір і розрахунок витрати ДЕС	61
3.6 Висновки до розділу	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	66
4.1 Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею	66

4.2 Фізичні основи електробезпеки.....	68
4.3 Надзвичайні ситуації природного характеру.....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74

ВСТУП

Актуальність теми. Технології ВДЕ можуть знайти широке застосування на дачах та літніх заміських будинках. Близько 70 % українського населення займається індивідуальним садівництвом та фермерством. Більшість населення мають власні сільські будинки з ділянками землі, на яких вони вирощують овочі та фрукти для себе і на продаж. Для багатьох сімей з низьким доходом їх заміські будинки є єдиним місцем для відпустки. Багато сімей проводять на своїх дачах практично всі вихідні з квітня по жовтень. Деякі дачі та господарства не мають під'єднання електричної мережі і являють собою потенційний ринок збуту технологій децентралізованого виробництва електроенергії.

Населені пункти, промисловість і домашні господарства у всьому світі все частіше потребують надійної, доступної за ціною і екологічної енергії для задоволення попиту на електрику, тепло, холод і мобільність. Відновлювана енергія може внести істотний внесок в розвиток цієї галузі і задовольнити цю потребу населення, як в приватних домашніх господарствах, так і в сфері промисловості, транспорту і постачання цілих населених пунктів.

Гарантоване автономне енергопостачання споживачів малої та середньої потужності може бути організоване за рахунок використання сонячних фотоелектричних станцій (СФЕС). Однак при розробці схем енергопостачання на основі СФЕС необхідно враховувати сезонну та добову нерівномірність надходження сонячної енергії для різних регіонів, а також необхідність використання накопичувачів енергії та джерел струму для покриття дефіциту електроенергії у темну пору доби. Найбільш зручними є електрохімічні накопичувачі: акумуляторні батареї (АБ), а також водневі накопичувачі з використанням електрохімічних перетворювачів – паливних елементів (ТЕ) та електролізних установок (ЕП).

Саме тому актуальними є дослідження, направлені на виявлення надійних систем електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії, а саме фотоелектричних станцій.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є: підвищення надійності електропостачання віддаленого від електричних мереж будинку шляхом розробки проекту фотоелектростанції з накопичувачами електричної енергії та дизель-генератором.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проведено аналіз роботи системи електропостачання на основі сонячних панелей.
2. Проведено аналіз об'єкту електропостачання.
3. Відповідно до даних про поступлення сонячної енергії та споживання електроенергії, обґрунтувати склад фотоелектричної системи.
4. Провести розрахунок сонячної інсоляції та аналізу енергетичного балансу за місяцями.
5. Розрахувати та вибрати сонячні панелі, контролер заряду, акумуляторні батареї, інвертор та дизель-генератор.
6. Провести аналіз роботи запропонованої системи електропостачання у різні пори року.

Об'єкт дослідження – процеси електропостачання від дизельгенератора та фотоелектростанції.

Предмет дослідження – сонячна фотоелектростанція для живлення будинку.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дістала подальший розвиток розробка та впровадження технічних заходів для підвищення забезпечення надійності роботи електроспоживачів.

Практичне значення отриманих результатів.

Встановлено, що якщо акумулятори працюють у буферному режимі як із сонячними панелями так і з дизель-генератором підвищується надійність системи електропостачання та є можливість використовувати дизель-генератор

меншої номінальної потужності.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 листопада 2021 року. ТНТУ [1]

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (12 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 75 сторінок, 28 таблиць, 28 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Розвиток сонячної енергетики в світі

Китай і Японія зараз займають 50 % світового ринку сонячної енергетики. Так, наприклад, Китай отримав 35 ГВт енергії від сонячних установок в 2016 році. Такий намір стимулюється необхідністю знизити забруднення навколишнього середовища внаслідок спалювання викопного палива при все зростаючих потребах у енергії.

Японська Асоціація фотоелектричної енергії (Photovoltaic Energy Association) пророкує, що до 2030 року потужність сонячних станцій в країні досягне 100 ГВт. Індія планує збільшити потужність сонячних установок з 2 ГВт до 20 ГВт в середньостроковій перспективі. Останні тенденції в Індії показують, що вартість сонячної енергії досягла рівня 100 доларів за мегават, що можна порівняти з енергією, що отримується з імпортного вугілля або газу.[2]

Автономні сонячні установки і мікро-мережі розвиваються в Африці, де тільки 30 відсотків території, розташованої на південь від Сахари, мають доступ до джерел енергії. Африка, як і інші регіони з потужною добувною промисловістю, розвивають сонячну енергетику як альтернативу дизельним електростанціям або як резервне джерело для ненадійних електромереж. Потрібно мати на увазі, що ціна кіловата сонячної енергії зменшується вдвічі кожні 2,5 року і зменшилася в 100 разів з 1977 року, причому не видно жодних причин для зміни цього тренда в майбутньому.

Розрахунки показують, що 1 % наявних в світі пустель можуть забезпечити генерування всієї енергії, яку зараз використовує світ, а 25 % світових пустель можуть поставляти в 25 разів більше енергії, ніж ми зараз використовуємо.

Сьогодні розвиток світової цивілізації супроводжується значним збільшенням енергоспоживання, причому лідерами зростання стають країни,

що розвиваються. Досить сказати, що у 2000 р. енергоспоживання Китаю становило лише половину від енергоспоживання США, то 2009 року [2] Китай вже випередив США за цим показником. Збільшення чисельності населення Землі, розвиток промисловості та зростання рівня життя населення супроводжується суттєвим зростанням енергоспоживання. З кожним роком підприємства, що генерують електроенергію, вимагають для себе все більше вуглеводневого палива, запаси якого з кожним десятиліттям виснажуються, а видобуток його вимагає витрат дедалі більшої енергії та матеріальних витрат. Активно споживані природні запаси вуглеводнів, які ще недавно здавалися невичерпними, стають важкодоступними. Головне, що відновити їх вже неможливо, як і неможливо уявити хімічну промисловість майбутнього без вуглеводневої сировини.

Сьогодні основна частина світового енергобалансу покривається традиційними викопними органічними паливами – 78 % (вугілля, газ, нафта) і ядерною енергетикою близько 3 %. інші ВДЕ дещо більше 5% [3].

Як ліквідувати дефіцит у генерації електроенергії, які енергетичні технології розвивати? Сьогодні у світі вироблено основні напрямки розвитку енергетики. В першу чергу, це суттєвіше, ніж сьогодні, використання ресурсів відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) сонця, вітру, води та біоресурсів [4].

Відповідно до прогнозу Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) до 2030 р. на відновлювані джерела енергії припадатиме 29 % виробництва електроенергії та 7 % виробництва моторного палива [4]. У тих регіонах, де це неможливо через низький потенціал ВДЕ, необхідно розвивати атомну енергетику або раціонально споживати наявні ресурси органічної сировини.

Певні успіхи у цьому напрямі вже є. У той час, як традиційна енергетика, що базується на викопних органічних енергоресурсах, з початку XXI століття в середньому у світі зростала з темпом всього 1-1,5 % в рік, нові технології ВДЕ розвиваються із середніми темпами в десятки відсотків на рік [3].

Найбільший інтерес до ВДЕ супроводжувався зростанням фінансування з боку державних бюджетів і приватних компаній, виявлений країнами, що

перебувають у сильній залежності від імпорту традиційних енергоресурсів (країни Європейського Союзу, США, Японія пізніше за Китай та ін.).

У відносно короткі терміни багато енергетичних технологій ВДЕ наблизилися до порога конкурентоспроможності з традиційними технологіями, що базуються на традиційних органічних енергоресурсах. Наприклад, вартість енергії та біопалива, вироблених за допомогою вітроустановок, фотоелектричних перетворювачів, сонячних, теплових, геотермальних та біоенергетичних установок, вдалося знизити в рази [5].

Освоєння ресурсів ВДЕ розвивається нерівномірно [6]. Гідроенергетика була піонером використання ВДЕ, але сьогодні вже не розвивається такими темпами. Потенціал великих річок у світі локалізований, крім того, сьогодні його освоєно вже приблизно на третину. Неосвоєна його частина зосереджена переважно в країнах, що розвиваються, і подальший розвиток великої гідроенергетики обмежено, в тому числі екологічними обмеженнями (затоплення великих територій і т.п.).

Споживання традиційної біомаси у світі неухильно скорочується у зв'язку з переходом на досконаліші технології теплопостачання та приготування їжі.

Країни-лідери з інвестицій у ВДЕ – це Китай, США, Німеччина, Італія та Індія. Середні річні темпи зростання потужності енергоустановок на ВДЕ показують, що лідерами є технології фотоелектричного перетворення енергії та геліоустановки, тобто енергоустановки, що використовують енергію сонця. Тому зрозуміло, що найбільші інвестиції відзначені у сонячній енергетиці – 140 млрд. доларів США, а також у вітроенергетиці – понад 80 млрд. доларів США. У сонячній енергетиці інвестиції спрямовані насамперед створення дахових фотоелектричних установок у Німеччині, Італії та Великобританії, а також на будівництво декількох сонячних теплових електростанцій в Іспанії та в США.

1.2 Фотоелектричні перетворювачі енергії

Сонячна енергетика (Solar power engineering) - область енергетики, пов'язана з перетворенням сонячної енергії на електричну та теплову енергію.

Фотоелектричний сонячний елемент (ФСЕ) (рис. 1.1) – сонячний елемент на основі фотоелектричного ефекту. Сонячний елемент є первинним перетворювачем фотоелектричної системи, який перетворює світлову енергію Сонця безпосередньо на електричну енергію. Тому енергоустановки на основі ФСЕ є найзручнішими для автономного енергопостачання [7].

Фотоелектричний сонячний елемент може бути наступних типів: монокристалічний, полікристалічний та аморфний (тонкоплівковий). Моно- та полікристалічні елементи мають майже однаковий ККД (13÷20 %), який майже вдвічі вищий, ніж у сонячних елементів, виготовлених з дешевого аморфного кремнію.

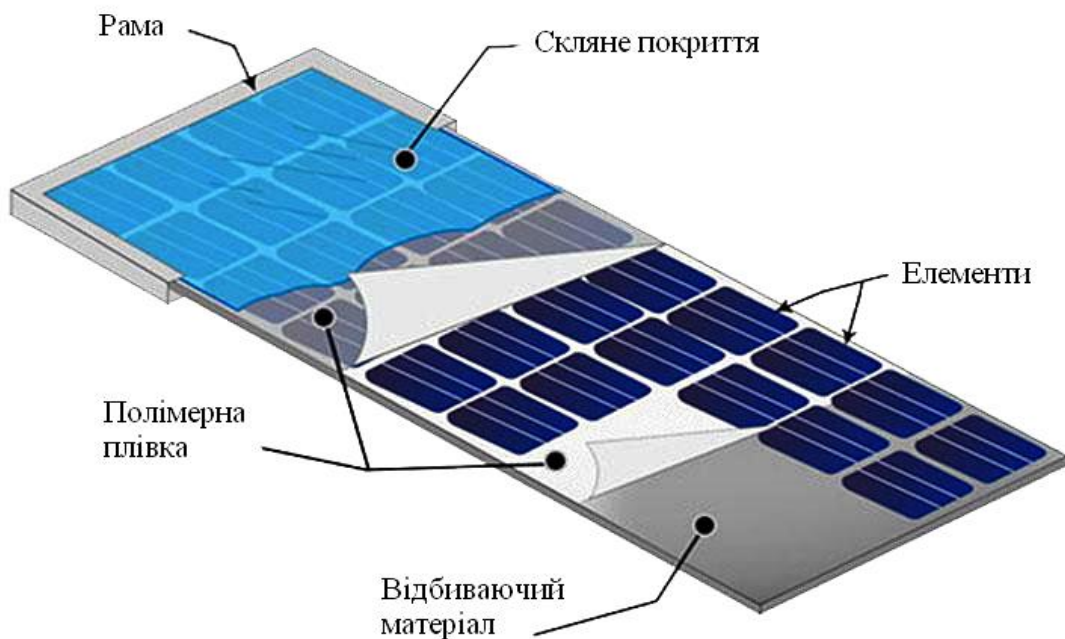


Рисунок 1.1 – Фотоелектричний модуль (батарея), складена із елементів

Сонячні елементи (СЕ) виготовляють певний типорозмір. Вони можуть бути круглими (діаметром 100; 125 і 150 мм) або квадратними (82 x 82; 100 x

100 або 125 x 125 мм). Потужність елементів становить $0,9\div 2,7$ Вт [8]. У таблиці 1.1 наведено основні характеристики одиничного сонячного елемента.

Фотоелектричний модуль (ФМ) - пристрій, що конструктивно поєднує електрично з'єднані між собою фотоелектричні сонячні елементи і мають вихідні клеми для підключення зовнішнього споживача.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики одиничного сонячного елемента Ø150

Розмір, мм	Ø150 мм
Струм короткого замикання $I_{кз}$, А	$4.50\div 5.32$
Напруга холостого ходу $U_{хх}$, В	$0.57\div 0.61$
Струм максимальної потужності I_p , А	$4.3\div 5.1$
Напруга максимальної потужності U_p , В	$0.46\div 0.50$
Ефективність, %	$13\div 16$

Потужність таких модулів становить від 10 до 300 Вт. У паспорті ФМ наводиться значення потужності, що генерується ним, при стандартних умовах (Standart Test Conditions), тобто, при сонячній радіації 1000 Вт/м^2 , температурі $+25^\circ\text{C}$ та сонячному спектрі на широті 45° [9]. На практиці сонячного випромінювання, що потрапляє на сонячний модуль, залежить від багатьох факторів, таких як його місцезнаходження, час доби, температура, кут нахилу модуля по відношенню до Сонця. Основною характеристикою як сонячного фотоелектричного модуля, так і окремого сонячного елемента є вольт-амперна характеристика (ВАХ). Вольт-амперна характеристика сонячного елемента (рис.1.2) – це залежність між струмом навантаження і напругою на клеммах сонячного фотоелектричного елемента при постійних значеннях температури сонячних елементів і інтенсивності сонячного випромінювання, що надходить.

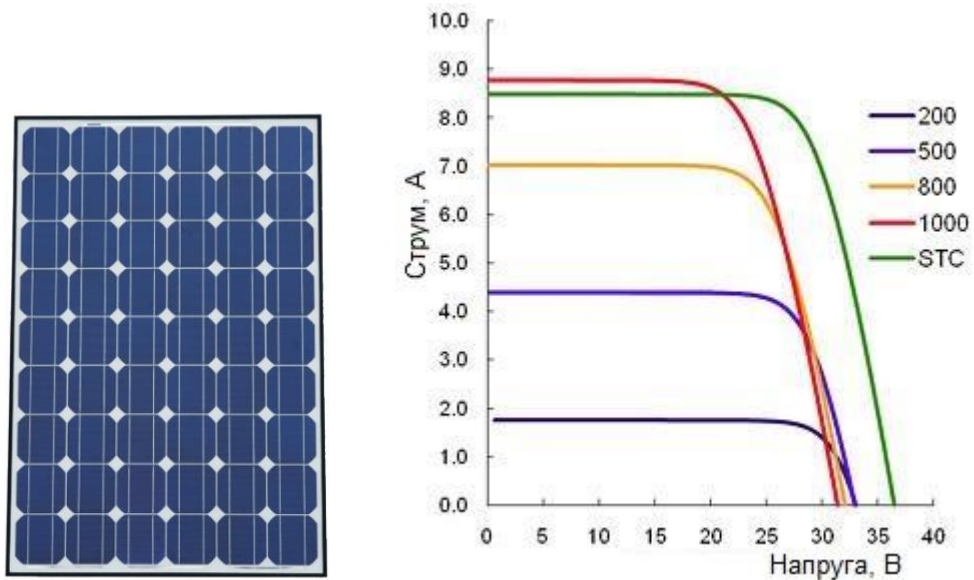


Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд та ВАХ сонячного модуля номінальною потужністю 200 Вт

Напруга, що відповідає максимальній потужності, називається напругою максимальної потужності (робочою напругою - U_p), а відповідний струм - струмом максимальної потужності (робочим струмом - I_p). Пікова потужність сонячного елемента – максимальна потужність фотоелектричного сонячного елемента за стандартних умов випробувань. ККД сонячного модуля визначається як відношення максимальної потужності модуля до загальної потужності випромінювання, що падає на його поверхню за стандартних умов, і становить від 13÷18 %, а в перспективних ФМ досягає 40 %.

З метою отримання необхідної потужності та робочої напруги модулі з'єднують послідовно або паралельно. Сонячна фотоелектрична батарея (СФБ) – це з'єднані між собою електрично та механічно фотоелектричні модулі. Потужність сонячної батареї завжди нижча, ніж сума потужностей модулів - через втрати, обумовлені різницею в характеристиках однотипних модулів (втрати на неузгодженість). При послідовному з'єднанні десяти модулів з розкидом характеристик 10 % втрати становлять приблизно 6 %, а при розкиданні 5 % знижуються до 2 %. На основі сонячних фотоелектричних батарей будують сонячні фотоелектричні станції (СФЕС) [10].

