

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

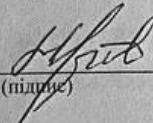
До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепижний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження використання альтернативних
джерел енергії для енергопостачання будинків»

Виконала

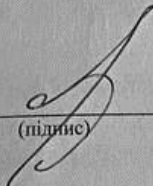

(підпис)

Міхєєва С.А.
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301М

(Науковий) керівник:


(підпис)

Савойський О.Ю.
(прізвище, ініціали)

Суми – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« 11 » 03 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Міхєєвій Софії Анатоліївни

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. **Тема роботи:** Дослідження використання альтернативних джерел енергії для енергопостачання будинків

керівник роботи: Савойський Олександр Юрійович, ст. викладач

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

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «26» 02 2024 р. № 572/ос

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «11» 11 2024 р.

3. **Вихідні дані до роботи** технічні характеристики електротехнічного обладнання, сонячних панелей, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти.

4. **Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, що підлягають розробці):

1 Аналіз існуючих систем енергозабезпечення з використанням альтернативних джерел енергії

2 Обґрунтування параметрів системи енергозабезпечення об'єкту з використанням сонячної енергії

3 Дослідження роботи системи енергопостачання на основі альтернативних джерел

4 Охорона праці.

5 Техніко-економічний розрахунок

Висновки


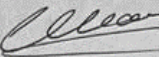
Список використаної літератури

Додатки.

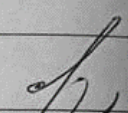
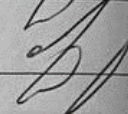
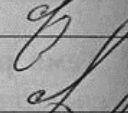

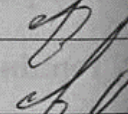


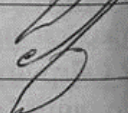
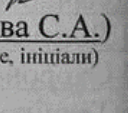
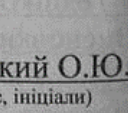

5. **Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:**

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

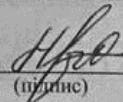
6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
Охорона праці	доц. Василенко О.В.	 09.12.24 р.
Економічне одержування	сп. Викт. Швачко С.Б.	 09.12.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

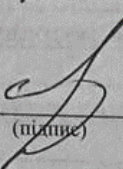
№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 10.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 20.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 25.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 30.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 15.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 10.10.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4» та «Розділ 5»	до 20.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 30.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

Здобувач вищої освіти


(підпис)

(Міхєєва С.А.)
(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**


(підпис)

(Савойський О.Ю.)
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Дослідження використання альтернативних джерел енергії для енергопостачання будинків. Магістерська робота / Неплій Софія Анатоліївна – Суми: СНАУ, 2024 р. 57 с.

У роботі досліджується можливість використання альтернативних джерел енергії для енергозабезпечення об'єктів, зокрема сонячної енергії. Розглянуто різні види відновлюваних джерел енергії, включаючи сонячну, вітрову, біо- та геотермальну енергетику.

Обґрунтовано параметри системи енергопостачання на основі сонячної енергії, розроблено схему підключення сонячної електростанції до мережі, вибрано основні компоненти, такі як фотомодулі, інвертори та акумулятори.

Проведено аналіз рівня сонячної радіації в регіоні, визначено оптимальний кут встановлення фотомодулів, розраховано кількість енергії, яку можна отримати від сонячної електростанції, та її економічну ефективність.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, електропостачання, сонячна енергія, сонячна енергія, сонячна електростанція, кут нахилу фотомодуля, економічна ефективність.

Ілл. 19.

Табл. 21.

Бібл. 27.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	12
1.1. Основні альтернативні види джерел енергії	12
1.2. Сонячна енергія як відновлюване джерело	13
1.2.1. Мережева сонячна електростанція.....	13
1.2.2. Гібридна сонячна електростанція	15
1.2.3. Автономна СЕС.....	16
1.3. Вітер як джерело енергії.....	17
1.4. Потенціал біоенергетики в Україні	19
1.5. Геотермальна енергетика	22
1.6. Висновки до розділу 1	24
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	25
2.1. Визначення розрахункових навантажень споживачів	25
2.2. Складання та опис схеми включення СЕС в мережу	27
2.3. Вибір основних компонентів для сонячної електростанції.....	28
2.3.1. Вибір фотомодулів.....	28
2.3.2. Вибір гібридного інвертора	30
2.3.3. Вибір акумулятора	31
2.4 Вибір пускозахисної апаратури	33
2.4.1 Вибір автоматичних вимикачів	33
2.4.2 Вибір рубильника.....	35
2.4.3. Вибір запобіжника	36
2.4.4. Вибір обмежувачів перенапруг	37
2.5. Висновок до розділу 2	38
3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ	39
3.1. Визначення рівня сонячної радіації в регіоні	39
3.2. Розрахунок оптимального кута встановлення фотомодулів	40
3.3 Аналіз кількості сонячної енергії, що падає на нахилену поверхню	44

3.4. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією	48
3.5 Висновки до розділу 3	50
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	52
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	54
5.1 Вартість впровадження гібридної СЕС	54
5.2. Вартість ремонтних робіт.....	55
5.3 Розрахунок терміну окупності гібридної фотоелектричної системи	56
5.4 Висновки до 5-го розділу	57
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	59
ДОДАТКИ.....	6360

ВСТУП

Актуальність роботи. На сьогодні весь світ стоїть перед серйозними викликами, пов'язаними з енергетичною кризою. Вичерпання традиційних джерел енергії, таких як нафта, газ і вугілля, призводить до постійного зростання цін на енергоносії. Крім того, спалювання викопного палива є основною причиною глобального потепління та забруднення довкілля.

У цих умовах пошук альтернативних, відновлюваних джерел енергії стає не лише бажаним, а й необхідним кроком. В цій роботі досліджується використання сонячної енергії як одного з основних альтернативних джерел для забезпечення енергетичних потреб. Аналізуються можливості інтеграції сонячних електростанцій у систему енергопостачання, а також їх ефективність за різних умов експлуатації. Окрім того, розглядаються інші відновлювані джерела енергії, такі як вітрові та біоенергетичні установки, для досягнення максимальної енергонезалежності.

Мета даного дослідження. Метою дослідження є аналіз потенціалу використання відновлюваних джерел енергії для забезпечення енергопостачання приватних будинків, визначенні оптимальних варіантів застосування таких систем з урахуванням регіональних особливостей та розробці рекомендацій щодо їх впровадження.

Для досягнення вказаної мети в роботі було поставлено наступні завдання:

- проаналізувати основні альтернативні види джерел енергії та системи електропобезпечення будинків на основі альтернативних джерел;
- розробити систему електропостачання будинків на основі використання сонячної енергії;
- здійснити вибір обладнання запропонованої системи електропостачання
- визначити об'єми виробництва електроенергії протягом року;

– обґрунтувати значення оптимального кута нахилу фотомодуля для встановленої широти;

– обґрунтувати запропоновані рішення техніко-економічними розрахунками.

Предметом дослідження є технічні принципи та методи оптимізації використання сонячної енергії для автономного або гібридного електропостачання житлових приміщень.

Об'єктом дослідження є система електропостачання будинків на основі сонячної енергії.

Практичне значення результатів досліджень полягає у тому, що отримані результати можуть бути застосовані для оптимізації проектування й впровадження систем альтернативного енергопостачання приватних будинків, з урахуванням регіональних особливостей та потреб споживачів.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати випускної кваліфікаційної роботи доповідалися та обговорювалися на науково-технічних конференціях Сумського національного аграрного університету (м. Суми), за результатами якої опубліковано дві тези доповіді [1, 2].

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1. Основні альтернативні види джерел енергії

Альтернативні джерела енергії стають все більш важливими в умовах сучасних екологічних викликів і зростання потреб у стійкому енергопостачанні. Серед них ключове місце займає сонячна енергія, яка використовує фотопанелі для перетворення сонячного світла в електрику. Це екологічно чистий ресурс, який не залежить від викопного палива і забезпечує відновлювану енергію, особливо в регіонах з високою сонячною активністю.

Вітрова енергія також є популярною альтернативою, оскільки вітер може генерувати значну кількість електрики за допомогою вітряків, особливо в зонах зі стабільними вітровими потоками. Це джерело є також невичерпним і відносно доступним, що робить його популярним в різних країнах, особливо на узбережжях і в районах з високою вітровою активністю.

Геотермальна енергія – інноваційний напрямок, який використовує тепло з-під земної поверхні для опалення та виробництва електроенергії. Геотермальні системи можуть працювати цілий рік, забезпечуючи постійне енергопостачання, але підходять лише для регіонів із відповідними геологічними умовами.

Крім того, біоенергетика залучає біомасу – органічні відходи та біопаливо для виробництва енергії. Це допомагає утилізувати відходи, одночасно забезпечуючи електроенергію та тепло. Біоенергія не настільки залежить від погодних умов, але потребує збалансованого підходу через можливі викиди вуглекислого газу.

Ці джерела енергії складають базу для розвитку екологічно стійкого майбутнього, допомагаючи зменшити залежність від невідновлюваних ресурсів і зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

1.2. Сонячна енергія як відновлюване джерело

Сонячна енергія, як невичерпне джерело, має значний потенціал для виробництва як теплової, так і електричної енергії на всій території України. Завдяки відсутності шкідливих викидів, сонячна енергетика є екологічно чистою альтернативою традиційним джерелам енергії.

Значний діапазон середньорічної сонячної радіації в Україні, від 1070 кВт·год/м² на півночі до понад 1400 кВт·год/м² на півдні, свідчить про високий потенціал для розвитку сонячної енергетики по всій території країни [3-6].

Враховуючи наявні ресурси та розвинену промислову базу, Україна має всі передумови для становлення потужного виробника фотоелектричного обладнання, здатного задовольнити як внутрішній, так і зовнішній попит.

Сонячні електростанції, незважаючи на високу ефективність мають ряд обмежень. Зокрема, значна площа, необхідна для встановлення станції потужністю 1 МВт (близько 1,5 га), та залежність виробництва електроенергії від сонячної інсоляції є основними факторами, що впливають на масштабування таких систем.

Фотоелектричні установки демонструють стабільну роботу протягом року, проте максимальна продуктивність спостерігається в період з квітня по жовтень.

Завдяки фотоелектричним елементам, розташованим на даху, можна частково забезпечити власні енергетичні потреби, зменшивши таким чином залежність від централізованого електропостачання.