1.3 Основні переваги і недоліки фотоелектричних систем

До основних переваг фотоелектричних систем можна віднести:

1. Відсутність рухомих частин, простоту установки, невичерпність енергетичного ресурсу, мінімальну потребу в догляді, відсутність шумів і вібрацій.
2. Вільне застосування в місцях відсутності централізованих електророзподільних мереж.
3. Швидка окупність сонячної батареї. Протягом всього терміну експлуатації генерується значно більше енергії, ніж було витрачено для будівництва електростанції.
4. Фотоелектричні елементи сонячної електростанції можна розмістити на будь-якій порожній площі, в тому числі і на дахах і стінах будинків, що, безумовно, істотно знижує її собівартість.
5. Немає необхідності використовувати будь-який вид палива.
6. У складі електростанції присутня тільки невелика частина рухомих частин, тому ефект зносу практично відсутній. Внаслідок цього сонячна електростанція здатна без значного ремонту рухомих частин пропрацювати кілька десятиліть, крім звичайної періодичної очистки поверхні сонячних панелей.
7. Сонячна електростанція не вимагає трудомісткого технічного обслуговування для підтримки її в робочому стані.
8. Можливість підключення до «зеленого» тарифу (спеціальний тариф, за яким закупається електрична енергія, генерована на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії).

1.4 Акумулявання енергії від фотоелектричних модулів у акумуляторних батареях

Акумуляторні батареї (АБ) є одним із найбільш економічно ефективних та зручних накопичувачів електричної енергії [7,8]. Акумулятори безшумні, при своїй роботі не забруднюють навколишнє середовище. Ємність запасеної в них енергії може бути збільшена за рахунок комутації окремих батарей. Вони можуть бути розташовані практично в будь-якому місці та встановлені відносно швидко. Заряджання акумулятора не є швидким процесом і за тривалістю, як правило, збігається із тривалістю розряду. Швидке реагування на підключення до навантаження є важливою перевагою АБ, деякі типи батарей можуть реагувати на зміни навантаження протягом 20 мілісекунд. Це визначило їхнє використання як основних резервних джерел живлення.

Батареї, однак, мають недоліки. Процес циклу заряду-розряду, як і температура в батареї повинні бути під контролем, оскільки вони впливають термін служби батареї. Іншою серйозною проблемою є життєвий цикл батареї, тобто кількість циклів заряду/розряду, що залежить від глибини розряду АБ. Якщо глибина розряду велика, життєвий цикл батареї знижується. Як очевидно з рис. 1.3, термін служби батареї Delta GS12-180 значно знижується зі збільшенням глибини розряду АБ [8].

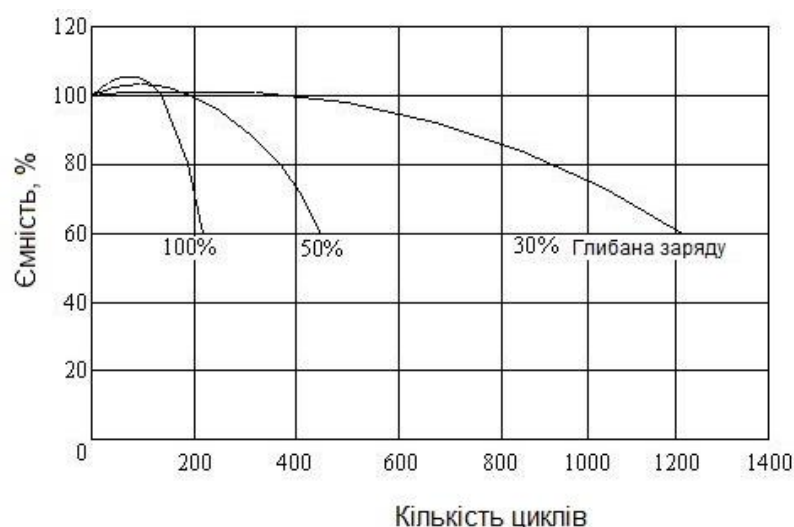


Рисунок 1.3 - Життєвий цикл кислотної герметизованої акумуляторної гелевої батареї Delta GS12-180

1.5 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз історичного та сучасного стану електроенергетики у світі в розрізі зростання використання нетрадиційних джерел енергії.
2. Розгорнуто питання фотоелектричних систем, їх структури та основних характеристик.
3. Проведено аналіз режиму роботи акумуляторних батарей, які використовуються для накопичення електричної енергії, яку генерують фотоелектричні модулі. Встановлено, що термін служби батареї значно знижується зі збільшенням глибини її розряду.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз споживання електроенергії

Для початку необхідно виявити потенціал сонячної енергії в рік. Середній потенціал за рік в с. Фальків Чернівецької обл. становить $1050 \text{кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$.

Проаналізуємо добове споживання електроенергії за кожну годину для автономної фотоелектричної установки для житлового будинку, в якому проживає 4 особи, розрахунки наведені в таблицях 2.1,2.2.

Таблиця 2.1 - Добове споживання електроенергії у житловому будинку (з 1 години ночі до 12 години дня)

Споживачі	Споживана потужність (Вт)	Кільк.	Годинна споживана енергія (кВт ·)											
			W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12
Пральна машина		1												1,5
Електролампа	20	8							0,16	0,16				0,16
ТБ	100	1							0,1	0,1	0,1	0,1		0,1
Холодильник	130	1	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Електроплита	1000	1							1					
Комп'ютер	300	1							0,3					
Водяний насос	1000	1												
		W	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,69	0,39	0,23	0,23	0,13	1,89

На рисунках 8, 9 графічно представлені дані таблиці 2.1,2.2, де наочно видно, у який час доби є пікове споживання електроенергії.

Таблиця 2.2 - Добове споживання електроенергії у житловому будинку
(з 13 годин до 24 годин)

Споживачі	Споживана потужність (Вт)	Кільк.	Годинна споживана енергія (кВт · год)											
			W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24
Пральна машина	1500	1									1,5			
Електролам	20	8						0,16	0,16		0,16	0,16	0,16	
ТБ	100	1							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Холодильни	130	1	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Електропли	1000	1						1						
Комп'ютер	300	1								0,3	0,3			
Водяний насос	1000	1								1				
$\Sigma W=12,3$		W	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,29	0,39	1,53	2,19	0,39	0,39	0,13

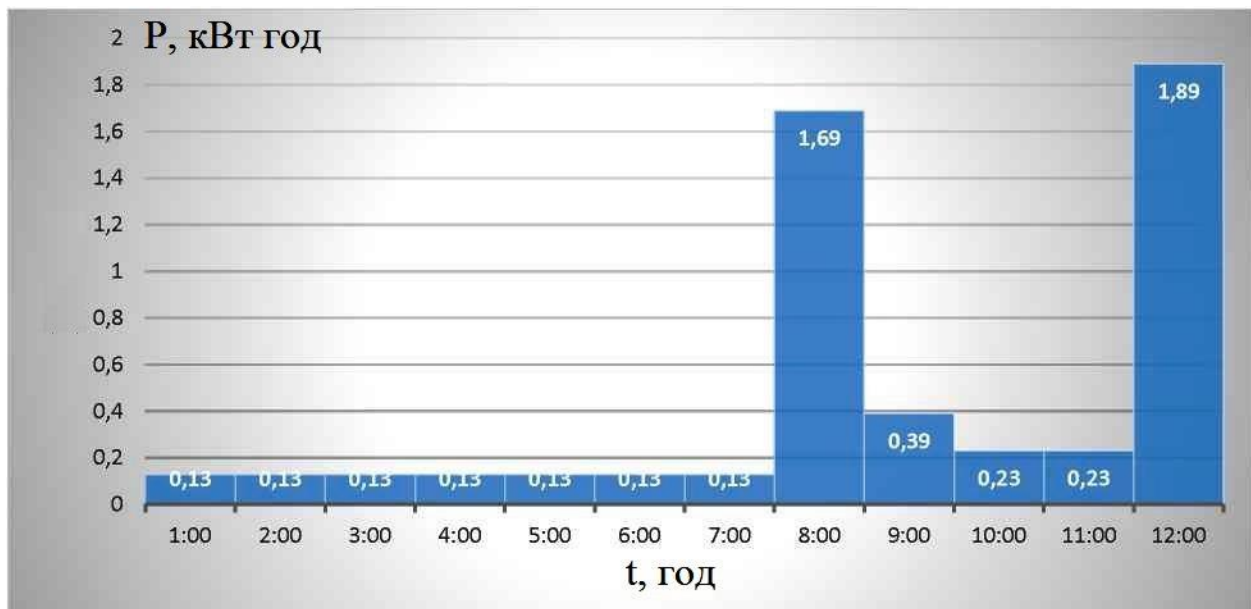


Рисунок 2.1- Електроспоживання протягом години з 1 до 12 згідно з даними
таблиці 2.1

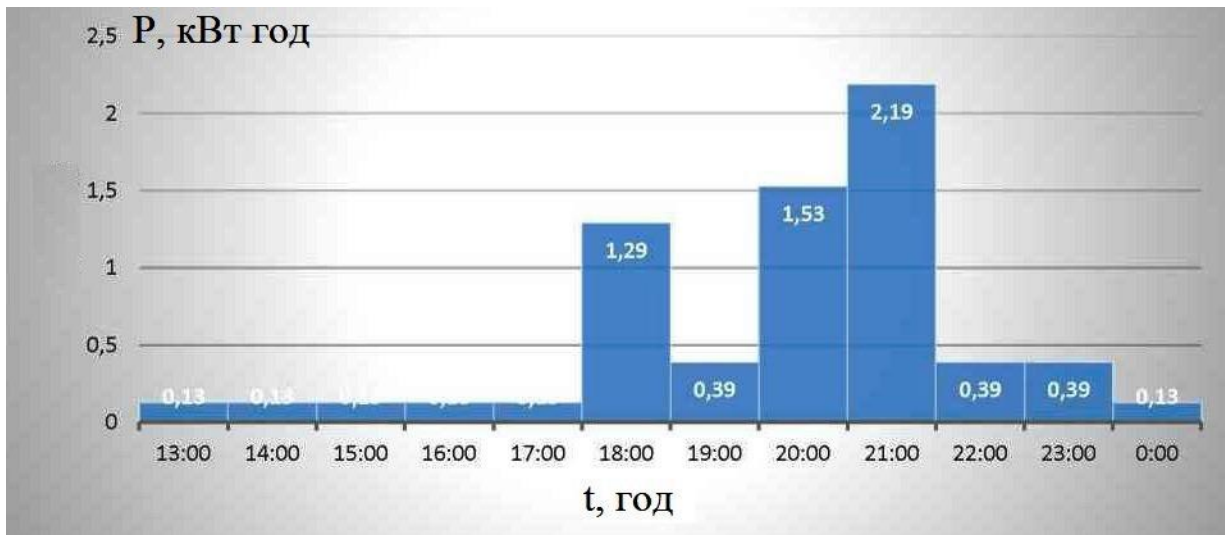


Рисунок 2.2 - Електроспоживання за годину з 13 до 24 години згідно з даними таблиці 2.2

Сумарна енергія за ніч:

$$\begin{aligned} \Sigma W_{ніч} &= W19 + W20 + W21 + W22 + W23 + W24 + W1 + W2 + W3 + W4 + W5 + W6 = & (2.1) \\ &= 0,39 + 1,53 + 2,19 + 0,39 + 0,39 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 = \\ &= 5,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Сумарна енергія за світловий день:

$$\begin{aligned} \Sigma W_{день} &= W7 + W8 + W9 + W10 + W11 + W12 + W13 + W14 + W15 + W16 + W17 + W18 & (2.2) \\ &= 0,13 + 1,69 + 0,39 + 0,23 + 0,23 + 1,89 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 1,29 = \\ &= 6,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Сумарне споживання за добу:

$$\Sigma W_{доба} = \Sigma W_{ніч} + \Sigma W_{день} = 5,8 + 6,5 = 12,3 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.3)$$

Середня потужність світловий день:

$$P_{ср. день} = \Sigma W_{день} : T_{день} = 6,5 : 12 = 0,54 \text{ кВт} \quad (2.4)$$

Середня потужність за ніч:

$$P_{\text{ср.ніч}} = \Sigma W_{\text{ніч}} \cdot T_{\text{ніч}} = 5,8 : 12 = 0,48 \text{ кВт}. \quad (2.5)$$

Для розробки варіантів структурної схеми електропостачання споживача оцінимо потенціал поновлюваної енергетики заданого регіону.

У таблиці 2.3 відображено оцінку потенціалу енергії сонця та зазначено сумарну (пряму та розсіяну) сонячну інсоляцію на горизонтальну поверхню в умовах хмарності, кВт·год/м². [5]

Таблиця 2.3 - Середні сумарні значення сонячної інсоляції

Населений пункт	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
МДж/м ²	63	138	339	447	523	578	615	440	264	121	63	38
кВт · год /м ²	17,5	38,3	94,2	124,2	145,3	160,6	170,8	122,2	73,3	33,6	17,5	10,6

Проаналізувавши отримані дані можна спроектувати ФЕУ у Чернівецькій обл., оскільки маємо дані сонячної інсоляції у цьому регіоні та споживання заміського будинку, для якого і будуть зроблені розрахунки.

Оскільки завданням проектування є розробка автономної сонячної електростанції, будуть зроблені розрахунки та вибір обладнання для фотодизельної електростанції, яка у свою чергу працюватиме в пікові години споживання будинку, який був розрахований у таблицях 2.1,2.2.

2.2 Опис і вибір сонячної панелі

Щоб визначитися з вибором сонячних панелей, розглянемо всі їх види. Залежно від цього, як організовані атоми кремнію в кристалі, сонячні елементи діляться на види: [6]

- Сонячні елементи з монокристалічного кремнію

- Сонячні елементи з полікристалічного кремнію
- Сонячні елементи з аморфного кремнію

Сонячні модулі з монокристалічного кремнію

ККД сонячної батареї на основі монокристалічного кремнію становить 15-20 %. Монокристалічні елементи мають найвищу ефективність перетворення енергії. Основний матеріал – вкрай чистий кремній, з якого виготовлені монокристалічні сонячні панелі, добре освоєний у галузі виробництва напівпровідників.

ККД сонячної батареї на основі полікристалічного кремнію становить 10-14 %. Полікристалічний кремній розвивається, коли кремнієвий розплав охолоджується повільно і перебуває під контролем. При виробництві полікристалічних панелей операція витягування опускається, воно менш енергоємне та значно дешевше. Однак усередині кристала полікристалічного кремнію є області, відокремлені зернистими межами, що викликають меншу ефективність елементів.

Сонячні модулі з аморфного кремнію

ККД сонячної батареї на основі аморфного кремнію становить 5-6 %.

У зв'язку з цим вибираємо сонячну панель на основі монокристалічного кремнію, оскільки їх ККД становить близько 20 %, а саме PERCIUM JAM6(L) 60-280/PR, JASolar (рис.2.3).



Рисунок 10 - Сонячна панель PERCIUM JAM6(L) 60-280/PR, JASolar.

Номинальна потужність, макс. - 280 Вт.

Оптимальна робоча напруга, макс. - 24 В.

Напруга холостого ходу - 28 В.

Оптимальний робочий струм, - 7,67 А.

Струм короткого замикання - 8,29 А.

Максимальна напруга системи – 1000 В.

За даними про сумарну сонячну радіацію та потужність обраної сонячної панелі, розраховано, яка кількість енергії генеруватиметься подібним модулем у даному регіоні за кожен місяць за формулою

$$W_M = S_M \cdot E \cdot k \cdot \eta,$$

де S_M – площа СП, Вт;

E – значення інсоляції за вибраний період, кВт год/м²;

η - ККД СП;

k - коефіцієнт, що враховує поправку на втрати потужності сонячних елементів при нагріванні на сонці, а також похилого падіння променів на поверхню модулів протягом року.

Величина k приймається за 0,5 влітку та 0,7 у зимовий період. Різниця в його значеннях влітку та взимку обумовлена меншим нагріванням елементів у зимовий період.

Необхідна кількість СП для покриття повної потреби електричної енергії за місяць знаходиться за такою формулою (2.6).

$$N = \frac{W_{mic}}{W_M}, \text{шт.} \quad (2.6)$$

Результати всіх наведених вище розрахунків зведені в таблицю 2.4.

Кількість вибраних сонячних панелей таблиці 2.4 округляється до найближчого більшого цілого значення.

При аналізі таблиці 2.4 видно, що найменше панелей для повного

електропостачання будинку цілий рік становить 124 сонячні панелі. Однак, для повного цілорічного електропостачання котеджу з економічної точки зору доцільніше встановлення 12 сонячних панелі та ДЕС.

Таблиця 2.4 - Вибір кількості сонячних панелей

Місяць	$W_{\text{потр}}$, кВт·год	E , кВт·год/м ²	$W_{\text{м}}$, кВт·год	N, шт
Січень	412,3	17,5	5,94125	70
Лютий	377	38,3	13,00285	29
Березень	368,9	94,2	31,9809	12
Квітень	330	124,2	42,1659	8
Травень	319,3	145,3	35,23525	10
Червень	279	160,6	38,9455	8
Липень	257,3	170,8	41,419	7
Серпень	249	122,2	29,6335	9
Вересень	387,5	73,3	17,77525	22
Жовтень	396,8	33,6	8,148	49
Листопад	399	17,5	5,94125	68
Грудень	443,3	10,6	3,5987	94

$W_{\text{потр}}$ - середнє споживання енергії на рік (зимово-осінній період споживання > весняно-літнього споживання)

Завдяки сонячному калькулятору [7] можна побачити генерування панелей на вибраному об'єкті проектування: Чернівецька область, село Фальків, де встановлені сонячні панелі 280 Вт у кількості 94 шт. та 12 шт. під зенітним кутом 45° (0° - горизонтально, 90° - вертикально) і азимутним кутом 180° (180° - на південь, 0° - на північ) (рис. 2.4, 2.5 разом з навантаженням по місяцях), а також в таблиці 2.5 представлено середньомісячне генерування електроенергії панелями.

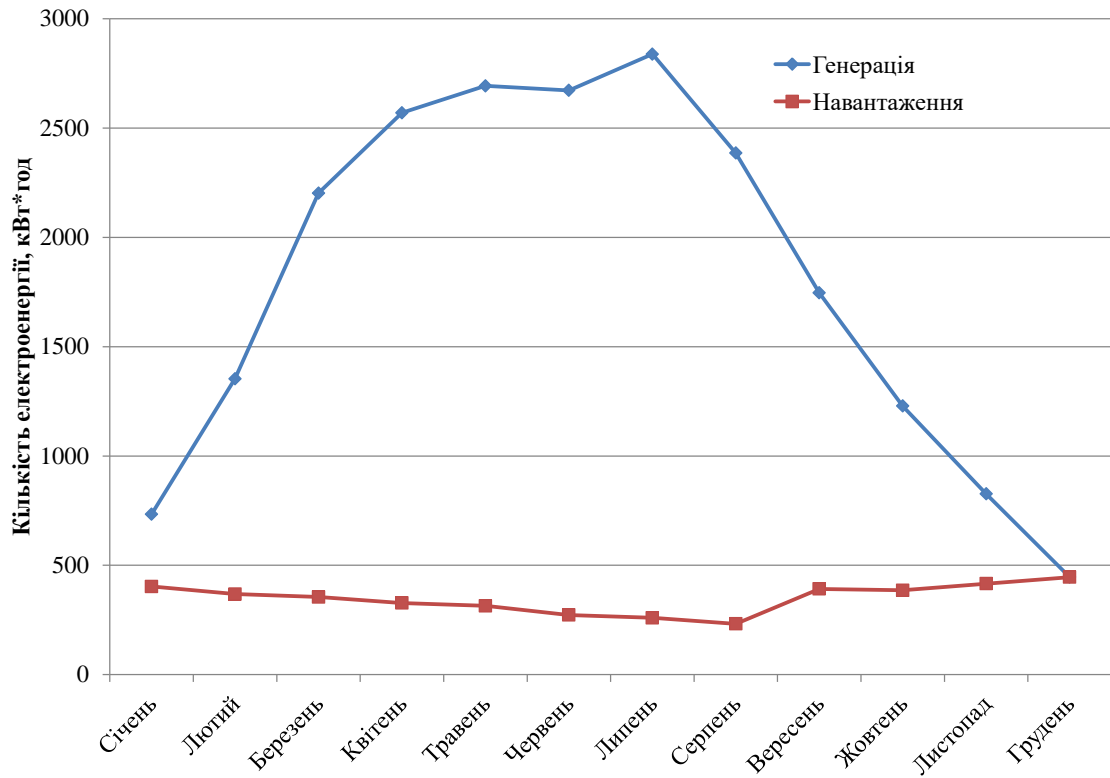


Рисунок 2.4 – Генерування електроенергії сонячними панелями для цілорічного забезпечення у кількості 94 шт

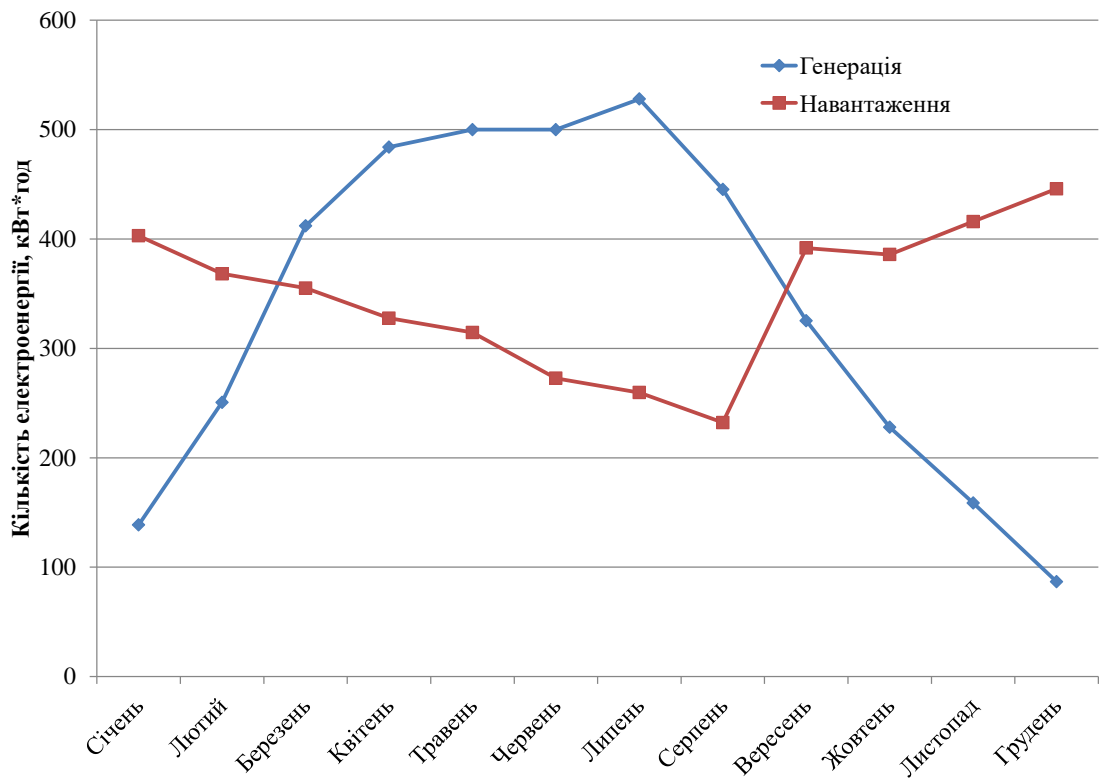


Рисунок 2.5 – Генерування електроенергії сонячними панелями для цілорічного забезпечення у кількості 12 шт

Таблиця 2.5 - Середньомісячне генерування електроенергії панелями

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
кВт·год/ міс	4,47	8,7	13,34	16,1	16,14	16,64	17,05	14,86	10,58	7,56	5,17	2,82

У розрахунках приймаємо 12 сонячних панелей.

2.3 Розрахунок і вибір контролерів заряду/розряду

Сонячний контролер заряду є важливим елементом сонячної електростанції, без якого неможлива коректна робота решти обладнання, зокрема, правильний заряд акумуляторних батарей. Тому при підборі контролера для нашої системи необхідно переконатись, що технічні дані виробу відповідають потребам вибраних сонячних елементів. Насамперед слід звернути увагу на вигляд контролерів та їх суттєві відмінності. [8]

Виділяють два найпопулярніші види контролерів:

- МРРТ контролер заряду. Це серйозний виріб, який значно впливає на кількість енергії, що акумулюється, збільшуючи її на 25-30 % в порівнянні з іншими контролерами заряду. Принцип роботи цього виробу ґрунтується на алгоритмі стеження за точкою максимальної потужності сонячного модуля. Незважаючи на велику початкову вартість цього виробу, термін окупності сонячної електростанції з ним значно коротший.

- PWM (ШИМ) контролер заряду рекомендують використовувати виключно у регіонах із дуже високою сонячною активністю. Це "економічна" версія із дуже простим алгоритмом. У регіонах з низькою сонячною активністю їх застосування не є доцільним і не економічним.

Оскільки наш регіон має низьку сонячну активність, доцільніше використовувати mppt-контролери.

При виборі контролера необхідно врахувати струм заряду і виходити з рівня потужності 4-х послідовно включених панелей по 280 Вт та їх напруги.

Оскільки панелі з'єднані послідовно, то $I_{\text{заряду}}$ розраховується за такою формулою:

$$I_{\text{заряду}} = \frac{P_{\text{СП}}}{U_{\text{ном.СП}}} = \frac{4 \cdot 280 \text{ Вт}}{4 \cdot 24 \text{ В}} = 11,7 \text{ А}; \quad (2.7)$$

де $P_{\text{сп}}$ – потужність сонячної панелі,

$U_{\text{ном.СП}}$ – номінальна напруга сонячної панелі.

А оскільки панелей усього 12, то вони підключатимуться по чотири панелі у три послідовні кола. Тобто струм буде рівний:

$$I_{\Sigma} = 3 \cdot I_{\text{заряду}} = 3 \cdot 11,7 = 35,1 \text{ А}. \quad (2.8)$$

Вибираємо сонячний MPPT контролер заряду SRNE MC2420N10 20А, у якого згідно параметрів: струм заряду становить 20 А і максимальна вхідна напруга 100 В, так як 4 СП будуть підключені до одного контролера, а у них напруга 24 В кожної панелі в сумі при послідовному з'єднанні дасть напругу 96 В.



Рисунок 2.6 - Сонячний MPPT контролер заряду SRNE MC2420N10 20А

2.4 Вибір інвертора

Інвертор вибирається з урахуванням напруги вибраних сонячних панелей, напруги акумуляторів та можливість згладженої роботи при пікових навантаженнях.

Серед усіх інверторів на ринку вибираємо синус-інвертор Outback Power VFX3048E з урахуванням їхньої довговічності та якості виконання.



Рисунок 2.7 - Інвертор Outback Power VFX3048E

Характеристики інвертора

Специфікація	VFX3048E
Вхід DC	24/48/96 V DC
Номинальна потужність за 25C	3000 VA
Напруга за AC/частота	230 V/50 Гц
Вихід за AC при 25C	13,0 A AC
Власне споживання з навантаженням	~23 Вт
Власне споживання без навантаження	~6 Вт
ККД	93%
Гармонічні спотворення норм. номінал	2%
Гармонічні спотворення норм. макс.	5%
Діапазон напруги по виходу AC	2%
Пікова сила струму Пік	35 A AC

RMS	25 A AC
Макс. вихідна потужність AC Пік	5750 ВА
5с	4800 ВА
30 хв	3300 ВА
Макс. навантаження по входу AC	30 A
Діапазон напруги входу AC	160 - 300 В
Діапазон частоти входу AC	44-56 Гц
Діапазон напруги входу DC	42,0-68,0 В
Сила струму заряду батарей	210 A DC
Рекомендований автомат DC	ODBC-250

2.5 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз об'єкту електропостачання, який знаходиться у віддаленому від електромереж місці. Проаналізовано добове споживання електроенергії.

2. Проведено оцінку потенціалу енергії сонця та розраховано сумарну (пряму та розсіяну) сонячну інсоляцію на горизонтальну поверхню в умовах хмарності.

3. Відповідно до даних про поступлення сонячної енергії та споживання електроенергії, обгрунтовано склад фотоелектричної системи. Визначено кількість сонячних панелей і їх спосіб підключення. Вибрано контролер заряду та інвертор.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок сонячної інсоляції та аналіз енергетичного балансу за місяцями

Розрахуємо сонячну інсоляцію по місяцях для того, щоб наочно представляти в які періоди СП будуть максимально ефективними, використовуючи дані з довідника, де зазначені суми прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню за середніх умов хмарності по годинниках, представлені в таблиці 3.1, яку переведемо в кВт·год і після цього зможемо отримати кількість електроенергії СП і реальне навантаження у літній період(липень). [9]

Таблиця 3.1 - Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню за середніх умов хмарності (липень)

t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	-	0,00	0,04	0,13	0,25	0,47	0,64	0,85	1,02	1,15	1,23	1,23
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	1,19	1,07	0,85	0,64	0,47	0,25	0,08	0,04	0,00	-	-	-

Щоб перевести значення МДж/м² у кВт·год, спочатку помножимо кожне значення на площу сонячних панелей, яка становить 1,94 м² однієї панелі, яких 12, отже $1,94 \cdot 12 = 23,28 \text{ м}^2$

Цю площу нам слід домножити на 0,2, оскільки ККД СП у нас становить 20 %, отримуємо 4,656 дані представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Сума прямої сонячної радіації на поверхню СП при середніх умовах хмарності (липень)

t,	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	-	0	0,19	0,61	1,16	2,19	2,98	3,96	4,75	5,35	5,73	5,73
t,	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	5,54	4,98	3,95	2,98	2,19	1,16	0,37	0,19	0	-	-	-

Оскільки $1 \text{ МДж} = 0,27(7) \text{ кВт}\cdot\text{год}$, розрахунки подано у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Сума перетворення сонячної радіації СП у електроенергію при середніх умовах хмарності (липень)

t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	-	0	0,052	0,17	0,32	0,61	0,83	1,096	1,32	1,48	1,59	1,59
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	1,53	1,38	1,09	0,83	0,61	0,32	0,103	0,05	0	-	-	-

На рисунку 3.1 представлений графік генерування СП за дійсними значеннями сонячної інсоляції за липень місяць.

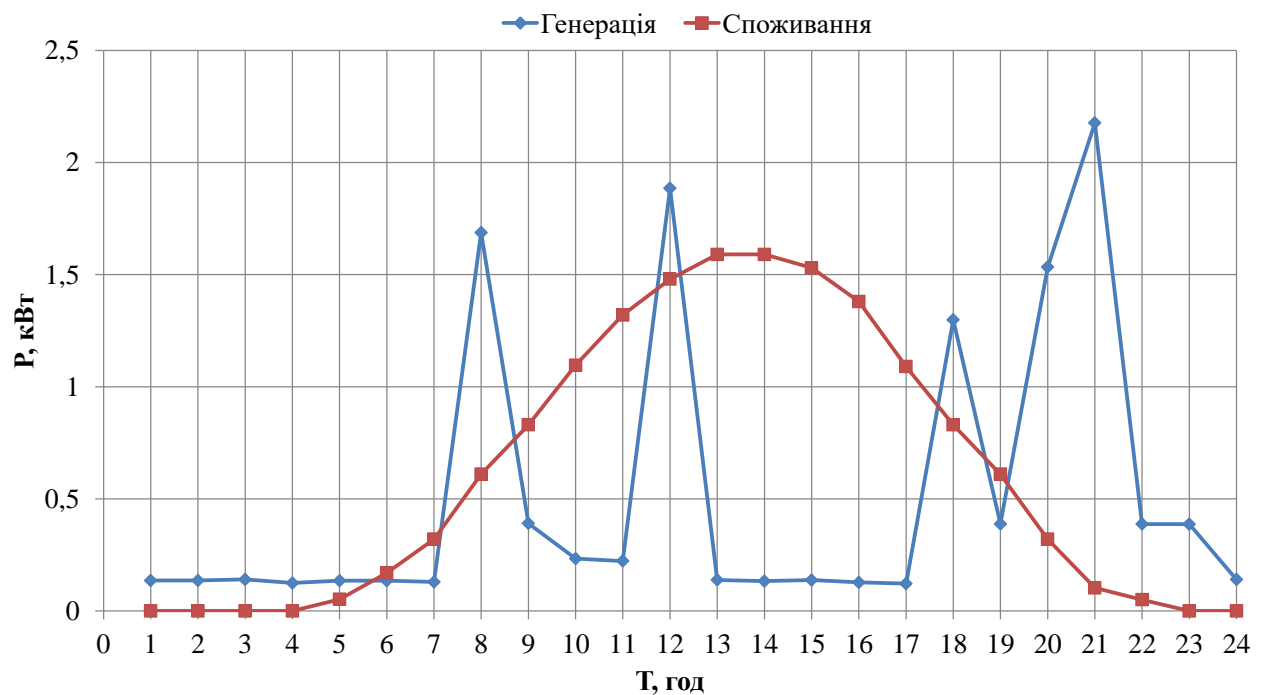


Рисунок 3.1 - Порівняння генерування СП (липень) та реального навантаження.

Проаналізувавши графік рисунку 3.1, можна розрахувати енергетичний баланс за кожну годину на добу (різницю між реальним навантаженням і генеруванням панелей).

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 12,3 \text{ кВт}; \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС24}} = 14,96 \text{ кВт}; \quad (3.2)$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 14,96 - 12,3 = 2,66 \text{ кВт}; \quad (3.3)$$

де P_n - потужність навантаження,

$P_{\text{ФЕС}}$ - потужність фотоелектростанції,

$P_{\text{ЕБ}}$ - енергетичний баланс.