1.2.1. Мережева сонячна електростанція

Мережева сонячна електростанція (СЕС) перетворює сонячне світло на електричну енергію та підключається до загальної електромережі [7, 8].

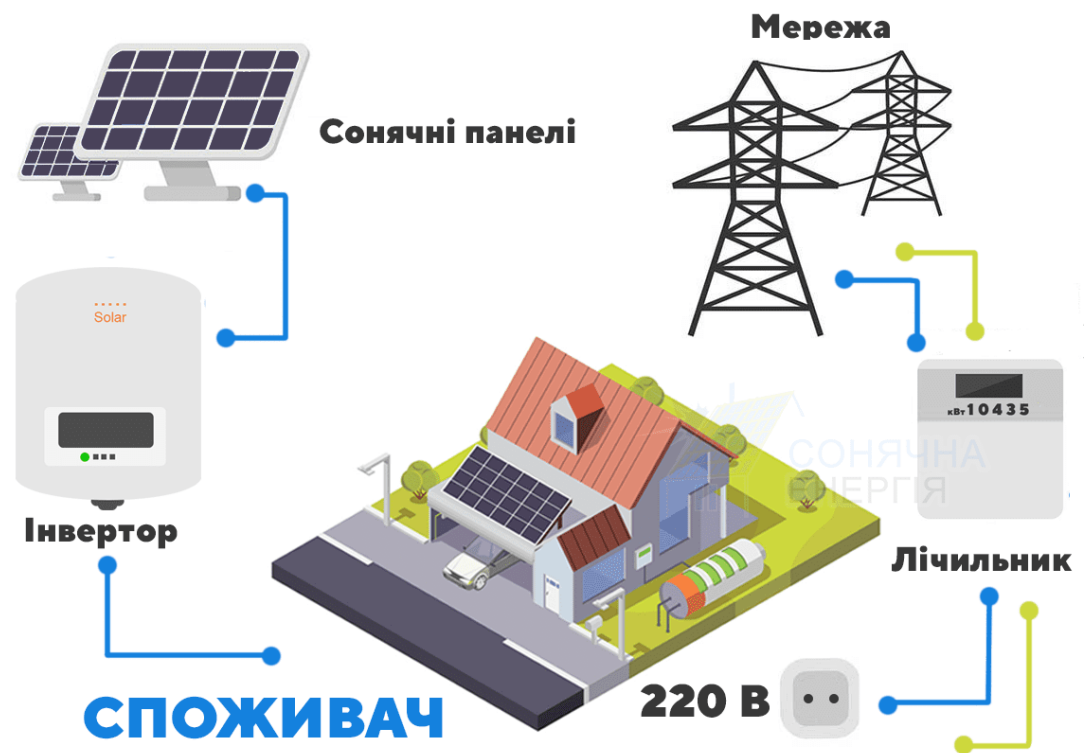


Рис. 1.1. Схема роботи мережевої сонячної електростанції

Сонячні панелі поглинають сонячну радіацію та перетворюють її на електричну енергію у вигляді постійного струму. Отриманий постійний струм подається на інвертор, де відбувається його перетворення на змінний струм, сумісний з параметрами локальної електромережі. Вироблена електроенергія може безпосередньо використовуватися для живлення споживачів. У разі, якщо вироблення енергії перевищує поточні потреби, надлишкова електроенергія автоматично передається в загальну мережу, забезпечуючи можливість компенсації споживання або продажу енергії за «заленим тарифом» [5, 6] .

Встановлення мережевої сонячної електростанції (СЕС) дозволяє суттєво знизити витрати на електроенергію, забезпечуючи ефективне використання власних енергоресурсів. Це екологічно чистий спосіб виробництва енергії, який сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу і підтримує сталий розвиток. Сонячні панелі відзначаються тривалим терміном служби, а сучасні системи є простими в монтажі та вимагають мінімального обслуговування.

Мережеві СЕС можна встановлювати на дахах приватних будинків, дачах, фермах, промислових підприємствах та інших об'єктах, підключених до

електромережі. Для встановлення системи необхідно провести технічний огляд, розробити індивідуальний проект, отримати необхідні дозволи та здійснити монтаж [9, 10].

1.2.2. Гібридна сонячна електростанція

Гібридна сонячна електростанція виступає як інноваційне рішення для забезпечення енергонезалежності приватних домогосподарств. Вона поєднує в собі переваги як автономних, так і мережевих систем, забезпечуючи стабільне електропостачання за будь-яких умов [11, 12].



Рис. 1.2. Схема роботи гібридної сонячної електростанції

Основний принцип роботи гібридної сонячної електростанції полягає в перетворенні сонячної енергії, що поглинається сонячними панелями, в постійний електричний струм, який подається на інвертор для перетворення на змінний струм, сумісний з домашньою електромережею. Частина цієї електроенергії використовується для забезпечення електропостачання побутових приладів, а надлишок акумулюється в батареях для подальшого

використання. Така система забезпечує стабільне енергопостачання, незалежно від зовнішніх факторів. Крім того, надлишки електроенергії можуть бути реалізовані за "зеленим тарифом", що приносить додатковий дохід і підтримує розвиток відновлювальної енергетики.

При виборі гібридної системи слід врахувати середнє та пікове споживання електроенергії, доступну площу для монтажу сонячних панелей, фінансові можливості та необхідні функції, такі як віддалений моніторинг чи забезпечення резервного живлення. Це допоможе визначити оптимальну конфігурацію системи та підібрати обладнання, яке повністю задовольнить ваші потреби.

1.2.3. Автономна СЕС

Автономна СЕС повністю самодостатня система, яка є повністю автономною. Вона перетворює сонячне світло на електричну енергію за допомогою фотоелектричних панелей та накопичує її в акумуляторних батареях для використання за потреби. Це ідеальний варіант для забезпечення електроенергією об'єктів, розташованих в місцях, де централізоване електропостачання є недоступним або ненадійним [13-15].

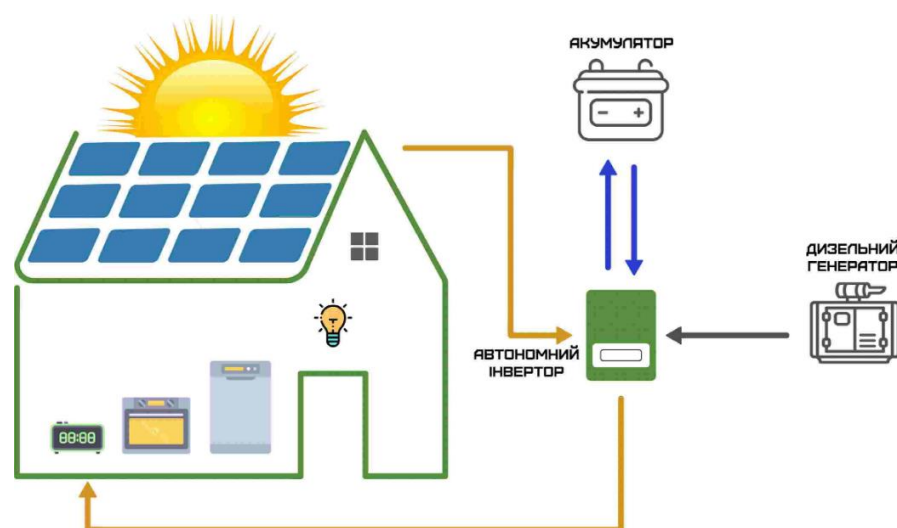


Рис. 1.3. Принцип роботи автономної СЕС

Робота автономної станції починається з перетворення сонячного випромінювання в постійний електричний струм за допомогою сонячних

панелей. Інвертор перетворює цей постійний струм на змінний, придатний для живлення побутових приладів. Електроенергія або використовується для поточних потреб, або зберігається в акумуляторних батареях. Під час нічного періоду або за відсутності сонячного світла споживання електроенергії здійснюється від акумуляторів.

Однією з головних переваг автономних сонячних електростанцій є їхня екологічність. Вони не виробляють шкідливих викидів, а використовують чисту сонячну енергію. Крім того, такі системи дозволяють досягти повної енергетичної незалежності, що особливо актуально для віддалених населених пунктів, дач, кемпінгів та інших об'єктів.

Автономні сонячні електростанції також економічно вигідні на довготривалу перспективу. Після початкових інвестицій на встановлення системи, ви позбавляєтеся від щомісячних платежів за електроенергію.

Щоб правильно підібрати автономну сонячну електростанцію, потрібно врахувати кілька важливих факторів. По-перше, слід визначити загальне споживання електроенергії, розрахувавши потужність приладів, які планується жити від станції. Також необхідно врахувати кліматичні умови, оскільки інтенсивність сонячної радіації в конкретному регіоні суттєво впливає на продуктивність панелей. Важливим є розрахунок площі, яка потрібна для встановлення сонячних панелей, щоб забезпечити достатнє вироблення енергії. Крім того, слід обрати тип акумуляторних батарей, орієнтуючись на необхідну ємність та умови експлуатації [16, 17].

1.3. Вітер як джерело енергії

Вітроенергетика продовжує демонструвати стрімкий розвиток, з сумарною встановленою потужністю, що перевищує 450 ГВт. Завдяки цьому, вітроенергетика забезпечує понад 3% світового виробництва електроенергії. Прогнози свідчать про подальше зростання цього показника до 12% до 2025 року. Європейський Союз є лідером у цій галузі, забезпечуючи 7,5% своїх

енергетичних потреб за рахунок вітроенергетики. Країни, такі як Данія, Іспанія та Німеччина, демонструють ще більш високі показники, доводячи економічну доцільність та ефективність вітроенергетики [17].

Україна має значний потенціал для розвитку вітроенергетики завдяки своєму географічному розташуванню. Найбільший потенціал для розвитку вітроенергетики мають причорноморські та приазовські регіони, Карпати та степові зони. Однак, існують певні перешкоди, такі як нестабільна законодавча база, висока вартість підключення до електромереж, відсутність достатньої інфраструктури та суспільний опір. Незважаючи на ці труднощі, перспективи розвитку вітроенергетики в Україні є дуже позитивними. Держава активно підтримує розвиток відновлюваних джерел енергії, у тому числі вітроенергетики. Інвестуючи у вітроенергетику, Україна не тільки забезпечить себе чистим та відновлюваним джерелом енергії, але й сприятиме розвитку економіки та покращенню екологічної ситуації.