при $i = 1 \rightarrow P_{\text{ЕБ1}} = P_{\text{ФЕС1}} - P_{n1} = 0 - 0,13 = -0,13 \text{ кВт}$ при $i = 13 \rightarrow P_{\text{ЕБ13}} = 1,4 \text{ кВт}$

при $i = 2 \rightarrow P_{\text{ЕБ2}} = -0,13 \text{ кВт}$

при $i = 14 \rightarrow P_{\text{ЕБ14}} = 1,25 \text{ кВт}$

при $i = 3 \rightarrow P_{\text{ЕБ3}} = -0,08 \text{ кВт}$

при $i = 15 \rightarrow P_{\text{ЕБ15}} = 0,97 \text{ кВт}$

при $i = 4 \rightarrow P_{\text{ЕБ4}} = 0,04 \text{ кВт}$

при $i = 16 \rightarrow P_{\text{ЕБ16}} = 0,7 \text{ кВт}$

при $i = 5 \rightarrow P_{\text{ЕБ5}} = 0,19 \text{ кВт}$

при $i = 17 \rightarrow P_{\text{ЕБ17}} = 0,48 \text{ кВт}$

при $i = 6 \rightarrow P_{\text{ЕБ6}} = 0,48 \text{ кВт}$

при $i = 18 \rightarrow P_{\text{ЕБ18}} = -0,97 \text{ кВт}$

при $i = 7 \rightarrow P_{\text{ЕБ7}} = 0,69 \text{ кВт}$

при $i = 19 \rightarrow P_{\text{ЕБ19}} = -0,29 \text{ кВт}$

при $i = 8 \rightarrow P_{\text{ЕБ8}} = -0,59 \text{ кВт}$

при $i = 20 \rightarrow P_{\text{ЕБ20}} = -1,48 \text{ кВт}$

при $i = 9 \rightarrow P_{\text{ЕБ9}} = 0,92 \text{ кВт}$

при $i = 21 \rightarrow P_{\text{ЕБ21}} = -2,19 \text{ кВт}$

при $i = 10 \rightarrow P_{\text{ЕБ10}} = 1,25 \text{ кВт}$

при $i = 22 \rightarrow P_{\text{ЕБ22}} = -0,39 \text{ кВт}$

при $i = 11 \rightarrow P_{\text{ЕБ11}} = 1,36 \text{ кВт}$

при $i = 23 \rightarrow P_{\text{ЕБ23}} = -0,39 \text{ кВт}$

при $i = 12 \rightarrow P_{\text{ЕБ12}} = -0,30 \text{ кВт}$

при $i = 24 \rightarrow P_{\text{ЕБ24}} = -0,13 \text{ кВт}$

З графіка рисунку 3.2 видно, що СП що неспроможні генерувати стійку енергію задля забезпечення електроенергії котеджу (в пікове навантаження), у ці моменти додаткову потужність і будуть віддавати акумулятори, щоб покрити брак енергії.

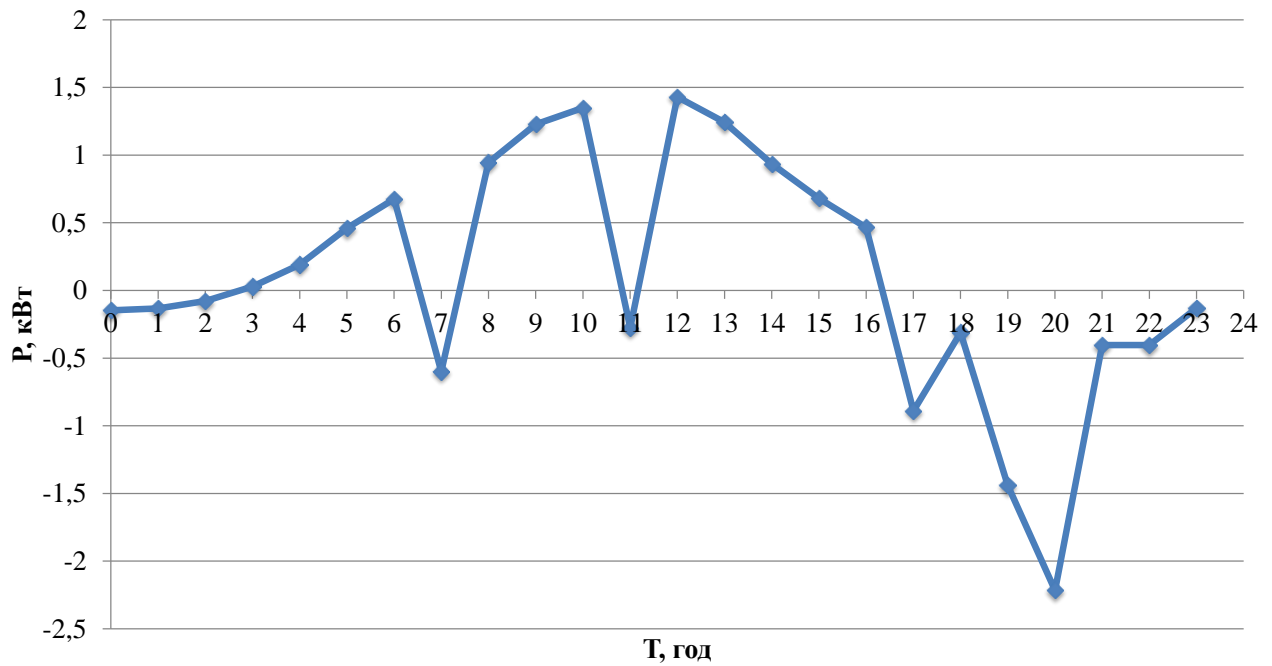


Рисунок 3.2 – Енергетичний баланс

Розрахуємо розряд/заряд АБ:

$$I = \frac{P}{U}; \quad (3.4)$$

$$I_1 = \frac{-0,13 \cdot 10^3}{24} = -5,4 \text{ А} \cdot \text{год};$$

де I - струм розряду (-) / заряду (+) акумулятора,

P - споживана потужність,

U - напруга акумуляторів.

Таблиця 3.4 – Погодинне значення струму розряду/заряду

I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}
-5,4	-5,4	-3,33	1,67	7,92	20	28,75	-24,58	26,25	52,08	56,67	-12,5
I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_{16}	I_{17}	I_{18}	I_{19}	I_{20}	I_{21}	I_{22}	I_{23}	I_{24}
58,33	52,08	40,42	29,2	20	-40,42	-12,08	-61,67	-91,25	-16,25	-16,25	-5,4

Продовження таблиці 3.6

Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	-	-	-	-	-	-	0	0,19	0,79	1,58	1,77	1,96
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	1,39	0,79	0,37	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	-	-	-	-	-	-	0	0,05	0,22	0,44	0,49	0,54
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	0,39	0,22	0,1	0	-	-	-	-	-	-	-	-

На рисунку 3.4 наведено графік генерування СП за дійсними значеннями сонячної інсоляції за лютий місяць.

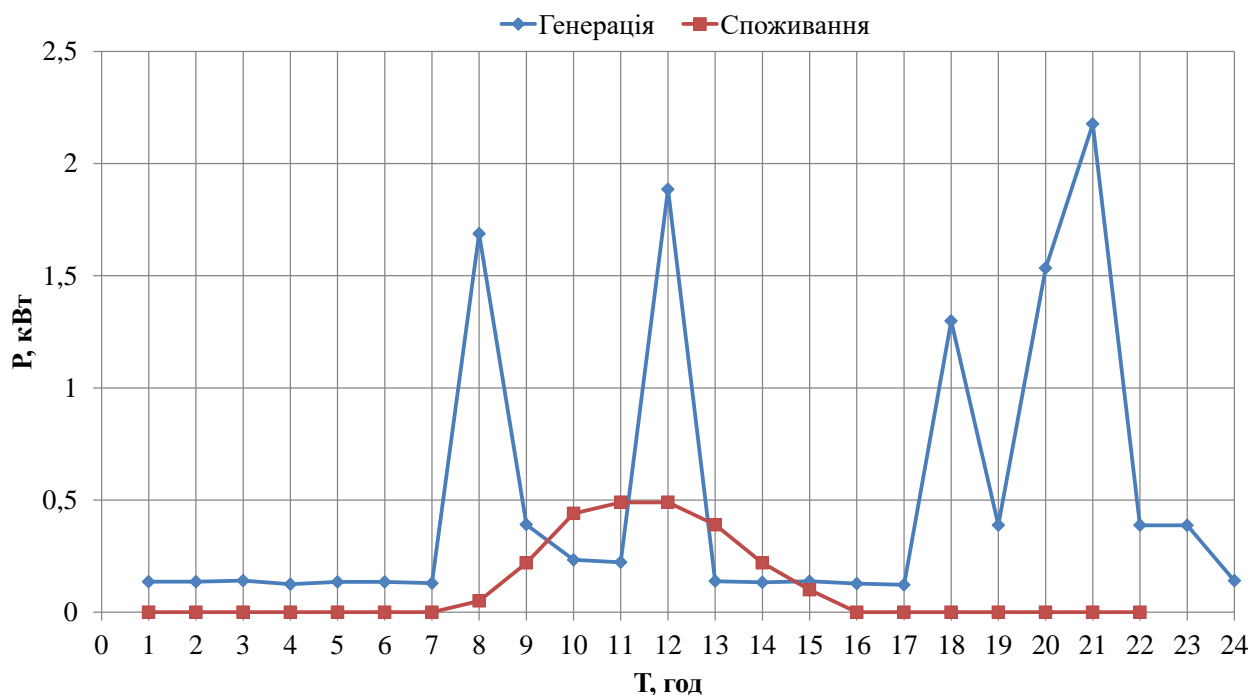


Рисунок 3.4 - Порівняння генерування СП (лютий) та реального навантаження

Енергетичний баланс за лютий місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 13,85 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\Phi EC} = P_{\Phi EC1} + P_{\Phi EC2} + \dots + P_{\Phi EC} = 0,71 \text{ кВт};$$

$$P_{EB} = P_{\Phi EC} - P_n = 0,71 - 13,85 = -13,14 \text{ кВт}.$$

Березень:

Таблиця 3.7 - Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума генерування СП при середніх умови хмарності (березень)

Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	-	-	-	-	-	0	0,12	0,3	0,51	0,68	0,72	0,68
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	0,64	0,42	0,25	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-
Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	-	-	-	-	-	0	0,56	1,4	2,37	3,17	3,35	3,17
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	2,98	1,96	1,16	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	-	-	-	-	-	0	0,15	0,39	0,66	0,88	0,93	0,88
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	0,83	0,54	0,32	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-

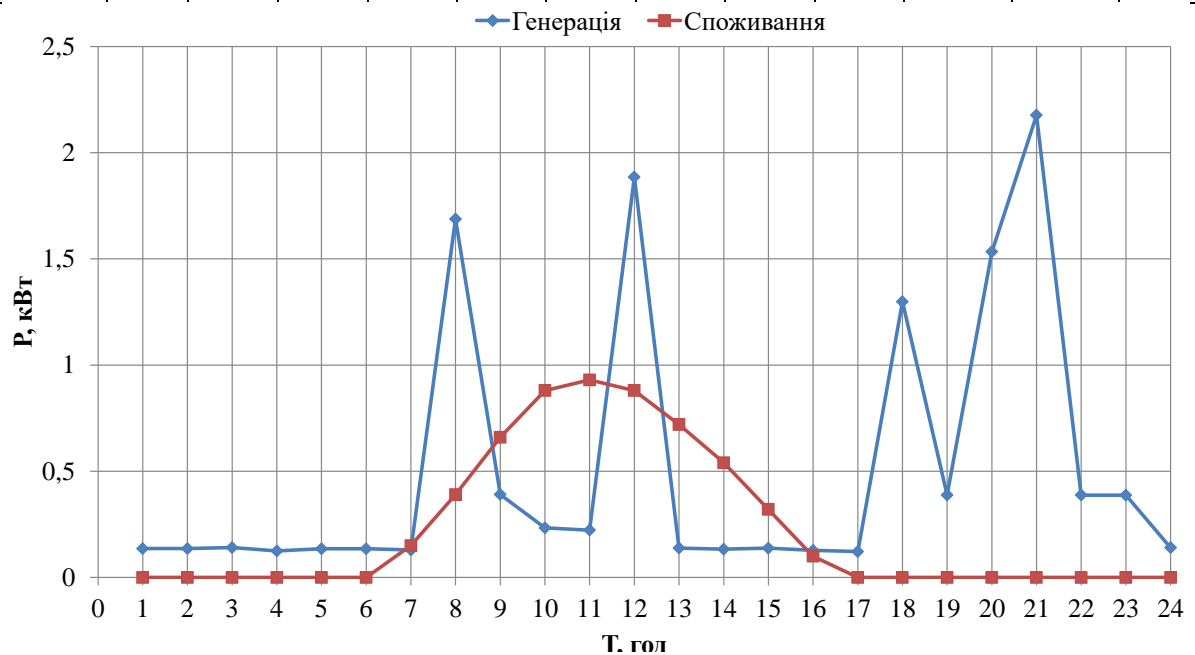


Рисунок 3.5 - Порівняння генерування СП (березень) та реального навантаження

Енергетичний баланс за березень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 13,5 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС}} = 5,67 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 5,67 - 13,5 = -7,83 \text{ кВт}.$$

Квітень:

Таблиця 3.8 - Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума генерування СП при середніх умови хмарності (квітень)

Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	-	-	-	0	0,04	0,21	0,42	0,68	0,81	0,93	0,98	0,97
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	0,94	0,76	0,55	0,34	0,17	0	0	-	-	-	-	-
Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	-	-	-	0	0,19	0,98	1,96	3,17	3,77	4,33	4,56	4,52
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	4,38	3,54	2,56	1,58	0,79	0	0	-	-	-	-	-
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	-	-	-	0	0,05	0,27	0,54	0,88	1,04	1,19	1,26	1,25
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	1,21	0,98	0,71	0,44	0,22	0	0	-	-	-	-	-

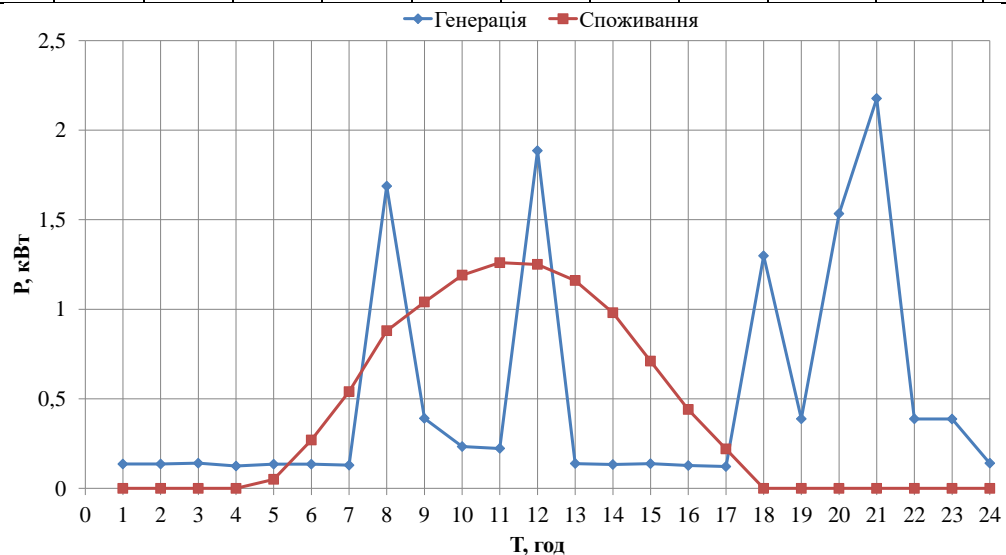


Рисунок 3.6 - Порівняння генерування СП (квітень) та реального навантаження
Енергетичний баланс за квітень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 13,5 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС}} = 10,06 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 10,06 - 13,5 = -3,44 \text{ кВт}.$$

Травень:

Таблиця 3.9 - Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню,
сума генерування СП при середніх умови хмарності (травень)

Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	-	-	0	0,04	0,17	0,34	0,56	0,73	0,93	0,97	1,12	1,2
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	1,03	0,91	0,74	0,51	0,3	0,12	0,04	0,01	0	-	-	-
Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	-	-	0	0,19	0,79	1,58	2,61	3,39	4,33	4,52	5,21	5,59
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	4,79	4,24	3,45	2,37	1,39	0,56	0,19	0,05	0	-	-	-
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	-	-	0	0,05	0,22	0,44	0,72	0,94	1,19	1,25	1,44	1,55
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	1,33	1,17	0,95	0,66	0,39	0,15	0,05	0,01	0	-	-	-

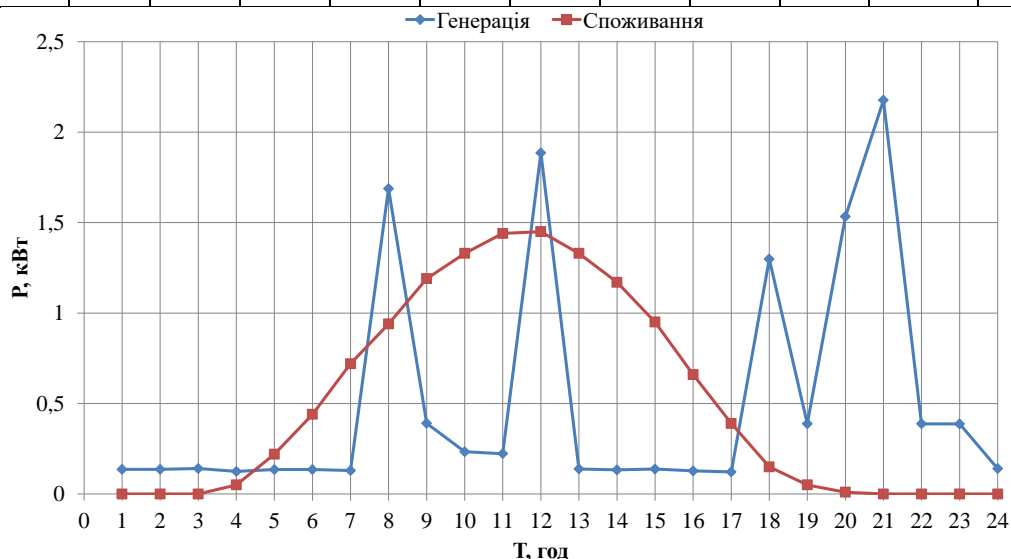


Рисунок 3.7 - Порівняння генерування СП (травень) та реального навантаження

Оскільки цей місяць має велику сонячну інсоляцію, то розрахунок проводитиметься, як у літній сезон.