Вітряні електростанції все частіше встановлюють на приватних будинках, щоб забезпечити себе автономним джерелом енергії.

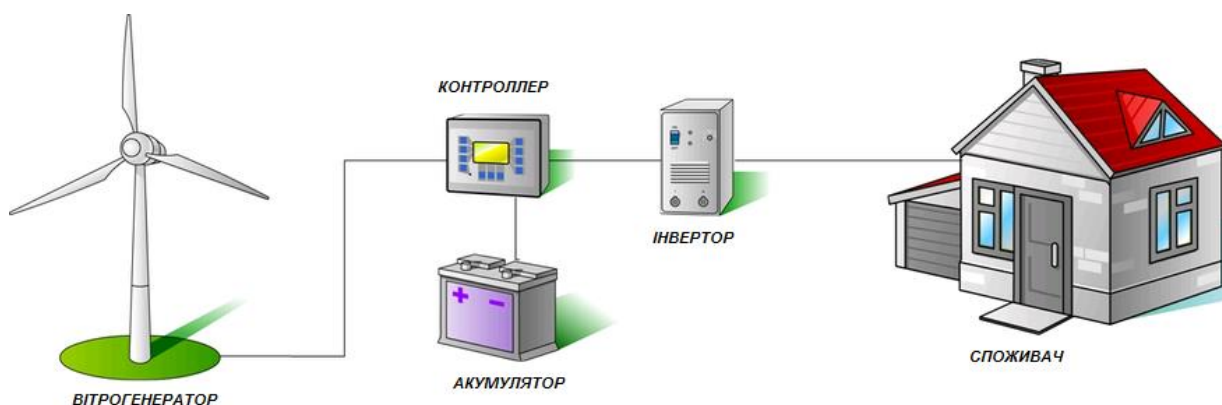


Рис 1.4. Принцип роботи вітряної електростанції

Принцип роботи вітрогенератора полягає в тому, що кінетична енергія вітру приводить в рух лопаті, які з'єднані з ротором. Обертання ротора передається генератору, який перетворює механічну енергію на електричну. Вироблена електроенергія може бути безпосередньо використана для живлення

електроприладів або накопичена в акумуляторних системах для подальшого використання під час безвітряних періодів чи в нічний час.

Перевагами використання вітряної електростанції для дому є екологічність, енергонезалежність, економічна ефективність в довгостроковій перспективі та довговічність.

Існують два основних типи вітрогенераторів для будинків, з горизонтальною віссю обертання (найбільш поширені) та з вертикальною віссю обертання (більш компактні, але менш ефективні). При виборі вітрогенератора необхідно враховувати вітровий потенціал місцевості, споживання електроенергії, площу для встановлення та бюджет. Важливо розуміти, що для встановлення вітрогенератора можуть знадобитися дозволи, а також регулярне технічне обслуговування. Для безперебійного електропостачання за відсутності вітру необхідні акумулятори та інвертор, який перетворює постійний струм, вироблений вітрогенератором, на змінний.

1.4. Потенціал біоенергетики в Україні

Розвиток біоенергетики є одним з найважливіших завдань для енергетичного сектору України. Наявність значних ресурсів біомаси створюють сприятливі умови для розвитку цього сегмента. Однак, низький рівень використання потенціалу біомаси, особливо соломи та інших рослинних залишків, стримує розвиток галузі.

Україна має значний потенціал для виробництва енергії з твердої біомаси. Щорічно утворюється понад 50 мільйонів тонн зернових культур, що супроводжується утворенням великої кількості рослинних залишків. Енергетичний потенціал цієї біомаси оцінюється в 18 мільйонів тонн нафти, що дозволяє замінити близько 22 мільярдів кубічних метрів природного газу на рік [23].

Значні земельні ресурси та рослинний потенціал України, а також наявність виробничих потужностей створюють сприятливі умови для розвитку

виробництва рідких біопалив. В Україні щорічно виробляти понад 1 мільйон тонн біопалива, що еквівалентно заощадженню близько 1,2 млрд. куб. метрів природного газу.

Світові тенденції до подорожчання енергоресурсів та висока залежність України від імпорту нафтопродуктів вимагають пошуку альтернативних джерел палива. Розширення виробництва біодизелю з ріпаку та біоетанолу на основі реконструкції існуючих спиртових заводів є перспективним напрямом розвитку вітчизняної енергетики. Це дозволить зменшити викиди парникових газів та підвищити енергетичну безпеку країни.

Технології метанового зброджування органічних відходів тваринництва та твердих побутових відходів є ефективним способом виробництва біогазу, який може частково або повністю замінити традиційні енергоносії. Біогаз, що містить до 70% метану, є перспективним джерелом енергії з високим потенціалом.

Біогаз, що виробляється шляхом анаеробного розкладання біомаси, є універсальним енергоносієм, який може замінити як природний газ і зріджені гази, так і рідкі види палива, що використовуються в двигунах внутрішнього згоряння. Біогаз може бути ефективно використаний для виробництва теплової та електричної енергії, що робить його перспективним джерелом енергії для сільського господарства.

Проблема звалищ твердих побутових відходів може бути перетворена на можливість для отримання відновлюваної енергії. Завдяки процесу розкладання органічних речовин на звалищах утворюється біогаз, який можна використовувати як альтернативне паливо. Це дозволить не тільки вирішити проблему утилізації відходів, але й знизити залежність від традиційних джерел енергії.

Склад біогазу, що утворюється на полігонах твердих побутових відходів, є варіабельним і залежить від морфологічного складу відходів та умов їх захоронення. Проте, основними компонентами біогазу є метан (вміст 40-60%) та вуглекислий газ (вміст 30-45%).

Біогазові електростанції дозволяють перетворювати органічні відходи на чисту енергію. Цей процес відбувається завдяки анаеробному бродінню, під час якого мікроорганізми розкладають органічні речовини, утворюючи біогаз. Біогаз, складається переважно з метану, який можна спалювати для виробництва електроенергії та тепла.

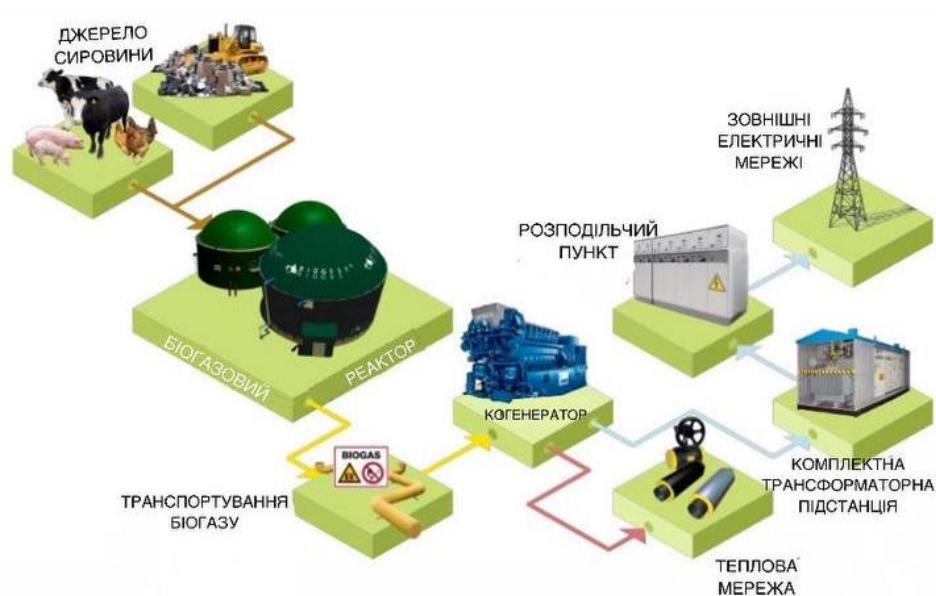


Рис. 1.5 Схема функціонування біогазової електростанції

Процес виробництва електроенергії на біогазовій станції починається зі збору та підготовки органічних відходів, таких як гній, рослинна біомаса, харчові відходи. Підготовлена суміш поміщається в герметичний реактор, де в анаеробних умовах відбувається процес бродіння. В результаті бродіння утворюється біогаз, який очищається від шкідливих домішок і подається в газовий двигун. Газовий двигун, обертаючи генератор, виробляє електричний струм. Тепло, що виділяється під час спалювання біогазу, може використовуватися для опалення або інших теплових процесів. Після завершення процесу бродіння залишається дигестат – органічне добриво, багате на поживні речовини.

Біогазові електростанції мають ряд переваг. Вони є екологічно чистими, оскільки сприяють зменшенню обсягів органічних відходів та сприяють зменшенню кількості парникових газів в атмосфері. Крім того, вони є

відновлюваним джерелом енергії, оскільки використовують органічні відходи, які постійно відновлюються. Біогазові станції також є економічно ефективними, оскільки зменшують залежність від традиційних енергоносіїв та знижують витрати на утилізацію відходів [5].

Біогазові електростанції мають широкий спектр застосування. Їх використовують у сільському господарстві для переробки гною та рослинних залишків, на сміттєзвалищах для утилізації органічної фракції твердих побутових відходів, в промисловості для переробки промислових відходів, а також у комунальному господарстві для очищення стічних вод.

Незважаючи на значні переваги, розвиток біогазової енергетики стикається з певними викликами. Одним з основних є висока вартість обладнання. Крім того, ефективність роботи біогазової станції залежить від якості та кількості біомаси, що подається на переробку.

1.5. Геотермальна енергетика

В Україні цей вид енергетики має обмежене застосування через особливості геологічної будови. Однак, існують перспективні напрямки використання геотермального тепла для опалення та гарячого водопостачання

Геотермальні електростанції є ефективним способом перетворення теплової енергії Землі в електричну. Використання геотермальних вод з температурою понад 100°C дозволяє застосовувати різноманітні технології для виробництва електроенергії, що обумовлює високу гнучкість геотермальних електростанцій.

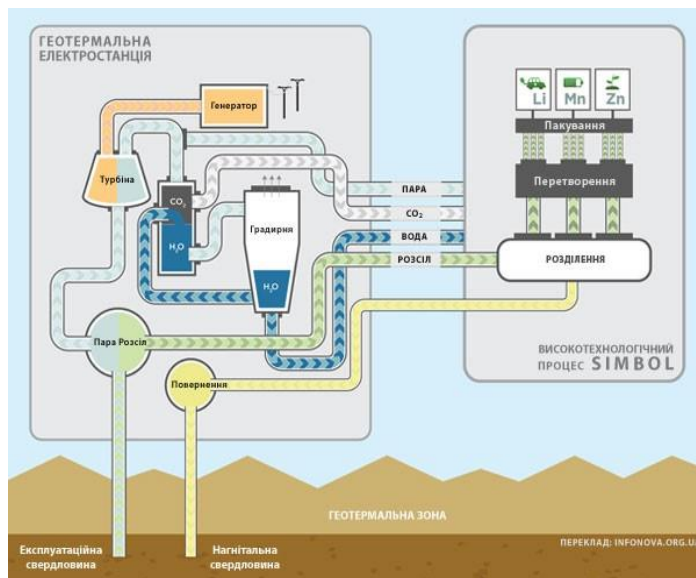


Рис. 1.6. Принцип роботи геотермальної електростанції

Найбільш поширеними схемами геотермальних електростанцій є використання сухої пари та гідротермальної води. Геотермальні електростанції характеризуються високою екологічністю, практично невичерпним джерелом енергії, низькими експлуатаційними витратами та стабільністю виробництва електроенергії.

Незважаючи на ряд переваг, геотермальна енергетика має ряд обмежень, пов'язаних з екологічними ризиками, сейсмічною активністю та високими інвестиційними витратами. Для збереження довкілля вкрай важливо розробити ефективні системи очищення та утилізації геотермальних вод.

Геотермальний потенціал України, обумовлений геологічними особливостями регіону, дозволяє розглядати можливість використання геотермальної енергії. Головною метою є вивчення та залучення до використання термальних вод, ресурси яких досягають 8,4 млн. тонн нафтового еквівалента на рік.

Для забезпечення сталого використання геотермальних ресурсів необхідно розробити оптимальні режими експлуатації родовищ, які дозволять підтримувати баланс між видобутком теплової енергії та її природним поповненням.

1.6. Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано основні альтернативні джерела енергії, серед яких сонячна, вітрова, біоенергетика та геотермальна енергетика. Виявлено, що в Україні існує значний потенціал для їх використання завдяки сприятливим природним умовам та наявності ресурсів.

2. Встановлено, що найбільш перспективним варіантом для умов Сумського регіону є використання сонячних електростанцій як альтернативного джерела живлення приватних будинків.

Виходячи з одержаних результатів аналізу наукових робіт та сучасних тенденцій у сфері електрозабезпечення споживачів на основі альтернативних джерел енергії сформовано такі задачі дослідження:

- розробити систему електропостачання будинків на основі використання сонячної енергії;

- здійснити вибір обладнання запропонованої системи електропостачання

- визначити об'єми виробництва електроенергії протягом року;

- обґрунтувати значення оптимального кута нахилу фотомодуля для встановленої широти;

- обґрунтувати запропоновані рішення техніко-економічними розрахунками.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1. Визначення розрахункових навантажень споживачів

Для ефективного проектування та експлуатації системи електропостачання необхідно визначити розрахункові навантаження кожного з підключених споживачів електроенергії. Цей процес включає в себе аналіз потужності пристроїв, їхнього часу роботи протягом доби та оптимізацію системи з урахуванням реальних потреб. Визначення розрахункових навантажень дозволяє забезпечити стабільну роботу всієї системи, уникнути перенавантажень, а також сприяє раціональному використанню енергії та економії ресурсів.

Таблиця 2.1. Визначення денного максимуму споживання електроенергії

Тип споживача	Потужність споживача, Вт	Час роботи, год	Споживання, кВт·год
Телевізор	300	5	1,5
Комп'ютер	500	5	2,5
Сигналізація	50	12	0,6
Газовий котел	150	12	1,8
Холодильник	150	12	1,8
Пральна машина	1000	2	2,0
Всього			10,2

Таблиця 2.2. Визначення вечірнього максимуму споживання електроенергії

Тип споживача	Потужність споживача, Вт	Час роботи, год	Споживання, кВт·год
Холодильник	150	12	1800
Освітлення	200	3	600
Сигналізація	50	12	600
Газовий котел	160	12	1920
Всього, кВт			4,9

Аналіз даних споживання електроенергії за 2024 рік показав сезонні коливання. В опалювальний період (жовтень-квітень) спостерігається підвищене споживання електроенергії внаслідок використання електроприладів опалення (табл. 2.3). Середньомісячне споживання в цей період становило 183-151 кВт*год, а загальне річне споживання – 2041,2 кВт*год.

Таблиця 2.3 Показники споживання електроенергії за рік

Місяць	Максимальна потужність, кВт	Обсяг споживання, кВт*год
Січень	7,65	183,6
Лютий	7,65	183,6
Березень	7,65	183,6
Квітень	7,65	183,6
Травень	6,3	151,2
Червень	6,3	151,2
Липень	6,3	151,2
Серпень	6,3	151,2
Вересень	6,3	151,2
Жовтень	7,65	183,6

Листопад	7,65	183,6
Грудень	7,65	183,6
Річна сума		2041,2

Розрахуємо щомісячне навантаження споживачів в опалювальний сезон:

$$P_{\text{місяць}} = P_{\text{день}} * 0,75 \quad (2.1)$$

де $P_{\text{місяць}}$ – енергоспоживання за місяць кВт*год

$P_{\text{день}}$ – енергоспоживання за день, кВт*год

0,75 – коефіцієнт одночасності.

$$P_{\text{січень}} = 10,2 * 0,75 = 7,65 \text{ кВт} * \text{год}$$

2.2. Складання та опис схеми включення СЕС в мережу

Мережева сонячна електростанція включає в себе сонячні панелі, інвертор та МРРТ-контролер, запобіжники, автоматичні вимикачі та лічильник. Запропонована схема включення СЕС показана на (рис. 2.1).

Схема включення СЕС працює наступним чином. Сонячні панелі виробляють електроенергію у вигляді постійного струму. Цей струм проходить через запобіжники з тримачем, а також через обмежувач перенапруги. Потім струм проходить через роз'єднувач, який дозволяє вручну відключати панелі для обслуговування, і МРРТ трекери. Мережевий інвертор перетворює постійний струм у змінний, який придатний для використання в домашній мережі. Далі, змінний струм проходить через автоматичний вимикач і диференціальне реле, що захищають внутрішню електромережу від коротких замикань і витоків струму, а також через обмежувач перенапруги для захисту від стрибків напруги на стороні змінного струму.

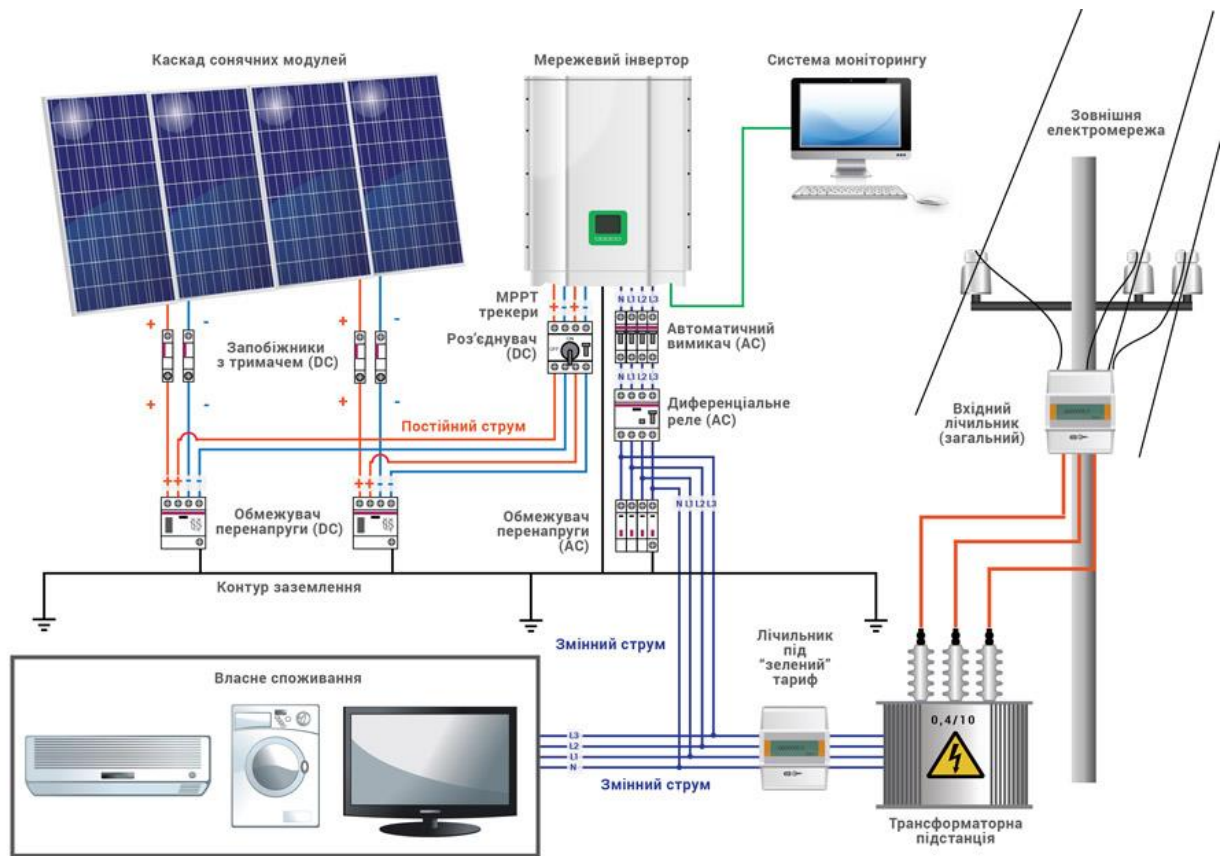


Рис 2.1. Схема включення СЕС в мережу

Енергія використовується для живлення домашніх приладів. Якщо вироблена електроенергія перевищує потреби дому, її надлишки передаються в загальну електромережу через лічильник “зелений тариф”. Якщо ж енергії не вистачає, будинок може отримувати її з зовнішньої мережі. Уся система підключена до контуру заземлення, що забезпечує безпеку експлуатації.