Енергетичний баланс за травень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 12,3 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС}} = 12,53 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 12,53 - 12,35 = -0,23 \text{ кВт}.$$

З енергетичного балансу за травень місяць видно, що СП видають потрібну нам потужність для забезпечення будинку електроенергією, розрахуємо заряд/розряд АБ для того, щоб переконатися, що акумулятори будуть завжди заряджені.

Таблиця 3.10 - Енергетичний баланс у годинах (травень).

$P_{\text{ЕБ1}}$	$P_{\text{ЕБ2}}$	$P_{\text{ЕБ3}}$	$P_{\text{ЕБ4}}$	$P_{\text{ЕБ5}}$	$P_{\text{ЕБ6}}$	$P_{\text{ЕБ7}}$	$P_{\text{ЕБ8}}$	$P_{\text{ЕБ9}}$	$P_{\text{ЕБ10}}$	$P_{\text{ЕБ11}}$	$P_{\text{ЕБ12}}$
-0,13	-0,13	-0,13	-0,08	0,09	0,31	0,59	-0,75	0,81	1,02	1,21	-0,34
$P_{\text{ЕБ13}}$	$P_{\text{ЕБ14}}$	$P_{\text{ЕБ15}}$	$P_{\text{ЕБ16}}$	$P_{\text{ЕБ17}}$	$P_{\text{ЕБ18}}$	$P_{\text{ЕБ19}}$	$P_{\text{ЕБ20}}$	$P_{\text{ЕБ21}}$	$P_{\text{ЕБ22}}$	$P_{\text{ЕБ23}}$	$P_{\text{ЕБ24}}$
1,19	1,04	0,82	0,53	0,26	-1,14	-0,34	-1,52	-2,19	-0,39	-0,39	-0,13

Після того, як провели розрахунки енергетичного балансу по годинах, можемо знайти струм заряду/розряду (табл.3.11).

Таблиця 3.11 – Погодинне значення струму розряду/заряду

I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}
-5,4	-5,4	-5,4	-3,33	3,75	12,92	24,58	-31,25	21,25	33,75	50,42	-14,17
I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_{16}	I_{17}	I_{18}	I_{19}	I_{20}	I_{21}	I_{22}	I_{23}	I_{24}
49,58	43,33	34,17	22,1	10,83	-47,5	-14,17	-63,3	-91,25	-16,25	-16,25	-5,4

Додаємо струм розряду з 18:00-4:00, тоді $I_{роз} = -273,65 \text{ А}\cdot\text{год}$, розряд складе $91,22 \text{ А}\cdot\text{год}$ на кожен пару акумуляторів протягом 12 годин.

При додаванні струму заряду та розряду з 5:00-17:00 і віднімаючи від цієї суми струм розряду в піковий годинник навантаження 8:00, 12:00, то струм заряду дорівнюватиме: $I_{зар}=261,26 \text{ А}\cdot\text{год}$, де видно що така кількість $\text{А}\cdot\text{год}$ заряджатиме АБ на 96 %, тому що кожен акумулятор протягом доби буде заряджений на $87,1 \text{ А}\cdot\text{год}$.

Червень:

Таблиця 3.12- Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума генерування СП при середніх умови хмарності (червень)

Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	0	0	0	0,13	0,25	0,42	0,64	0,77	0,98	1,02	1,11	1,07
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	1,06	0,94	0,81	0,64	0,47	0,29	0,13	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0,61	1,16	1,96	2,98	3,59	4,56	4,75	5,17	4,98
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	4,94	4,38	3,77	2,98	2,19	1,35	0,61	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	0	0	0	0,17	0,32	0,54	0,83	0,99	1,26	1,32	1,43	1,38
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	1,37	1,21	1,04	0,83	0,61	0,37	0,17	0	0	0	0	0

Енергетичний баланс за червень:

$$\sum_{i=0}^{24} P_H = P_{H1} + P_{H2} + \dots + P_{H24} = 12,35 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\Phi EC} = P_{\Phi EC1} + P_{\Phi EC2} + \dots + P_{\Phi EC} = 13,84 \text{ кВт};$$

$$P_{EB} = P_{\Phi EC} - P_H = 13,84 - 12,35 = 1,49 \text{ кВт} .$$

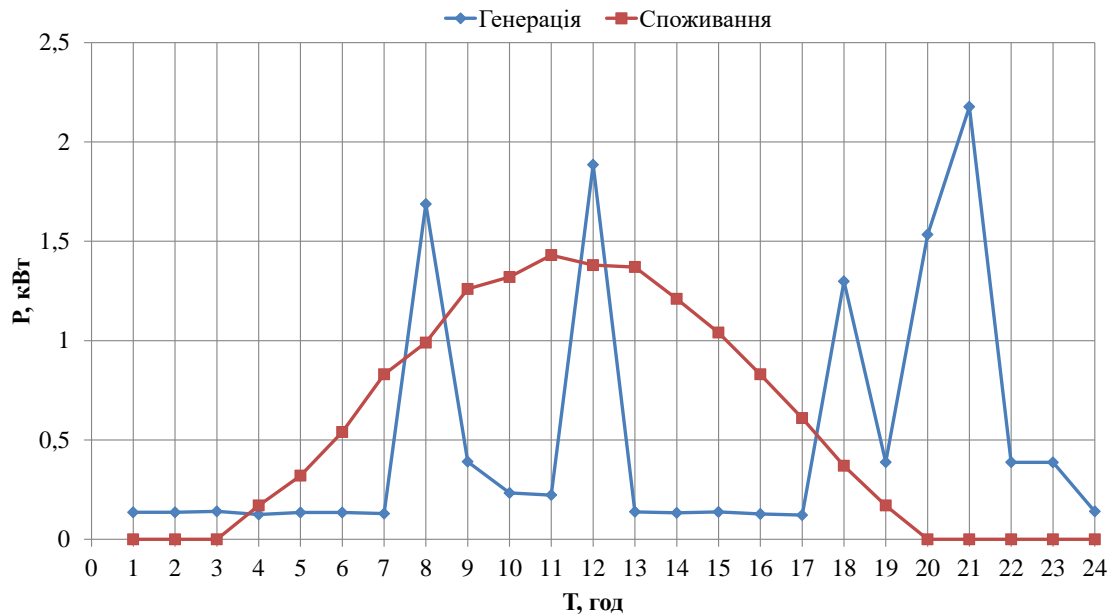


Рисунок 3.8 - Порівняння генерування СП (червень) та реального навантаження

З енергетичного балансу видно, що СП видають потрібну нам потужність для забезпечення будинку електроенергією. Розрахуємо заряд/розряд АБ, щоб переконатися, що і акумулятори завжди будуть заряджені.

Таблиця 3.13 - Енергетичний баланс за годинами (червень).

P_{EB1}	P_{EB2}	P_{EB3}	P_{EB4}	P_{EB5}	P_{EB6}	P_{EB7}	P_{EB8}	P_{EB9}	P_{EB10}	P_{EB11}	P_{EB12}
-0,13	-0,13	-0,13	0,04	0,19	0,41	0,69	-0,69	0,87	1,09	1,20	-0,51
P_{EB13}	P_{EB14}	P_{EB15}	P_{EB16}	P_{EB17}	P_{EB18}	P_{EB19}	P_{EB20}	P_{EB21}	P_{EB22}	P_{EB23}	P_{EB24}
1,23	1,08	0,91	0,69	0,48	-0,9	-0,22	-1,53	-2,19	-0,39	-0,39	-0,13

Після того, як провели розрахунки енергетичного балансу щогодини,

можемо знайти струм заряду.

Таблиця 3.14 – Погодинне значення струму розряду/заряду

I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}
-5,4	-5,4	-5,4	1,66	7,92	17,08	28,75	-29,03	23,75	45,42	50	-21,25
I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_{16}	I_{17}	I_{18}	I_{19}	I_{20}	I_{21}	I_{22}	I_{23}	I_{24}
51,25	45	37,92	28,75	20	-38,16	-9,17	-63,75	-91,25	-16,25	-16,25	-5,4

Додаємо струм розряду з 18:00-3:00, тоді струм розряду дорівнюватиме: $I_{роз} = -202,02 \text{ А} \cdot \text{год}$. Тоді ємність на яку заряджатимуться кожна пара акумуляторів протягом 12 годин становитиме 67,34 А·год.

При додаванні струму заряду та розряду з 4:00-17:00 і віднімаючи від цієї суми струм розряду в пікові години навантаження 8:00, 12:00, то струм заряду дорівнюватиме: $I_{зар} = 307,22 \text{ А} \cdot \text{год}$, де видно що така кількість А·год заряджатиме АБ на 100 %, тому що кожна пара акумуляторів протягом доби буде заряджена на 102,4А·год.

Серпень:

Таблиця 3.15 - Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума генерування СП при середніх умови хмарності (серпень)

Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	0	0	0	0,04	0,04	0,21	0,38	0,56	0,72	0,76	0,81	0,76
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	0,72	0,64	0,51	0,34	0,17	0,04	0,04	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0,19	0,19	0,98	1,77	2,61	3,35	3,54	3,77	3,54
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	3,35	2,98	2,37	1,58	0,79	0,19	0,19	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	0	0	0	0,05	0,05	0,27	0,49	0,72	0,93	0,98	1,04	0,98

t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	0,93	0,83	0,66	0,44	0,22	0,05	0,05	0	0	0	0	0

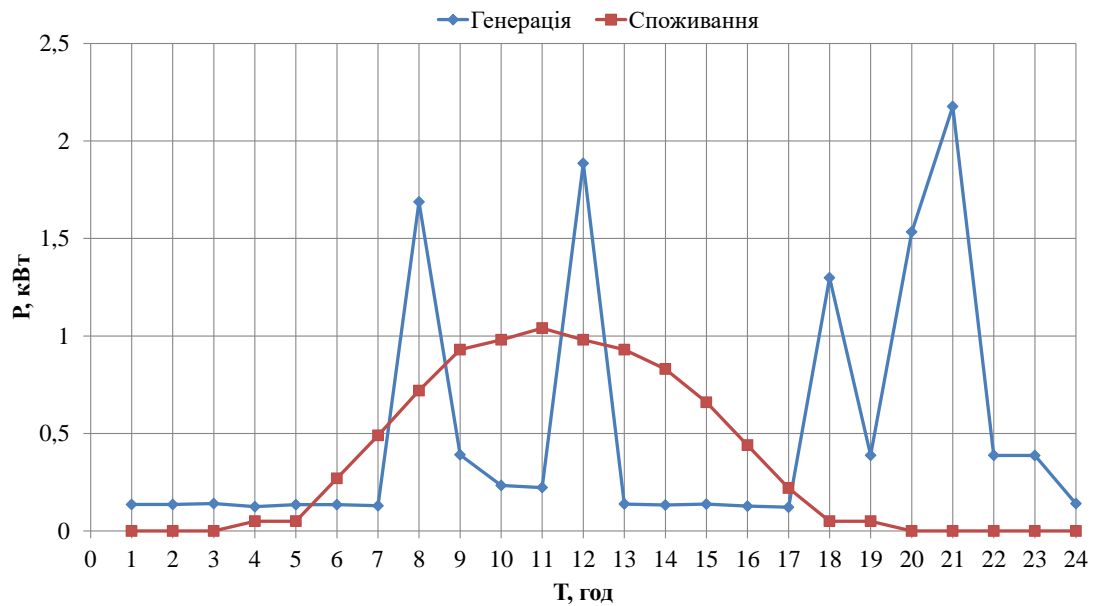


Рисунок 3.9 - Порівняння генерування СП (серпень) та реального навантаження

Енергетичний баланс за серпень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 13,47 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС}} = 8,69 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 8,69 - 12,35 = -3,66 \text{ кВт}.$$

Вересень:

Таблиця 3.16 - Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума генерування СП при середніх умови хмарності (вересень)

Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	0	0	0	0	0,01	0,07	0,12	0,26	0,34	0,42	0,47	0,51
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	0,43	0,34	0,3	0,12	0,09	0,01	0	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0	0,05	0,33	0,56	1,21	1,58	1,96	2,19	2,37
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	2	1,58	1,39	0,56	0,42	0,05	0	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	0	0	0	0	0,01	0,09	0,15	0,34	0,44	0,54	0,61	0,66

t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	0,55	0,44	0,39	0,15	0,12	0,01	0	0	0	0	0	0

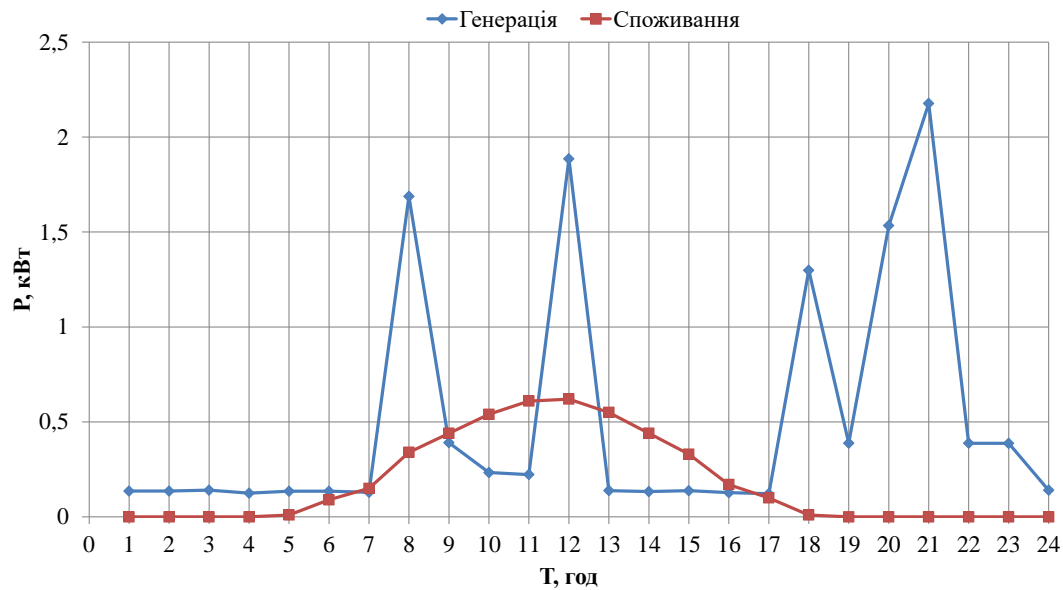


Рисунок 3.10- Порівняння генерування СП (вересень) та реального навантаження

Енергетичний баланс за вересень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 13,94 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС}} = 4,5 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 4,5 - 13,94 = -9,44 \text{ кВт} .$$

Жовтень:

Таблиця 3.17 - Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума генерування СП при середніх умови хмарності (жовтень)

Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,13	0,17	0,21	0,25
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	0,17	0,13	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0,61	0,79	0,98	1,16
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	0,79	0,61	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,17	0,22	0,27	0,32

t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	0,22	0,17	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Енергетичний баланс за жовтень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 13,94 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС}} = 1,48 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 1,48 - 13,94 = -12,46 \text{ кВт}.$$

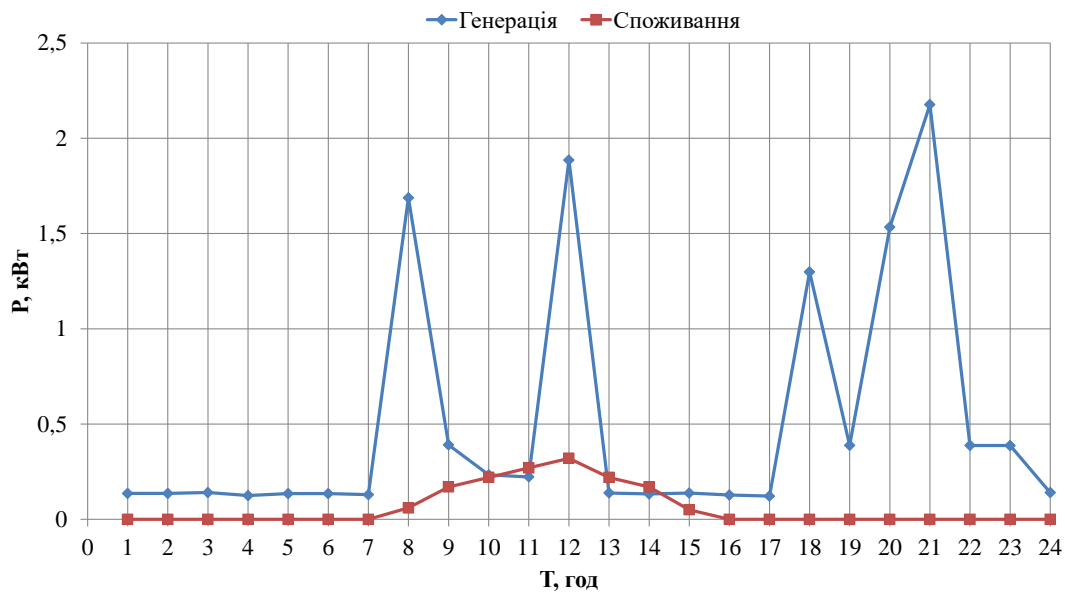


Рисунок 3.11- Порівняння генерування СП (жовтень) та реального навантаження

Листопад:

Таблиця 3.18 - Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума генерування СП при середніх умови хмарності (листопад)

Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,09	0,12	0,12
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	0,09	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0,42	0,56	0,56
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	0,42	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,12	0,15	0,15

t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	0,12	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

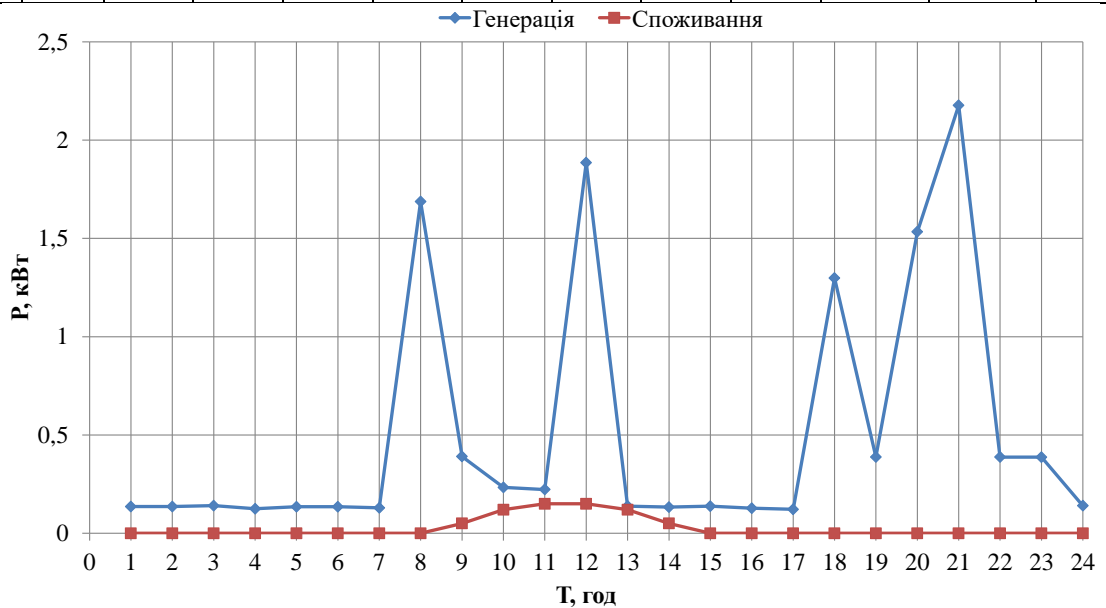


Рисунок 3.12- Порівняння генерування СП (листопад) та реального навантаження

Енергетичний баланс за листопад місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 13,94 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС}} = 0,64 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 0,64 - 13,94 = -13,3 \text{ кВт}.$$

Грудень:

Таблиця 3.19 - Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума генерування СП при середніх умови хмарності (грудень)

Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,04	0,04
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м ²	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, МДж												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0,19	0,19
t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сума генерування СП, кВт·год												
t, (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·год	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,05

t, (год)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·год	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

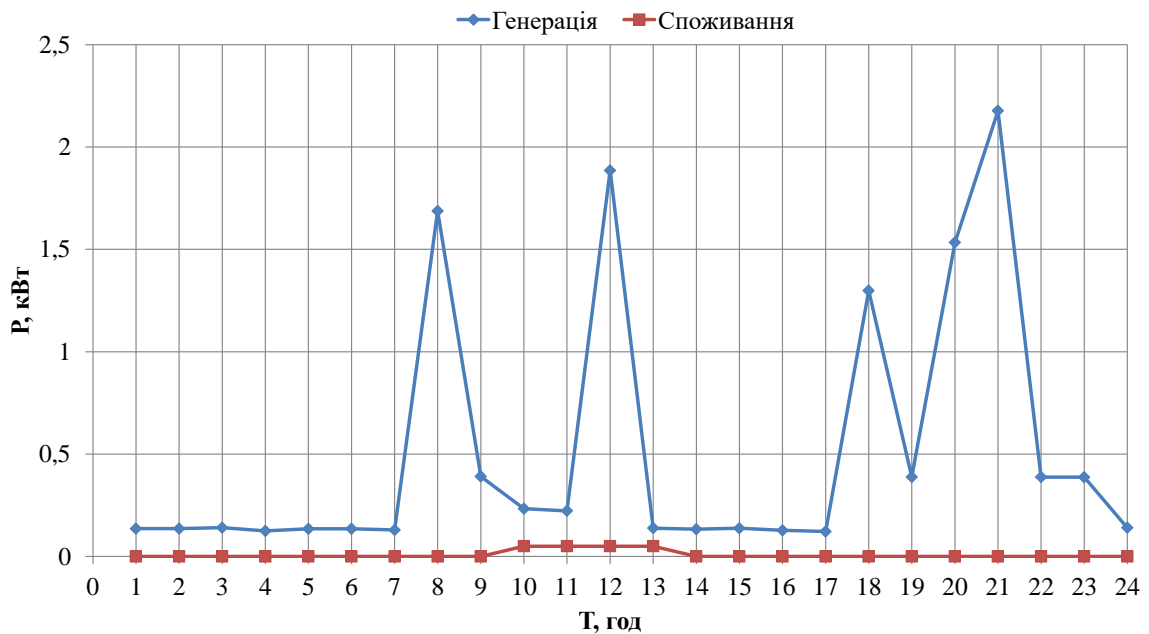


Рисунок 3.13 Порівняння генерування СП (грудень) та реального навантаження

Енергетичний баланс за грудень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 13,85 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС}} = 0,2 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 0,2 - 13,85 = -13,65 \text{ кВт}.$$

Складемо наочну таблицю енергетичного балансу за місяцями.

Таблиця 3.20 – Енергетичний баланс за місяцями

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$P_{\text{ЕБ}}$ (кВт·год/добу)	-13,28	-13,14	-7,83	-3,44	0,23	1,49
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$P_{\text{ЕБ}}$ (кВт·год/добу)	2,61	-3,66	-9,44	-12,44	-13,3	-13,65

З таблиці 3.20 наочно видно, що наша система може забезпечити електроенергією будинок без додаткових допоміжних пристроїв протягом

трьох місяців (травень, червень, липень), а в місяці, що залишилися, працюватиме ДЕС, а акумулятори будуть працювати в буферному режимі.

3.2 Вибір і розрахунок акумуляторних батарей

Наступним завданням є вибір типу АБ. З відомих типів АБ для ФЕУ найчастіше використовуються свинцевокислотні та гелієві АБ. Вибір акумуляторів гелієвих залежить від унікальних характеристик: відсутність регулятора зарядного струму, велика кількість циклів заряду-розряду, допустимість тривалого перебування в розрядженому стані, низький саморозряд, можливість експлуатації в будь-якому положенні в житловому приміщенні.

На сьогоднішній день подібні акумулятори широко використовуються в домашніх потужних системах безперебійного живлення, альтернативної енергетики. Гелієві акумуляторні батареї вимагають лише захисту від перезарядження і повинні мати обмежувач напруги при заряді, що забезпечує їх максимальний термін служби понад 700 циклів заряду/розряду.

Переваги гелієвих АБ:

- Абсолютно не потребують обслуговування;
- Захищені від проливання/протікання;
- Мають високі показники при глибокому розряді;
- Можуть встановлюватися боком (можлива втрата 10 % потужності);
- Відсутність газовиділення;
- Можливість використання поряд із чутливим електронним обладнанням;
- Тривалий термін зберігання;
- Швидка перезарядка (з 0% до 90% за 3,5 години) - у 7 разів швидше за аналогічний кислотний акумулятор;
- Стійкість до вібрації;
- Робота у вологому середовищі;

- При повному заряді не замерзає за температури -30°C ;
- Оптимальна питома вартість (ціна/кількість місяців в експлуатації);
- Найнижча питома вартість (ціна/кількість циклів).

Особливості гелієвих АБ:

- Висока початкова вартість
- Більша вага в порівнянні з іншими акумуляторами
- Неможливість долити воду при тривалому перезарядженні

Для автономного електропостачання не можна використовувати автомобільні (свинцеві) акумулятори або акумулятори, що не мають глибокого циклу.

ФЕУ працює з обмеженням напруги АБ. При розрядній нарузі АБ $U_{AB} = 24\text{В}$ (оскільки АБ підключені послідовно) середній розрядний струм АБ $I_{\text{ср.роз.ніч}}$ дорівнює:

$$I_{\text{ср.роз.ніч}} = \frac{P_{\text{ср.ніч}}}{U_{AB}} = \frac{0,48\text{кВт}}{24\text{В}} = 20\text{А}. \quad (3.5)$$

Середній розрядний струм на навантаження вдень $I_{\text{ср.роз.день}}$:

$$I_{\text{ср.роз.день}} = \frac{P_{\text{ср.день}}}{U_{AB}} = \frac{0,54\text{кВт}}{24\text{В}} = 22,5\text{А}. \quad (3.6)$$

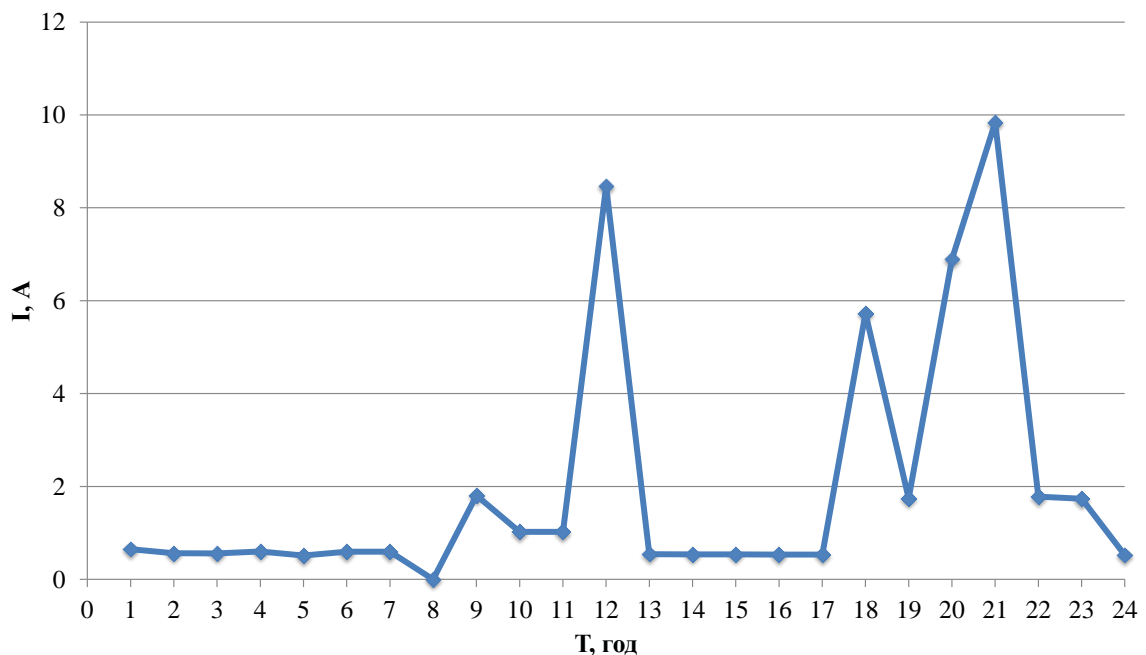


Рисунок 3.14 – Циклограма струму навантаження за 24 години.

ККД для гелевих АБ $\eta_{\text{розряд}} = 0,75$. Тоді необхідна ємність АБ $Q_{\text{АБ.роз.ніч}}$ (А·год) з урахуванням ККД розряду та $T_{\text{ніч}} = T_{\text{день}} = 12$ годин буде рівна:

$$Q_{\text{АБ.роз.ніч}} = \frac{I_{\text{ср.роз.ніч}} \cdot T_{\text{ніч}}}{\eta_{\text{розряд}}} = \frac{20 \cdot 12}{0,75} = 320 \text{ А} \cdot \text{год}. \quad (3.7)$$

Розрядна ємність СП на навантаження вдень $Q_{\text{АБ.роз.день}}$ (А· год) буде рівна:

$$Q_{\text{АБ.роз.день}} = \frac{I_{\text{ср.роз.день}} \cdot T_{\text{день}}}{\eta_{\text{розряд}}} = \frac{22,5 \cdot 12}{0,75} = 360 \text{ А} \cdot \text{год}. \quad (3.8)$$

Сумарний заряд, що віддається СП вдень на заряд АБ та живлення навантаження $\sum Q_{\text{СБ}}$ (А· год):

$$\sum Q_{\text{СБ}} = Q_{\text{АБ.роз.ніч}} + Q_{\text{АБ.роз.день}} = 320 + 360 = 680 \text{ А} \cdot \text{год}. \quad (3.9)$$

Середнє значення струму СП $I_{\text{ср.СП}}$ (А):

$$I_{\text{ср.СП}} = \frac{\sum Q_{\text{СБ}}}{T_{\text{день}}} = \frac{680}{12} = 57 \text{ А}. \quad (3.10)$$

Для підключення 4 СП зробимо розрахунок АБ, які будуть підключені послідовно по 2 акумулятори, якщо ємність послідовно з'єднаних АБ взяти 100 А·год, а напругу 12 В однієї АБ (тоді при послідовному з'єднанні 24 В) відповідно повна потужність складе $100 \text{ А} \cdot \text{год} \cdot 24 \text{ В} = 2400 \text{ Вт}$. За розрахунками максимальний розряд акумуляторів становить 91 А·год. Відповідно $100 \text{ А} \cdot \text{год} \cdot 24 \text{ В} \cdot 0,91 = 2184 \text{ Вт} \cdot \text{год}$.

Тому складемо повну схему підключення всіх СП, контролерів заряду/розряду, інвертора, акумуляторів і ДЕС.

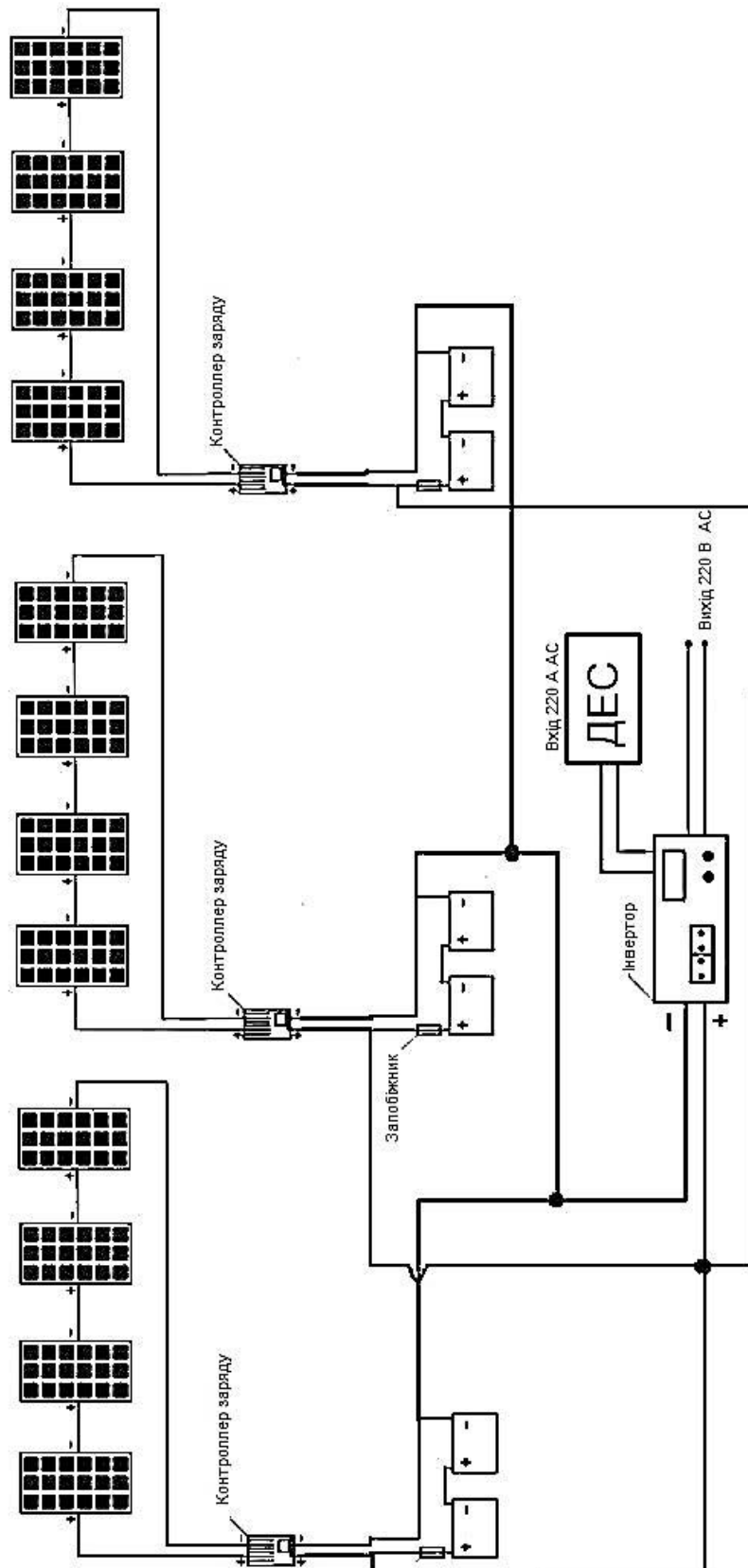


Рисунок 3.15 - Повна робоча схема

За схемою представленої раніше виходить 6 АБ по 100 А·год, отже у такій системі повна ємність складе: 6552 Вт·год, що дозволяє використовувати

обрану кількість АБ та його ємність, оскільки максимальний пік навантаження становить 2,85 кВт·год (зимовий період).