2.3. Вибір основних компонентів для сонячної електростанції

2.3.1. Вибір фотомодулів

В якості фотомодуля встановлюємо високопродуктивні монокристалічні сонячні панелі 455 Вт (рис. 2.2), серії BSM455M-72HPH [18], електричні та технічні характеристики наведені в таблицях (2.4).

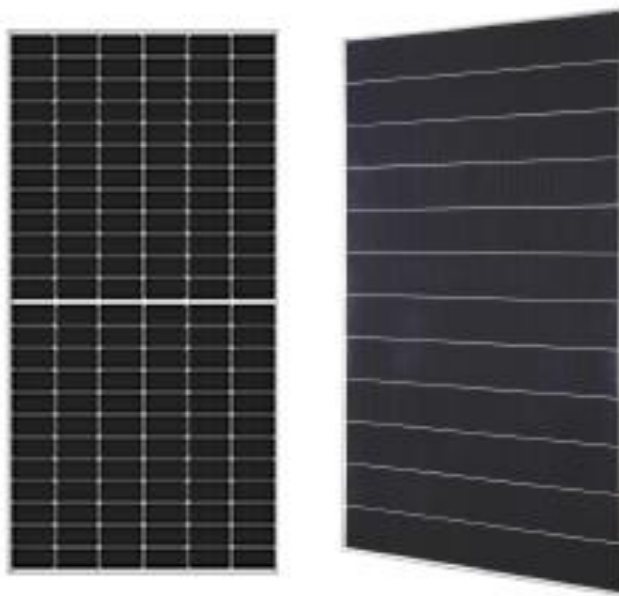


Рис 2.2 Монокристалічна сонячна панель 455 Вт

Таблиця 2.4. Технічні характеристики фотомодуля

BSM455M-72HPH	
Параметр	Значення
Напруга відкритого ланцюга , В	49,5
Струм при максимальній потужності, А	10,92
Струм короткого замикання, А	11,66
Максимальна потужність, Вт	455
Напруга при максимальній потужності, В	41,7
ККД модуля, %	20,9
Ступінь захисту, IP	68
Вага, кг	21,5
Довжина, мм	2094
Ширина, мм	1038
Товщина, мм	35

Визначимо кількість панелей для електропостачання та продажу надлишків електроенергії:

$$N = \frac{P_{заг}}{P_{панелі}} \quad (2.2)$$

де N - кількість панелей

$P_{\text{заг}}$ - загальна потужність системи, Вт

$P_{\text{панелі}}$ - потужність однієї панелі, Вт

$$N = \frac{30000}{455} = 65,9 \text{ панелей}$$

Округлюємо в більшу сторону: 66 панелей

2.3.2. Вибір гібридного інвертора

Вибір гібридного інвертора проводимо за потужністю обраної гібридної сес, тобто 30кВт. Обираємо гібридний інвертор GoodWe серії GW29,9K-ET [19], (рис. 2.3), технічні характеристики наведені в таблиці 2.6.



Рис 2.3 Гібридний інвертор GoodWe GW29,9K-ET

Таблиця 2.6. Технічні характеристики гібридного інвертора

GoodWe GW29,9K-ET	
Параметр	Значення
Номінальна потужність, кВт	29,9
Максимальна напруга MPP, В	850,0
Номінальна напруга постійного струму, В	620 В
Кількість МРРТ, шт	2
ККД, %	98,2
Система пам'яті	Hybrid-WR
Тип живлення, фази	3
Інтерфейси	WiFi, Bluetooth

2.3.3. Вибір акумулятора

Обираємо акумуляторний блок Dyness B4850 [20] наведений на (рис. 2.4) технічні характеристики були представлені в таблиці 2.7.



Рис 2.4 Акумуляторний блок Dyness B4850

Таблиця 2.7 Технічні характеристики акумулятора

Dyness B4850	
Параметр	Значення
Тип	LiFePO4
Номінальна напруга, В	48
Вихідна потужність, Вт	2400

Максимальний зарядний струм, А	50
Мінімальна напруга, В	41
Напруга зарядки, В	54
Піковий струм розряду, А	55
Номінальний струм розряду, А	50
Пікова потужність розряду, Вт	2640
Номінальна потужність розряду, Вт	2400
Кількість циклів	6000+
Робоча температура, С°	-20 +55

Для максимальної автономності, розрахуємо кількість акумуляторів, необхідних для покриття добового споживання при повністю розряджених акумуляторах вночі та повному заряді вдень (за умови достатньої сонячної інсоляції).

Розрахуємо необхідну ємність акумуляторів для однієї доби автономної роботи:

$$E_{об} = \frac{E_{доб}}{Гр} \quad (2.3)$$

де $E_{об}$ - необхідна ємність акумуляторів для однієї доби автономної роботи, кВт·год

$E_{доб}$ - середнє добове споживання електроенергії, кВт·год

$Гр$ - глибина розряду акумулятора

$$E_{об} = \frac{15,1}{0,8} = 12,08 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Обчислимо кількість акумуляторів Dyness B4850:

$$N = \frac{E_{заг}}{E_{одного}} \quad (2.4)$$

де $N_{акум}$ - кількість акумуляторів, А*год

$E_{заг}$ - загальна необхідна ємність, А*год

$E_{\text{одного}}$ - ємність одного акумулятора, А*год.

$$N_{\text{акум}} = \frac{12,08}{2,4} = 5 \text{шт.}$$

2.4 Вибір пускозахисної апаратури

Вибір правильної пускозахисної апаратури є критичним етапом при проектуванні сонячної електростанції. Від цього залежить не лише безпека системи, але й її ефективність. Далі наведено детальні рекомендації з розрахунками, які допоможуть зробити оптимальний вибір.

2.4.1 Вибір автоматичних вимикачів

В електричних мережах змінного струму автоматичні вимикачі виконують функції захисту від перевантажень, коротких замикань та інших аварійних режимів, а також забезпечують безпечне вмикання та вимикання електричних навантажень, підключених до ліній електропередач.

Вибір автоматичного вимикача проводимо за наступними умовами [21, 22]:

за номінальною напругою:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{м}} \quad (2.5)$$

де $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга, В;

$U_{\text{м}}$ – напруга живлення мережі, В;

за кількістю полюсів – триполюсний;

за видом розчеплювача – Комбінований;

за номінальним струмом;

$$I_{\text{нав}} \geq I_{\text{н.д}} \quad (2.6)$$

де $I_{\text{нав}}$ - номінальним значення струму, А;

$I_{н.д}$ - номінальний струм, А;

за номінальним струмом розчеплювача:

$$I_{н.розч} \geq I_{н.д} \quad (2.7)$$

за струмом відсічки розчеплювача:

$$I_{відс.розч.} \geq (1,5 - 1,6)k_i I_{н.д.} \quad (2.8)$$

де $I_{відс.розч}$ – струм відсічки розчеплювача;

K_3 – кратність пускового струму;

за кліматичним виконанням – УХЛ;

категорія розміщення – 1;

ступень захисту – IP20.

В якості прикладу виберемо автоматичний вимикач АВВ S203-C50. За розрахунковим струмом $I_{розр.} = 43,4\text{А}$.

Для забезпечення безпечної експлуатації електричної мережі встановили автоматичні вимикачі з номінальним струмом 50 А на кожен фазу.



Рис 2.5. Автоматичний вимикач АВВ S203-C50

За умовою:

$$U_{ном} = 400\text{В} \geq U_{мережі} = 230\text{В}$$

Умова виконується.

Таблиця 2.8 Основні технічні характеристики

Номінальний струм	50А
Кількість полюсів	3Р
Номінальна робоча напруга	230/400 V AC
Характеристика відключення	C
Січення кабелю	до 35 мм ²
Струм короткого замикання	6кА
Ступінь захисту	IP20
Механічна зносостійкість	20 тис. циклів
Діапазон робочих температур	від -25 до +55°С

Розрахунки параметрів кола будемо проводити на основі значень струму та напруги, характерних для режиму пікової потужості сонячних панелей.

2.4.2 Вибір рубильника

Вибір рубильників проводимо на основі номінальної напруги, номінального струму, допустимого комутованого струму, конструктивного виконання, ступеня захисту, кліматичних умов та категорії розміщення. [22].

Для підключення навантаження до джерела постійного струму буде використаний рубильник моделі OT63F3C 3P 63A компанії АВВ.

Вибір проводимо за умовою:

$$I_{\text{нам}} 63A \geq I_{\text{мережі}} 21,84A$$



Рис 2.6. Рубильник АВВ ОТ63F3С 3Р 63А

2.4.3. Вибір запобіжника

Щоб убезпечити сонячні панелі від пошкоджень, в кожен їхній ланцюг встановлюється спеціальний запобіжник. Цей запобіжник повинен бути розрахований на струм, який значно перевищує максимальний можливий струм в цьому ланцюгу.

$$I_{\text{нам}} = I_{\text{КЗ}} * 1,25 \quad (2.9)$$

де $I_{\text{КЗ}}$ – струм короткого замикання

1,25 - коефіцієнт запасу для захисту від пікових навантажень

$$I_{\text{нам}} = 11,66 * 1,25 = 14,57 \text{ A}$$

$$I_{\text{нам}} 16 \text{ A} \geq I_{\text{мережі}} 14,57 \text{ A}$$



Рис 2.7. Запобіжник АВВ 16А, OFAF000Н16

2.4.4. Вибір обмежувачів перенапруг

Для забезпечення безпечної роботи сонячної системи, оберемо DC обмежувач перенапруги з такими характеристиками (рис. 2.8):

Напруга - від 1000 В, струм - до 70 А.



Рис 2.8. Обмежувач перенапруги ABB OVR PV T1-T2 12.5-1000 P TS QS

Серія пристроїв ABB OVR PV призначена спеціально для захисту фотоелектричних систем постійного струму (рис. 2.9).



Рис 2.9. Обмежувач перенапруг ABB OVR T2 40-600 P TS QS

Вони забезпечують надійний захист від комунікаційних перенапруг та грозових розрядів типів T1 і T2, які можуть пошкодити сонячні панелі та

інвертори. Пристрої сертифіковані відповідно до європейських (EN 50539-11) та американських (UL 1449 5th Edition) стандартів безпеки. Моделі з маркуванням "TS" додатково оснащені сигнальним контактом для індикації спрацювання захисту.

Для захисту електромережі з номінальною напругою 400 В необхідно застосувати АС обмежувач перенапруги, розрахований на напругу не менше 600 В струм 50А.

2.5. Висновок до розділу 2

1. Визначено розрахункові навантаження споживачів для денного та вечірнього споживання. Встановлено, що денне споживання становить 10,2 кВт·год, а вечірнє – 4,9 кВт·год. Виявлено, що в опалювальний період (жовтень-квітень) спостерігається підвищене споживання електроенергії внаслідок використання електроприладів опалення. Середньомісячне споживання в цей період становить 183-151 кВт·год, а загальне річне споживання – 2041,2 кВт·год.

2. Запропоновано схему включення сонячної електростанції в мережу. Розроблена схема забезпечує автономне електропостачання будинку та продаж надлишків електричної енергії в зовнішню мережу за зеленим тарифом.

3. Виконано вибір компонентів системи електропостачання з використанням сонячної енергії. Як фотомодулі обрано 66 монокристалічних сонячних панелей загальною потужністю 30 кВт. В якості інвертора обрано гібридний інвертор GoodWe серії GW29,9K-ET. Розраховано та обрано систему для акумуляції енергії та пускозахисну апаратуру.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ

3.1. Визначення рівня сонячної радіації в регіоні

В роботі запропоновано встановлення в якості гібридної СЕС для приватного будинку в місті Суми.

Координати місця розташування:

Широта: 50.86731;

Довгота: 34.76866.

Сонячна радіація горизонтальної поверхні для даного регіону (м.Суми), згідно [23], наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Сонячна радіація в м. Суми протягом року

Місяць	Кількість днів у місяці, <i>n</i>	Пряма сонячна радіація на гориз. поверхню, ккал/м ²	Дифузна сонячна радіація на гориз. поверхню, ккал/м ²	Сумарна сонячна радіація на гориз. поверхню, ккал/м ²
Січень	31	0,6	1,8	2,4
Лютий	28	0,9	2,2	3,1
Березень	31	3,2	4,1	7,3
Квітень	30	6,1	5,1	11,2
Травень	31	9,4	5,9	15,3
Червень	30	10,9	5,7	16,6
Липень	31	12,1	5,4	17,5
Серпень	31	9,8	4,6	14,4
Вересень	30	7,1	3,4	10,5
Жовтень	31	2,9	2,9	5,8
Листопад	30	0,9	1,5	2,4
Грудень	31	0,5	1,2	1,7
Річна сума	365	64,4	43,8	108,2

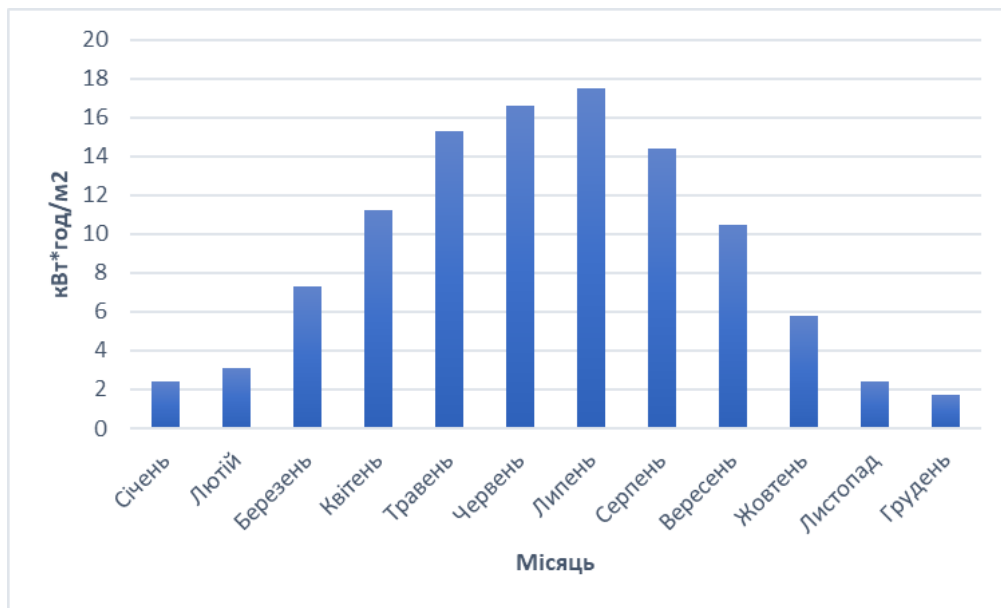


Рис. 3.1. Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню в м. Суми

На основі отриманих даних, можна зробити висновок, що сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню в м. Суми змінюється протягом року. Найвищі значення радіації спостерігаються у літні місяці, зокрема в червні та липні, коли сонячна радіація досягає найвищого значення (16,6 та 17,5 кВт·год/м²). Найнижча радіація характерна для зимових місяців, особливо в грудні, вона становить лише 1,7 кВт·год/м².

3.2. Розрахунок оптимального кута встановлення фотомодулів

Правильне планування сонячної електростанції передбачає детальний аналіз роботи фотоелектричних модулів. Це дозволить визначити, чи буде система працювати цілий рік, чи її робота буде сезонною, що, в свою чергу, вплине на вибір обладнання та загальну ефективність системи.

Для досягнення максимальної ефективності сонячної панелі необхідно забезпечити пряме падіння сонячних променів на її поверхню [23]. Коли кут між променями Сонця і панеллю (кут β) дорівнює нулю, тобто промені падають перпендикулярно, панель виробляє найбільшу кількість електроенергії. Зі

збільшенням кута β , ефективність панелі знижується через відбивання частини сонячного випромінювання.

Для розрахунку інсоляції нахиленої поверхні необхідно обчислити ряд сонячних кутів. Основні кути, необхідні для цього аналізу, представлені на рисунку 3.2.

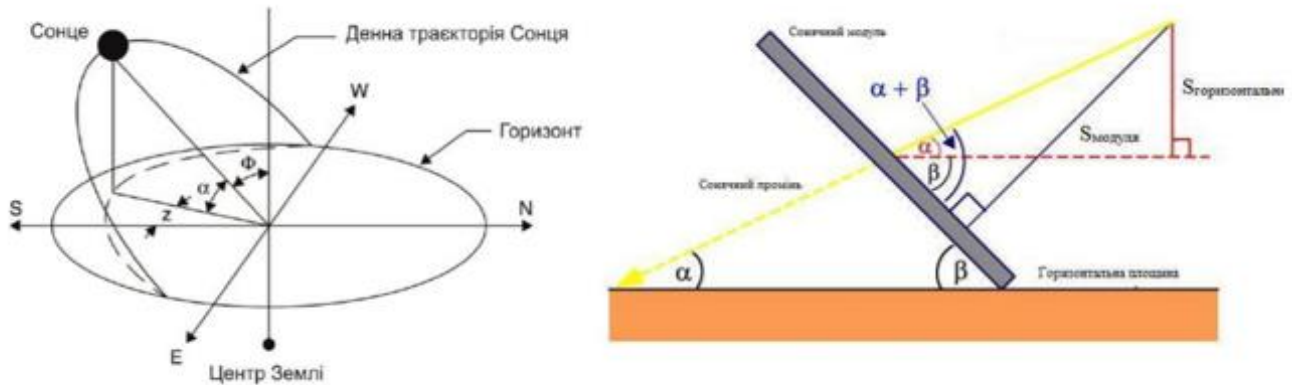


Рис. 3.2 Схема траєкторії Сонця та кут нахилу сонячної панелі

Кут нахилу сонячних панелей можна обчислити за формулою:

$$\beta = 90 - \alpha \quad (3.1)$$

де α – кут між променями Сонця і горизонтальною поверхнею землі. Він дорівнює нулю на сході і досягає максимального значення (90 градусів) опівдні, коли Сонце знаходиться в зеніті.

Тоді кут підйому Сонця під час сонячного полудня:

$$\alpha = 90 - \phi + \delta \quad (3.2)$$

де ϕ – географічна широта місцевості, у нашому випадку $\phi = 50,86$ градусів.

δ – кут схилення сонця, цей кут визначає, наскільки північніше або південніше небесного екватора знаходиться Сонце в певний момент часу.

Кут схилення δ у дні рівнодення (22 березня та 22 вересня) дорівнює 0° . Влітку він приймає позитивні значення, а взимку — від'ємні. Максимальне значення $+23,31^\circ$ досягається під час літнього сонцестояння (22 червня), а мінімальне $-23,34^\circ$ — під час зимового сонцестояння (22 грудня).

Для точного визначення кута схилення застосовується наступна формула:

$$\delta = 23,45 \times \sin \frac{360}{365} (284 + N), \text{ градусів} \quad (3.3)$$

де N - номер дня в році, починаючи з 1 січня.

Щоб підібрати найкращий кут нахилу сонячних панелей на весь рік, розрахуємо оптимальний кут по кожному місяцю. Для цього визначимо, який день кожного місяця вважати середнім.

Таблиця 3.2 Дані для розрахунку оптимального кута нахилу сонячних панелей

Місяць	N	δ (рад.)	δ (град.)	α	β
Січень	17	-0,32	-21,27	17,87	72,13
Лютий	48	-0,23	-13,29	25,85	64,15
Березень	76	-0,05	-2,82	36,92	53,08
Квітень	107	0,16	9,41	48,55	41,45
Травень	137	0,33	18,79	57,93	32,07
Червень	168	0,41	23,31	62,45	27,55
Липень	198	0,38	21,52	60,66	29,34
Серпень	229	0,24	13,78	52,92	37,08
Вересень	260	0,04	2,22	41,36	48,64
Жовтень	270	-0,17	-9,60	29,54	60,46
Листопад	321	-0,33	-19,15	19,99	70,01
Грудень	251	-0,41	-23,34	15,8	74,2