Термін служби гелієвих акумуляторів у циклічному режимі роботи залежить від цілого ряду факторів:

- робоча температура навколишнього середовища;
- швидкість розряду;
- спосіб заряду;
- глибина розряду.

Найбільш суттєвою є глибина розряду, оскільки цей чинник впливає термін служби АБ. На рисунку 3.16 показано вплив глибини розряду на кількість циклів роботи гелієвих акумуляторів при циклічному режимі.

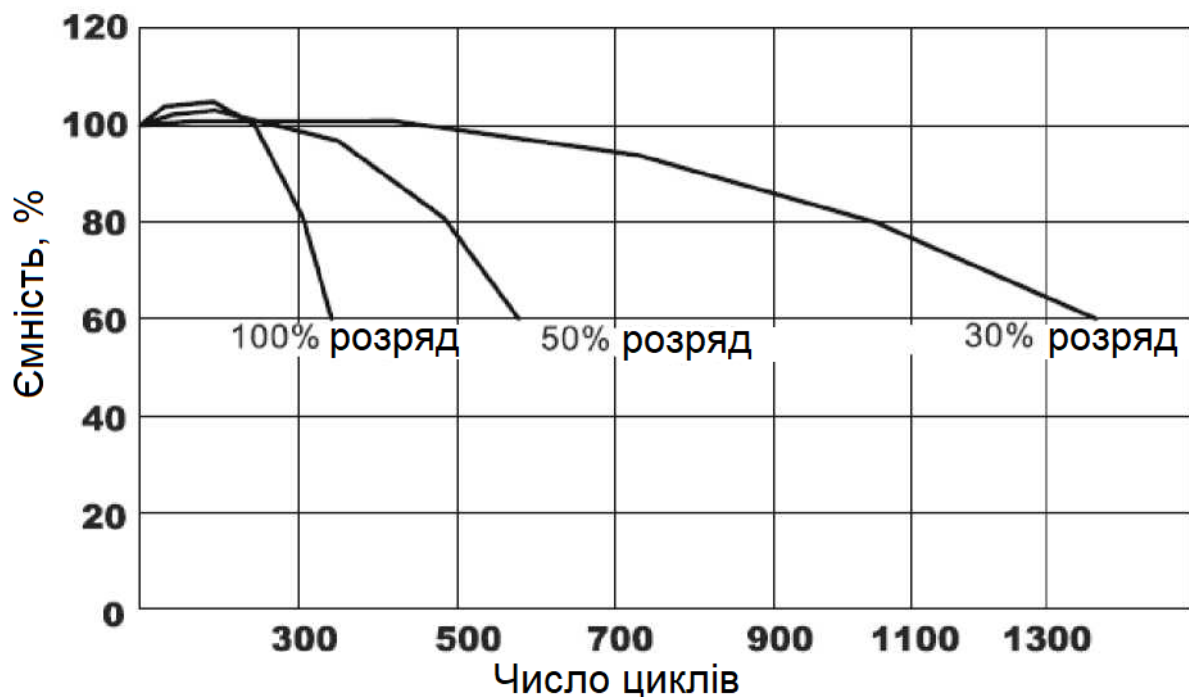


Рисунок 3.16 – Вплив глибини розряду на кількість циклів роботи гелієвих АБ

Оскільки максимальна глибина розряду становить 91А·год, то приблизна кількість циклів заряду/розряду становить 400 циклів.

Гелієві акумулятори не вимагають зрівняльного заряду, тому буферної

напруги достатньо, щоб підтримувати моноблоки в повністю зарядженому стані.

Вибираємо гелієвий акумулятор DELTA HR 12-100, 100 А·год 12В



Рисунок 3.17 - Акумулятор DELTA HR 12-100

Модель Delta HR 12-100 - це акумулятор, який не обслуговується, високої ємності 100 А·год з номінальною напругою 12 Вольт, розроблений спеціально для систем джерел безперебійного живлення (UPS). Ресурс роботи виробу – понад 5 років. Акумулятори DELTA серії HR – це приваблива ціна та стабільні характеристики.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Номінальна напруга, Вольт – 12;

Термін служби, років - 8-12;

Номінальна ємність (25°C), А·год – 100;

Саморозряд - 3% ємності на місяць при 20°C

ТЕМПЕРАТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Розряд, °C - -20~+60

Заряд, °C - -10 ~ +60

Зберігання, °C - -20 ~ +60

3.3 Імовірність безвідмовної роботи акумуляторних батарей

Для акумуляторної батареї, що складається з послідовно з'єднаних акумуляторів, можливість безвідмовної роботи протягом певного часу автономної роботи t визначається наступною формулою:

$$P t = e^{-m \cdot \lambda \cdot t} = \frac{1}{e^{m \cdot \lambda \cdot t}}; \quad (3.11)$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи;
 m - кількість послідовно з'єднаних акумуляторів;
 λ - інтенсивність (середня частота) відмов;
 t -час роботи – 3 роки.

Для $\lambda = 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$ - типове значення частоти відмов, для $t=20$ років, для $t =$ кількість років \cdot кількість днів \cdot годин на день $= 3 \cdot 365 \cdot 24 = 26380$ год, для $U_n=220\text{В}$ кількість послідовно з'єднаних акумуляторів $m=2$, таким чином, ми можемо розрахувати ймовірність безвідмовної роботи.

$$P t = \frac{1}{e^{2 \cdot 10^{-6} \cdot 26380}} = 0,949.$$

Ця висока можливість безвідмовної роботи означає, що немає необхідності розробляти методи підвищення надійності акумуляторної батареї, таких як заміна раніше ніж через 3 роки, індивідуальний контроль акумуляторів тощо.

3.4 Аналіз заряду/розряду АБ без ДЕС при пікових навантаженнях

З розрахунків, зроблених раніше, проаналізуємо розряд/заряд АБ у літній період, де сонячна інсоляція дозволяє СП виробити потрібну потужність.

Травень:

Струм розряду дорівнює:

$I_{роз} = -273,65 \text{ А}\cdot\text{год}$, розряд складе 91,22 А·год на добу на кожну пару АБ.

Струм заряду дорівнює:

$I_{зар} = 261,26 \text{ А}\cdot\text{год}$, очевидно, що така кількість заряду зможе зарядити кожну пару АБ на 96 %.

Червень:

Струм розряду дорівнює:

$I_{роз} = -202,02 \text{ А}\cdot\text{год}$, що дозволяє використовувати акумулятор не на знос оскільки у нас 3 пари АБ з'єднаних паралельно і розряд складе 67,34 А·год на кожну пару акумуляторів протягом доби.

Струм заряду дорівнює:

$I_{зар} = 307,22 \text{ А}\cdot\text{год}$, де видно що така кількість заряду АБ зарядить їх на 100 %, тому що кожна пара акумуляторів протягом доби буде заряджена на 102,4 А·год.

Липень:

Струм розряду дорівнює:

$I_{роз} = -257,4 \text{ А}\cdot\text{год}$, де кожна пара АБ буде розряджена на 85,8 А·год протягом доби.

Струм заряду дорівнює:

$I_{зар} = 356,3 \text{ А}\cdot\text{год}$, АБ будуть забезпечені зарядом на 100 %, оскільки кожна пара акумуляторів протягом дня буде заряджена на 118,8 А·год.

Енергетичний баланс автономної фото-дизельної системи електропостачання передбачає покриття графіків електроспоживання об'єкта енергією, що генерується фотоелектростанцією та дизельною електростанцією.

Загальний підхід до формування балансу полягає у максимальному використанні фотоенергетичного потенціалу за мінімізації витрат на виробництво електроенергії. Тоді енергетичний баланс системи будується так.

1) За відомими графіками електричних навантажень визначається середнє електроспоживання об'єкта кожного місяця.

2) За відомими характеристиками фото-потенціалу та попередньо обраної фотоелектростанції визначається середньомісячне генерування

електроенергії для кожного місяця.

3) В результаті порівняння генерованої ФЕС і споживаної об'єктом енергії визначається ступінь участі ДЕС у сумарному енергетичному балансі.

За розрахунками і графіками споживання котеджу та генерування СП по місяцях видно, що 12 СП цілком можуть забезпечити стабільність і надійність подачі електроенергії в літній період, що не можна сказати про періоди року, де пік навантаження буде збільшений, оскільки недостатньо сонячної радіації у ці місяці. За даними таблиці 3.20 видно, в які місяці потрібна робота дизельної електростанції.

Акумулятори працюють у буферному режимі, згладжуючи коливання та забезпечуючи безперервність електропостачання при перемиканні навантажень на резервний дизель-генератор.

Фактично функції керування енергокомплексом виконує інвертор Outback Power VFX3048E 3кВт.

Можливості такого інвертора такі:

- Перетворення постійної напруги 24/48/96В змінне 220В, 50Гц;
- Заряд акумуляторів;
- Можливість синхронізуватись, що дозволяє підсумовувати енергію від дизель-генератора та фотоустановки через акумуляторні батареї;
- Автоматичне миттєве перемикання з акумуляторів на електрогенератор та назад;
- Автоматичне відключення під час перевантаження, перегріву, захист акумуляторів від неприпустимого розряду.

З графіка представленого раніше видно, що СП не можуть виробити достатню кількість потужності для забезпечення електроенергії котеджу в зимовий період, тому в ці періоди буде включатися дизельна електростанція, щоб забезпечити котедж енергією в цей період і заряджати акумулятори, які будуть віддавати свою енергію в пікові навантаження. Оскільки нам потрібна потужність ДЕС в 4 кВт, щоб згенерувати потрібну кількість електроенергії в пікові навантаження, але ми виберемо ДЕС меншої потужності, тому що у

нашій системі є акумулятори, які будуть заряджені від дизель-генератора та допоможуть у роботі при пікових навантаженнях що зменшить витрату палива.

Зробимо розрахунок коефіцієнта використання ДЕС (4 кВт):

Коефіцієнт використання встановленої потужності протягом року роботи ДЕС визначається за формулою (3.12).

$$K_u = \frac{E_g}{P_y} \cdot 100\%; \quad (3.12)$$

де E_g - генерування електроенергії станцією на рік, кВт · год

P_y - встановлена потужність ДЕС

$$E_g = \frac{2743}{8760} = 0,3 \text{ кВт};$$

8760 - кількість годин у календарному році

$$K_u = \frac{0,3}{4} \cdot 100\% = 8\%.$$

Таблиця 3.21 - Необхідна потужність для ДЕС на місяць

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
P(кВт·год)	411,68	381,06	242,73	103,2	-	-
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
P(кВт·год)	-	113,46	283,2	385,66	399	423,15
					ΣP=2743,14 кВт год на рік	

Оскільки 3 місяці не потрібно розраховувати, то число годин на рік складе 6552 годин, а коефіцієнт використання складе:

$$E_g = \frac{2743}{6552} = 0,42 \text{ кВт};$$

$$K_{вик} = \frac{0,42}{4} \cdot 100\% = 10,5\%.$$

Якщо вибрати ДЕС 2кВт і зменшимо роботу ДЕС на 5 годин на добу (нічний час) годин на рік, коли акумулятори забезпечуватимуть енергією автономний режим для дому вночі, коли мережа не навантажена. І акумулятори в пікове навантаження допоможуть ДЕС віддати потрібну енергії в мережу будинку, оскільки вони будуть заряджені, то отримаємо:

$$E_v = \frac{2743}{6552 - 1372} = 0,53 \text{ кВт};$$

$$K_{вик} = \frac{0,53}{2} \cdot 100\% = 26,5\%.$$

Таким чином, підвищено коефіцієнт використання ДЕС. Виходячи з цього виконано розрахунок коефіцієнта використання дизель-генератора потужністю 2 кВт, необхідної добової електроенергії споживача по місяцях, оскільки тільки в добовому споживанні можна побачити та порівняти, як справлятиметься ДЕС у пікове навантаження.

Таблиця 3.22 - Середня добова потужність генерування енергії для ДЕС за місяцями

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
Р(кВт·год)	13,28	13,14	7,83	3,44	-	-
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Р(кВт·год)	-	3,66	9,44	12,46	13,3	13,65

Оскільки АБ будуть заряджені то зможуть забезпечити енергією в ненавантажені години 24:00-6:00 та 14:00-17:00 (див. табл. 2.1, 2.2).

Січень:

$$E_v = \frac{13,28}{24 - 9} = 0,89 \text{ кВт};$$

$$K_{\text{вик}} = \frac{0,89}{2} \cdot 100\% = 44,5\%.$$

Подальші розрахунки представлені таблиці 3.22.

Таблиця 3.22 - Середній добовий коефіцієнт використання ДЕС за місяцями

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$K_{\text{вик}}$ (%)	44,5	43,8	26,1	22,9	-	-
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$K_{\text{вик}}$ (%)	-	12,2	31,5	41,5	44,3	45,5

Як видно в таблиці 3.22 в осінньо-зимовий період дизель-агрегат має високий коефіцієнт використання, що дозволяє вибрати ДЕС 2 кВт. У весняно-літній період коефіцієнт нижче, це аргументується тим, що в цей період задіяні СП, які дозволяють не навантажувати ДЕС.

Оскільки за схемою, представленою раніше для підключення 12 СП буде працювати 6 АБ, де 3 пари акумуляторів, які послідовно з'єднані, а по відношенню один до одного паралельно. Таким чином, максимальна потужність АБ складе: $(100\text{А} \cdot \text{год} \cdot 24\text{В}) - 3 = 7,2\text{кВт} \cdot \text{год}$.

Зробимо розрахунок розряду АБ в осінній період.

За 9 годин роботи акумуляторних батарей споживана потужність будинку складе $P = 0,137 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 9 = 1,23 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, що становить 16,7 % розряду на добу, а в пікове навантаження недостатню потужність віддадуть акумулятори, що дозволить використовувати ДЕС потужністю в 2кВт, оскільки дана система забезпечуватиме будинок електроенергією без перебоїв.

Розрахуємо розряд у пікове навантаження осіннього періоду, де пік у нас о 7:00~1,8 кВт·год; 12:00~1,98кВт·год; 20:00~2,45кВт·год, 21:00~2,63кВт·год.

Якщо використовувати ДЕС (2 кВт) на 80%, то потужність дизель-агрегату складе 1,6 кВт.

Тоді розряд АБ складе з 24:00-7:00 $P_{розАБ} = 0,98$ кВт·год (з 24:00 по 6:00 віддають енергію АБ і ДЕС не працює, як описувалося раніше), що є не критичним розрядом батарей. Далі ДЕС працюватиме для потреб будинку, де немає пікового навантаження до 12:00 та АБ будуть заряджені.

О 12:00 розряд АБ буде не критичним для них $P_{розАБ} = 0,38$ кВт·год.

І в подальший час роботи АБ 13:00-17:00 потужність розряду:

$P_{розАБ} = 0,52$ кВт·год (описувалося раніше).

Потужність розряду в період $P_{розАБ} = 1,88$ кВт·год (20:00-21:00).

Аналіз зимового періоду, де в пікове навантаження: 7:00~1,86кВт·год; 12:00-1,99 кВт·год; 18:00-1,67 кВт·год; 20:00-2,5 кВт·год; 21:00-2,7 кВт·год.

Розряд АБ з 24:00-7:00 $P_{розАБ} = 1,04$ кВт·год, 12:00 $P_{розАБ} = 0,39$ кВт·год, години роботи АБ 13:00-17:00 потужність розряду: $P_{розАБ} = 0,55$ кВт·год та в період 20:00-21:00 $P_{розАБ} = 2$ кВт·год.

За даними розрахунками можна використовувати ДЕС із потужністю 2кВт.

3.5 Вибір і розрахунок витрати ДЕС

Аналізуючи попередні розрахунки, потрібен агрегат сумарною потужністю 2 кВт, який зможе забезпечити необхідний рівень електроживлення.

На відміну від бензинового варіанта, дизельний генератор має тривалий робочий цикл та більшу надійність.

1. ККД двигуна станції становить 70-80 %, що набагато вище, ніж у бензинових моделей.