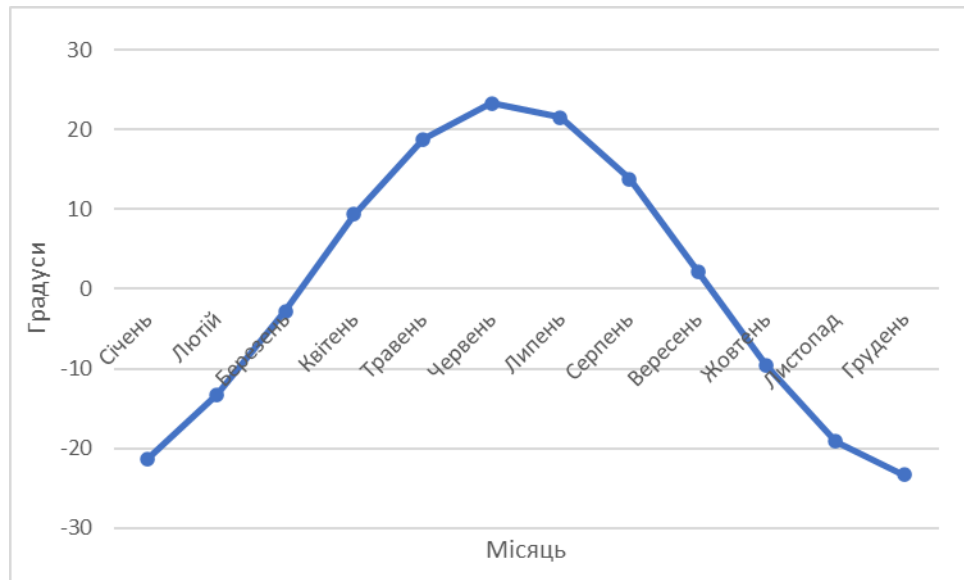


Рис. 3.3 Зміна кута нахилу сонячних променів протягом року

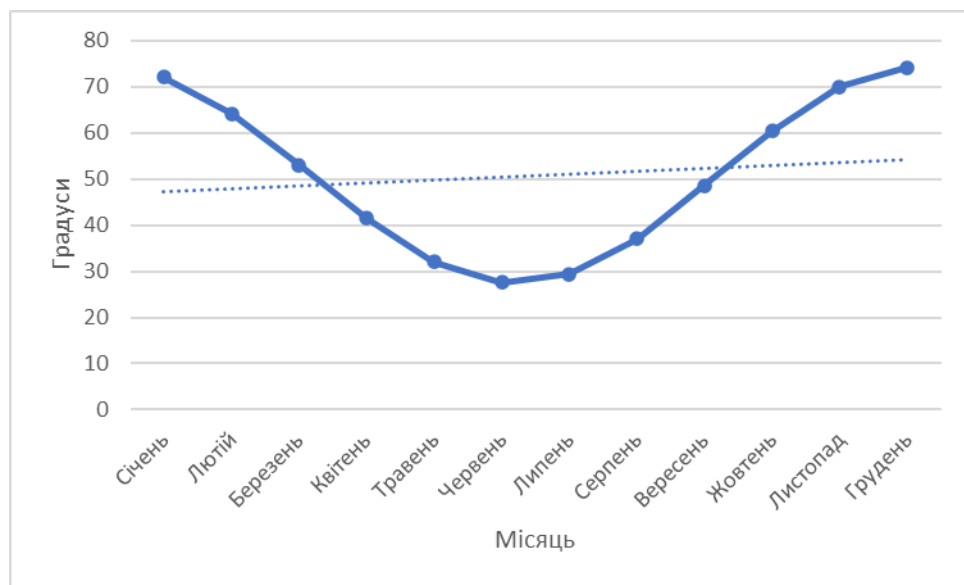


Рис. 3.4 Оптимальний кут для максимальної генерації сонячної енергії

На основі аналізу даних (рис. 3.4) було встановлено, що оптимальним кутом нахилу фотомодулів для даної місцевості ($\phi = 50.86731^\circ$) є $\beta = 50^\circ$. Цей кут дозволяє не лише ефективно використовувати сонячну енергію, але й мінімізувати вплив снігового покриву на роботу панелей.

3.3 Аналіз кількості сонячної енергії, що падає на нахилену поверхню

Переведемо дані про сонячну радіацію з таблиці (3.1) в одиниці кВт·год/м².

Для січня пряма сонячна радіація: $0,6 \text{ ккал/м}^2 * 11,63 = 6,9 \text{ кВт.год/м}^2$

Дифузна сонячна радіація: $1,8 \text{ ккал/м}^2 * 11,63 = 20,9 \text{ кВт.год/м}^2$

Сумарна сонячна радіація: $2,4 \text{ ккал/м}^2 * 11,63 = 27,9 \text{ кВт.год/м}^2$

Формула розрахунку альбедо: $70\% \div 100 = 0,7$

Таблиця 3.3. Результати розрахунків для всього року

Місяць	Пряма сонячна радіація на гориз. поверхню, кВт*год/м ²	Дифузна сонячна радіація на гориз. поверхню, кВт*год/м ²	Сумарна сонячна радіація на гориз. поверхню, кВт*год/м ²	Альбедо
Січень	6,9	20,9	27,9	0,71
Лютий	10,4	25,6	36	0,63
Березень	37,2	47,7	84,9	0,52
Квітень	71	59,3	130,3	0,47
Травень	109,4	68,6	178	0,34
Червень	126,8	66,3	193,2	0,19
Липень	140,8	62,8	203,7	0,19
Серпень	114	53,5	167,6	0,19
Вересень	82,6	39,5	122,2	0,31
Жовтень	33,7	33,7	67,5	0,43
Листопад	10,4	17,4	27,9	0,62
Грудень	5,8	13,9	19,7	0,72
Річна	749	509,2	1258,9	

При куті нахилу поверхні 50^0 , сонячна радіація, що на неї падає, дорівнює:

$$E = B * R_b + D * R_d + H * R_r, \text{ кВт.год} / \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

R_b – коефіцієнт, що характеризує кут нахилу сонячної панелі до горизонтальної площини

R_d – коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу панелі на кількість отримуваної розсіяної сонячної радіації:

$$Rd = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (3.5)$$

Rr – коефіцієнт, що показує, як кут панелі впливає на кількість отриманої сонячної енергії:

$$Rr = p * \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \quad (3.6)$$

β – кутовий нахил сонячної батареї (50^0)

p – альbedo

Для Січня:

Rb – коефіцієнт нахилу фотомодуля для регіону з широтою 50,8 наведено в таблиці (3.4)

Таблиця 3.4 Дані про коефіцієнт нахилу фотомодуля для різних кутів

Місяць	Rb
Січень	1,10
Лютий	1,11
Березень	1,37
Квітень	0,82
Травень	0,83
Червень	3,32
Липень	3,92
Серпень	2,36
Вересень	1,37
Жовтень	0,84
Листопад	0,86
Грудень	0,76

Rd – коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу панелі на кількість отримуваної розсіяної сонячної радіації

β – кутовий нахил сонячної батареї 50^0

$$R_d = \frac{1 + \cos(50)}{2} = 0,982$$

R_r – коефіцієнт, що показує, як кут панелі впливає на кількість отриманої сонячної енергії:

$$R_r = 0,71 * \frac{1 - \cos(50)}{2} = 0,012$$

При куті нахилу поверхні 50° , сонячна радіація, що на неї падає, дорівнює:

$$E = 6,9 * 1,10 + 20,9 * 0,982 + 27,9 * 0,012 = 28,4 \text{ кВт}\cdot\text{год} / \text{м}^2$$

Дані для кожного місяця після перерахунку наведено в таблиці (3.5)

Таблиця 3.5 Розподіл сонячної радіації по похилій поверхні

Місяць	R_b	R_d	R_r	Сумарна кількість сонячної радіації, кВт*год/м ²
Січень	1,10	0,982	0,012	28,4
Лютий	1,11	0,982	0,011	37,07
Березень	1,37	0,982	0,0091	98,5
Квітень	0,82	0,982	0,0082	117,3
Травень	0,83	0,982	0,0059	159,2
Червень	3,32	0,982	0,0033	286,7
Липень	0,92	0,982	0,0033	391,8
Серпень	2,36	0,982	0,0033	222,1
Вересень	1,37	0,982	0,0054	152,6
Жовтень	0,84	0,982	0,0075	61,9
Листопад	0,86	0,982	0,010	26,3
Грудень	3,76	0,982	0,012	15,6
Річна				1597,4

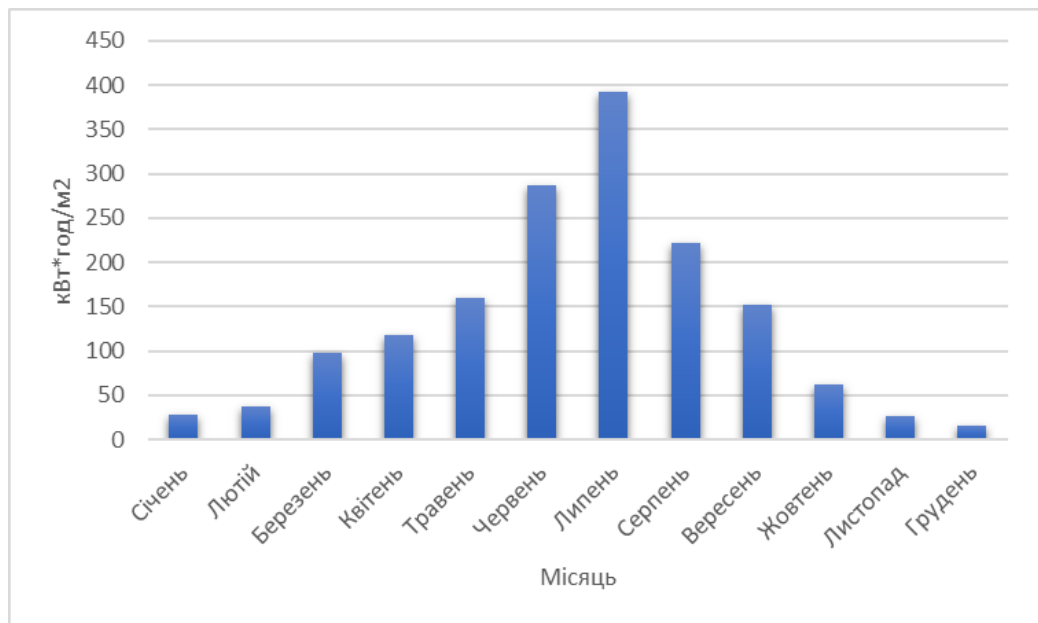


Рис. 3.5 Сумарна кількість сонячної радіації, що падає на похилу поверхню в місті Суми

Згідно з даними таблиці 3.5 та (рис. 3.5), сумарна кількість сонячної радіації, що падає на похилу поверхню в місті Суми, демонструє значні сезонні коливання. Максимальні значення спостерігаються у липні, коли сонячна радіація дорівнює 391,8 кВт·год/м². Мінімальні значення характерні для грудня та становлять 15,6 кВт·год/м². Такий широкий діапазон значень свідчить про високий потенціал використання сонячної енергії в літній період та потребу в додаткових джерелах енергії взимку. Для більш ефективного використання сонячної енергії в місті Суми необхідно враховувати сезонні коливання сонячної радіації при проектуванні та експлуатації сонячних електростанцій.