2. Безпека гарантується низькою ймовірністю загоряння елементів.

3. Вихлопи дизпалива набагато менш токсичні за продукти спалювання Аі-92, тому саме такого типу генератори рекомендується встановлювати в житлових регіонах.

Аналізуючи ринок, зупинимо вибір на агрегаті дизельного генератора

KGEG 2200. Дизельний генератор KGEG 2200 потужністю 2,2 кВт складається з 4-х тактного дизельного двигуна об'ємом 0,418 літра. Серед переваг цієї моделі можна виділити такі особливості: гільзи циліндра виконані з чавуну, а сідла клапанів - з хромовольфраму, що забезпечує довгий термін служби робочих вузлів. Шумозахисний кожух знижує рівень шуму від працюючого генератора до 72 дБ. Надійність роботи дизельного генератора забезпечується за рахунок систем захисту від навантаження та низького рівня масла, а колеса полегшують переміщення обладнання.

Має стабілізатор напруги. Використання нового блоку AVR (стабілізатора напруги) дозволяє згладити напругу на виході та забезпечити захист від перевантаження. Крім цього електростанція KGEG 2200 оснащується системою вентиляції генератора змінного струму, яка захищає систему від коротких замикань та забезпечує стабільну вихідну напругу.

Стандартний паливний бак ємністю 15 л. здатний забезпечити роботу електрогенератора безперервною роботою при повному баку та навантаженні 75-80 % при витраті палива 0,87 л/год.



Рисунок 3.18 – Зовнішній вигляд дизельного генератора Kolner KGEG 2200

Кількість електроенергії, яку повинен генерувати ДЕС наведена у таблиці 3.21, де використовували середнє реальне споживання будинку мінус генерування СП за добу та помножили їх на кількість календарних днів на

місяць. Завдяки цим значенням ми можемо зробити розрахунок питомої витрати палива ДГ, використовуючи середньорічне навантаження, обчислюється за формулою:

$$b = \frac{1,05 \cdot K \cdot g_{\text{в}}}{\eta_{\text{Г}}} + \frac{1,05 K_x \cdot g_{\text{в}} \cdot N_{\text{в}} \cdot n \cdot 0,15}{E}; \quad (3.13)$$

де g - питома витрата палива ДГ при номінальній потужності, 0,265 кг/к.с.·год;

E - заплановане генерування електроенергії, кВт·год;

$\eta_{\text{Г}}$ - ККД генератора;

K_x - коефіцієнт, що враховує витрату палива дизелем на х.х., приймається 0,21 з урахуванням, що ДГ потужність якого менше 1000 к.с.;

$N_{\text{в}}$ - номінальна потужність дизеля, к.с = 5,4

n - число пусків

$$K = 0,87 + 0,13 \cdot \frac{P_{\text{ном.}}}{P_{\text{порт}}}; \quad (3.14)$$

$$K = 0,87 + 0,13 \cdot \frac{2}{0,42} = 1,49.$$

Тоді

$$b = \frac{1,05 \cdot 1,49 \cdot 0,265}{0,36} + \frac{1,05 \cdot 0,21 \cdot 0,265 \cdot 5,4 \cdot 2 \cdot 0,15}{0,42} = 1,74.$$

А також здійснимо розрахунок абсолютної витрати палива ДЕС за формулою:

$$G_{\text{Г}} = g_{\text{ном}} \cdot K_{\text{знос}} \cdot K_{\text{реж}} \cdot W, \text{ Г.} \quad (3.15)$$

де W - енергія, що генерується ДГ = 9874800 (кДж);

$g_{\text{ном}}$ - питома витрата палива дизелем за номінальної потужності (за паспортними даними), 0,360 кг/кВт·год;

$K_{\text{знос}}$ - коефіцієнт зносу (для нових генераторів приймається рівним 1);

$K_{\text{реж}}$ - режимний коефіцієнт, що враховує зміну питомої витрати палива при роботі ДГ з навантаженням, меншим за номінальне:

$$K_{реж} = 0,87 + 0,13 \cdot \frac{P_{ном}}{P_{потр}}; \quad (3.15)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність ДГ, Вт;

$P_{потр}$ - потужність, що генерується, Вт.

$$K_{реж} = 0,87 + 0,13 \cdot \frac{2}{0,42} = 1,49.$$

Тоді

$$G_T = 0,360 \cdot 1 \cdot 1,49 \cdot 9\,874\,800 = 5\,т\,300\,кг.$$

Вартість палива протягом року, якщо ДП коштує 30 грн. літр

$$5300 \cdot 30 = 159\,000\,грн.\,за\,рік.$$

3.6 Висновки до розділу

1. З наведених розрахунків випливає, що перспектива сонячної фотоелектричної енергетики дуже велика. Сонячне випромінювання є практично невичерпним джерелом енергії, перебуваючи під рукою у будь-якого споживача і є екологічно чистим доступним джерелом енергії.

2. Недоліком сонячного випромінювання як джерела енергії є нерівномірність його надходження на земну поверхню, яка визначається добовою та сезонною циклічністю, а також погодними умовами. Тому дуже важливою є проблема акумулювання електроенергії, що генерується за допомогою сонячних енергоустановок.

3. На основі проведеного розрахунку сонячної інсоляції та аналізу енергетичного балансу за місяцями встановлено, що вибрана кількість сонячних панелей генерують потрібну нам потужність для забезпечення будинку електроенергією впродовж трьох місяців. У місяці, що залишилися, працюватиме дизельна електростанція, а акумулятори будуть працювати в буферному режимі.

4. Розраховано максимальну кількість енергії, яку повинні накопичувати

аккумуляторні батареї. На основі цих даних вибрано кількість, ємність та схему з'єднання аккумуляторних батарей.

5. Розроблено повну принципову схему підключення всіх сонячних панелей, контролерів заряду/розряду, інвертора, аккумуляторів і дизельної електростанції.

6. Розраховано ймовірність безвідмовної роботи аккумуляторних батарей, яка становить 0,949. Ця висока можливість безвідмовної роботи означає, що немає необхідності розробляти методи підвищення надійності аккумуляторної батареї, таких як заміна раніше ніж через 3 роки і індивідуальний контроль аккумуляторів.

7. На основі зроблених розрахунків та проведеного аналізу роботи запропонованої системи електропостачання, встановлено, що:

- за розрахунками і графіками споживання будинку та генеруванням сонячних панелей по місяцях видно, що 12 сонячних панелей цілком можуть забезпечити стабільність і надійність подачі електроенергії в літній період, що не можна сказати про періоди року, де пік навантаження буде збільшений, оскільки недостатньо сонячної радіації у ці місяці;
- у місяці, коли електроенергії від сонячних панелей недостатньо, потрібна робота дизельної електростанції;
- аккумулятори працюють у буферному режимі, згладжуючи коливання та забезпечуючи безперервність електропостачання при перемиканні навантажень на резервний дизель-генератор. Тобто вони працюють як із сонячними панелями так із дизельгенератором.
- за рахунок роботи аккумуляторів у буферному режимі з дизельгенератором вдалося зменшити необхідну його номінальну потужність у 2 рази із 4 кВт до 2 кВт, що позитивно вплине на вартість системи.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею

Статична електрика – це процес утворення і розділення зарядів у просторі при контакті двох матеріалів, якщо хоча б один з них є діелектриком. Підвищений рівень статичної електрики відноситься до групи фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів [11].

Суть електризації заключається в тому, що діелектрики за певних умов стають електрично зарядженими. При цьому заряди не виникають і не зникають, а переходять з одного електризованого тіла на інше, накопичуються на поверхнях їх стикання чи переміщуються в межах одного й того ж тіла. Статична електрика може з'являтися на тілах і через індукцію, тобто через взаємодію на відстані. В основному виробництві харчової промисловості це можуть бути процеси помелу зерна, просіювання, транспортування трубопроводах борошна, процеси, пов'язані з приготуванням цукрової пудри, перевезенням чи транспортуванням по трубопроводах спирту, сухих дріжджів, розміщенням і фільтруванням рідин; технологічні процеси, пов'язані із застосуванням плоскопосових передач, транспортерів.

Якщо напруженість електричного поля перевищує електричну міцність середовища (повітря), то відбувається розряд статичної електрики. Основною причиною, що характеризує здатність різних матеріалів проводити струм, а також визначає їх здатність до електризації, є питомий електричний опір.

Умовно прийнято, що при питомому електричному опорі речовин і матеріалів порядку менше 10 Ом·м заряди не накопичують і безпеки не являють. Якщо ж опір високий і велика швидкість відриву поверхні, то заряди зберігаються. Величина зарядів визначається природою матеріалу і швидкістю розділення поверхонь, тобто інтенсивністю технологічного процесу.

Розряди статичної електрики являються одними з можливих імпульсів

спалахування і вибухів в харчовій промисловості, що зв'язано, в першу чергу, із застосуванням сильно електризуючих речовин і матеріалів (горючі рідини, пил органічного походження). Електризація рідин приводить до спалахування і вибухів втричі частіше, ніж електризація дрібнодисперсних матеріалів, оскільки мінімальна енергія запалювання пилово-вітряних сумішей з 10...100 раз менше. При протіканні рідин величина заряду залежить від діелектричної сталої, її забрудненості, шорсткості стінок, швидкості протікання і діаметра труб.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів повинен здійснюватись в двох напрямках: усунення електричних зарядів або зменшення їх до безпечних величин.

Апарати, машини, пристрої, які можуть стати джерелами виникнення зарядів статичної електрики, повинні бути заземлені не менше ніж у двох місцях незалежно від заземлення усього технологічного кола.

Звичайні заземлюючі пристрої для захисту від розрядів статичної електрики об'єднують із заземлюючими пристроями для електрообладнання.

Заземлення повинно бути здійснене тільки паралельним приєднанням захисного обладнання. Допустимий опір заземленого пристрою для захисту від статичної електроенергії у вигляді малих струмів витрат допускається не більше 100 Ом.

Гнучкі трубопроводи для перекачування рідин, які здатні генерувати заряди (спирт, бензин, гас тощо), повинні мати металеве заземлене оплетення, а вихідні штуцери мають бути виконані із кольорових металів і з'єднані із заземленим металевим оплетенням.

Серед інших заходів, направлених на заземлення небезпечних проявів розрядів статичної електрики, слід відмітити такі, як заміна плоских пасів текстурними (клиновими); недопущення розприскування рідин при їх розливанні в ємності шляхом опущення завантажувальних труб на відстань не більше 0,2 м від днища приймальної посудини; зміна швидкості переміщення твердих і рідких матеріалів та ін.

4.2 Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [11].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, струмопроводи електромережі електрично зв'язані між собою і землею провідниками (ізоляцію) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу електромережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну ємність відносно землі. Тому при дотиці людини до неізольованої струмовідної частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи. Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

4.3 Надзвичайні ситуації природного характеру

Надзвичайні ситуації природного характеру — це небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні морські та прісноводні явища, деградація ґрунтів чи надр, природні пожежі, зміна стану повітряного басейну, інфекційна захворюваність людей, сільськогосподарських тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміна стану водних ресурсів та біосфери [12].

На території України можливе виникнення практично всього спектру небезпечних природних явищ і процесів геологічного, гідрогеологічного та метеорологічного походження. До них належать великі повені, катастрофічні затоплення, землетруси та зсувні процеси, лісові та польові пожежі, великі снігопади та ожеледі, урагани, смерчі та шквальні вітри тощо.

Серед надзвичайних ситуацій природного походження в Україні найчастіше трапляються:

- геологічна небезпечні явища, такі, як зсуви, обвали та осипи, просадки земної поверхні різного походження та ін.;

- метеорологічна небезпечні явища, такі, як зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь;
- гідрологічна небезпечні явища, такі, як повені, паводки, підвищення рівня ґрунтових вод та ін.;
- природні пожежі лісових та хлібних масивів;
- масові інфекції та хвороби людей, тварин і рослин.

Виходячи з визначення стихійного лиха як природного явища, що безпосередньо впливає на стан навколишнього середовища і добробут населення та є екстремальним екологічним фактором, територія України характеризується дуже складними умовами, що визначає полігенетичний характер стихійних лих та певні просторові закономірності їх прояву в різних географічних зонах і районах.

Особливості географічного положення України, атмосферні процеси, наявність гірських масивів, підвищень, близькість теплих морів зумовлює різноманітність кліматичних умов: від надлишкового зволоження в західному Поліссі до посушливого в Південній Степовій зоні. Виняткові кліматичні умови на Південному березі Криму, в горах Українських Карпат та Криму. У результаті взаємодії всіх цих факторів виникають небезпечні стихійні явища. В окремих випадках вони носять катастрофічний характер для навколишнього природного середовища та населення.

Стихійні явища, як правило, виникають у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища, в основному, визначаються проявом трьох головних груп факторів – ендегенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів.

Стихійні лиха, що мають місце на території України, можна поділити на прості, що включають один елемент, наприклад, сильний вітер, зсув або землетрус, та складні, що включають декілька одночасно діючих процесів однієї групи або кількох груп, наприклад, негативних атмосферних та геодинамічних екзогенних процесів, ендегенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів у поєднанні з техногенними.

Аварії природного характеру класифікуються за такими основними ознаками:

- за масштабами наслідків відповідно до територіального поширення;
- за розмірами заподіяних (очікуваних) економічних збитків та людських втрат;
- за кваліфікаційними ознаками надзвичайних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз роботи основних складових системи електропостачання на основі відновлювального джерела енергії – Сонця.

2. Проведено аналіз об'єкту електропостачання, який знаходиться у віддаленому від електромереж місці. Проаналізовано добове споживання електроенергії.

3. Відповідно до даних про поступлення сонячної енергії та споживання електроенергії, обґрунтовано склад фотоелектричної системи. Визначено кількість сонячних панелей і їх спосіб підключення. Вибрано контролер заряду та інвертор.

4. На основі проведеного розрахунку сонячної інсоляції та аналізу енергетичного балансу за місяцями встановлено, що вибрана кількість сонячних панелей генерують потрібну нам потужність для забезпечення будинку електроенергією впродовж трьох місяців. У місяці, що залишилися, працюватиме дизельна електростанція, а акумулятори будуть працювати в буферному режимі.

5. На основі зроблених розрахунків та проведеного аналізу роботи запропонованої системи електропостачання, встановлено, що:

- за розрахунками і графіками споживання будинку та генеруванням сонячних панелей по місяцях видно, що 12 сонячних панелей цілком можуть забезпечити стабільність і надійність подачі електроенергії в літній період, що не можна сказати про періоди року, де пік навантаження буде збільшений, оскільки недостатньо сонячної радіації у ці місяці;
- у місяці, коли електроенергії від сонячних панелей недостатньо, потрібна робота дизельної електростанції;
- акумулятори працюють у буферному режимі, згладжуючи коливання та забезпечуючи безперервність електропостачання при перемиканні навантажень на резервний дизель-генератор. Тобто вони працюють як із сонячними панелями так із дизель-генератором.

– за рахунок роботи акумуляторів у буферному режимі з дизель-генератором вдалося зменшити необхідну його номінальну потужність у 2 рази із 4 кВт до 2 кВт, що позитивно вплине на вартість системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Величко Ю.М. Підвищення ефективності сонячної фотоелектричної енергоустановки// Ю.М.Величко, О.І.Демчук, В.Б.Пусь, А.Г.Стецюк, С.В.Слободян /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей X міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 листоп. 2021.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: 2021. Т. 2. – 17-18.
2. Офіційний сайт компанії «InternationalEnergyAgency». [Електронний ресурс].- Режим доступу <http://www.worldenergyoutlook.org>.
3. 2. Renewables 2013. Global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. [Електронний ресурс]. - Режим доступу <http://www.ren21.net>.
4. Офіційний сайт компанії «InternationalEnergyAgency». [Електронний ресурс]. - Режим доступу <http://www.iea.org>.
5. Douglas J. Arent, Alison Wise, Rachel Gelman. The status and prospects of renewable energy for combating global warming // Energy Economics, Volume 33, Issue 4, July 2011, Pages 584-593
6. Фортов В.Е., Поппель О.С. Возобновляемые источники энергии в мире и в России. Материали 1-го Международного форума «Возобновляемая энергетика». Пути повышения энергетической и экономической эффективности. 22-23 октября 2013г. Москва, стр. 12-22.
7. Філюк Я.О. Світлотехнічні установки з автономним живленням на основі сонячних батарей з акумулюючими елементами/ В.А. Андрійчук, В.П.Коваль// Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні особливості формування і управління інноваційним потенціалом регіонального розвитку туризму та рекреації із залученням молодіжного ресурсу». Тернопіль. 15-17 жовтня 2015 року – С. 185-186.
8. Філюк Я.О. Енергоощадні освітлювальні установки з автономним живленням/ В.А. Андрійчук, В.П.Коваль// Матеріали науково-практичного семінару «Міжнародний інвестиційний форум – виставка з енергоефективності

та енергоощадності 2015». Тернопіль. 8.10.2015 – С. 103-105.

9. Коваль В.П. Збільшення ефективності використання сонячних панелей. / Я.О. Філюк, С.І.Герєга // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202.

10. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасенчко, К. М. Козак // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10.

11. В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. Основи охорони праці. — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.

12. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. К.: Знання, 2006. – 487 с.