Рациональний режим роботи ФЕМ визначається на основі формули:

$$k = \frac{E_{рік}}{E_{міс}} \quad (3.7)$$

$E_{рік}$ – сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню за рік, кВт.год/м²

$E_{міс}$ – мінімальна місячна сонячна радіація, кВт.год/м²

k - коефіцієнт сезонності сонячної радіації. Якщо $k < 50\%$, рекомендується сезонний режим роботи СЕС.

$$k = \frac{1597,4}{64,2} = 24,88 < 50$$

Аналіз отриманих даних показав, що коефіцієнт сезонності сонячної радіації менший за порогове значення 50, що дозволяє рекомендувати цілорічний режим роботи.

3.4. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією

Оскільки робоча напруга інвертора становить 620 В, необхідно визначити оптимальну кількість фотомодулів, які потрібно з'єднати послідовно, щоб забезпечити цю напругу з урахуванням номінальної напруги одного модуля та допустимих втрат напруги в системі, скористаємося формулою:

$$N_{\text{фм.посл.}} = \frac{U_{\text{інв}}}{U_{\text{фм}}} \quad (3.8)$$

$U_{\text{фм}}$ – значення напруги фотомодуля, $U_{\text{фм}} = 41,7$ В, тоді:

$$N_{\text{фм.посл.}} = \frac{620}{41,7} = 14,8 \approx 15 \text{шт}$$

На основі отриманих даних можна розрахувати оптимальну кількість паралельно з'єднаних фотоелектричних модулів:

$$N_{\text{фм.посл.}} = \frac{U_{\text{інв}}}{U_{\text{фм}}} \quad (3.9)$$

$N_{\text{фм}}$ – загальна кількість сонячних панелей, $N_{\text{фм}} = 66$ шт, тоді:

$$N_{\text{фм.пар}} = \frac{66}{15} = 4,4 \text{шт}$$

Кількість електроенергії, яку виробляє фотоелектрична система, визначається за формулою:

$$E_{\text{ген.фес}} = S_0 * N_{\text{фм}} * \eta_{\text{фм}} * \eta_{\text{інв}} * I_{\text{міс}} \quad (3.10)$$

S_0 – робоча поверхня фотомодуля, $S_0 = 2,11$ м

$N_{фм}$ – загальна кількість сонячних панелей, $N_{фм} = 66$ шт

$\eta_{фм}$ – ККД сонячної панелі, $\eta_{фм} = 0,20$

$\eta_{інв}$ – ККД інвертора, $\eta_{інв} = 0,982$

$I_{міс}$ – середня кількість сонячної енергії за день протягом місяця, кВт.год/м² [23]/

$$E_{ген.фес} = 2,11 * 66 * 0,20 * 0,982 * 24 = 656,4 \text{ кВт.год}$$

Розрахунок показників генерації за весь рік наведено в таблиці (3.6), та (рис.3.6).

Таблиця 3.6 Річна генерація сонячної електростанції.

Місяць	Генерація, кВт*год
Січень	656,4
Лютий	1449,5
Березень	3446,1
Квітень	5005,1
Травень	7603,4
Червень	9299,2
Липень	8670,1
Серпень	7329,9
Вересень	4950,4
Жовтень	1252,1
Листопад	629
Грудень	410,2
За рік	50701,4

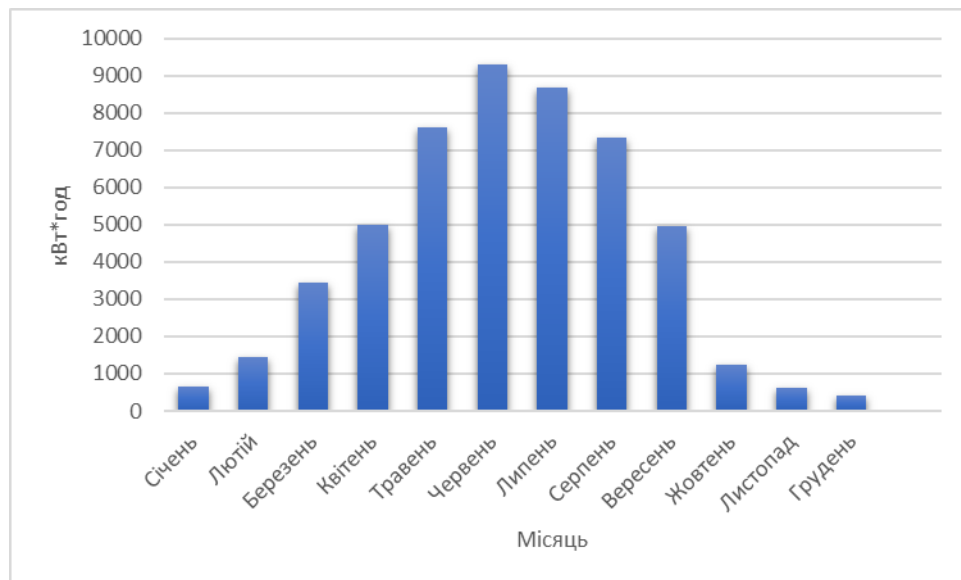


Рис. 3.6 Річна генерація СЕС

Згідно з даними таблиці 3.1, та (рис.3.6), сонячна електростанція демонструє значну сезонну варіативність у виробництві електроенергії. Максимальна генерація спостерігається в липні і становить 8670,1 кВт*год, що свідчить про високий потенціал використання сонячної енергії в Сумському регіоні. Однак, взимку генерація знижується до мінімальних значень, що підкреслює необхідність розробки ефективних систем зберігання енергії для забезпечення стабільної роботи енергосистеми.

3.5 Висновки до розділу 3

1. Досліджено географічні та кліматичні умови для об'єкта в м. Суми. Встановлено, що найвищий рівень сонячної радіації спостерігається в літні місяці, що забезпечує значний потенціал для генерації електроенергії в цей період. Водночас, зимові місяці характеризуються низькою інтенсивністю сонячного випромінювання, що обмежує ефективність системи.

2. Розраховано оптимальний кут нахилу фотомодулів для максимального використання сонячної енергії у Сумському регіоні. Найбільш оптимальним кутом є кут 50° , що дозволяє забезпечити ефективну роботу системи та мінімізує втрати, викликані сніговим покривом.

3. Проаналізовано кількість сонячної радіації, що потрапляє на нахилену поверхню протягом року. Встановлено, що максимальна інсоляція досягається в липні, а мінімальна – у грудні, що свідчить про необхідність адаптації системи до сезонних змін.

4. Розраховано річну генерацію електроенергії, яка становить 50701,4 кВт·год. Максимальна генерація спостерігається в липні (8670,1 кВт·год), а мінімальна – у грудні (410,2 кВт·год). Це підкреслює важливість використання додаткових джерел енергії або систем зберігання для стабільного енергопостачання.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація охорони праці. Забезпечення охорони праці під час роботи з альтернативними джерелами енергії вимагає комплексного підходу, який охоплює розробку ефективної системи управління безпекою та здоров'ям працівників. На підприємстві важливо дотримуватися чинного законодавства України в галузі охорони праці [24-26], включаючи вимоги до навчання та атестації персоналу, створення безпечних умов праці та моніторинг потенційних ризиків, що виникають у процесі роботи з енергообладнанням. Підприємство має забезпечувати працівників необхідними засобами індивідуального та колективного захисту, а також регулярними інструктажами з безпеки. Працівники повинні проходити медичні огляди для вчасного виявлення професійних захворювань і захисту від впливу шкідливих факторів.

З метою профілактики нещасних випадків відповідальні особи регулярно контролюють технічний стан обладнання та виконання інструкцій з охорони праці, а також організують навчання працівників методам безпечної експлуатації систем енергозабезпечення. Планування безпеки на підприємстві включає періодичне оновлення інструкцій з урахуванням нових технологій та впровадження більш ефективних засобів захисту від можливих ризиків.

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів та рекомендації щодо впровадження безпечних умов праці. Процес встановлення та обслуговування систем енергозабезпечення на основі сонячних панелей містить ряд потенційних небезпек. Насамперед, при роботі з електрообладнанням підвищеної потужності існує ризик ураження електричним струмом, особливо під час технічного обслуговування високовольтних інверторів, акумуляторів та панелей. Підвищена небезпека також характерна для робіт на висоті, необхідних для монтажу фотомодулів, що вимагає дотримання правил безпеки при роботі з будівельними конструкціями [25].

Під час підключення до загальної електромережі можуть виникнути короткі замикання або перенапруги, які призводять до пошкодження

обладнання, займання або інших аварійних ситуацій. У процесі експлуатації акумуляторів можуть виникнути ризики витікання електроліту, перегріву або вибуху. Для мінімізації таких небезпек необхідно проводити постійний моніторинг стану обладнання, суворо дотримуватись інструкцій з безпечного монтажу та технічного обслуговування, а також забезпечувати працівників відповідним захисним спорядженням. Для забезпечення належного рівня безпеки на робочому місці під час встановлення та експлуатації альтернативних джерел енергії рекомендується здійснювати регулярний контроль технічного стану всіх компонентів системи. Доцільно проводити планові огляди та діагностику фотоелектричних модулів, інверторів, акумуляторів і кабельних ліній для виявлення можливих пошкоджень або зносу.

Працівники повинні проходити регулярні інструктажі з охорони праці та тренування щодо безпечного поводження з високовольтним обладнанням і установками [26]. Необхідно забезпечити наявність засобів індивідуального захисту, таких як захисні окуляри, гумові рукавички, каски, страхувальні пояси та спеціальний одяг. З метою запобігання ризику ураження струмом слід також встановлювати системи аварійного відключення, обмежувачі перенапруги, а також захисне заземлення для всіх електричних компонентів. Крім того, для додаткової безпеки пропонується впровадити систему дистанційного моніторингу умов праці, що дозволить вчасно реагувати на позаштатні ситуації.

Висновки. Забезпечення безпеки праці на підприємствах, які займаються установкою та експлуатацією систем альтернативного енергозабезпечення, є важливою складовою для зниження рівня аварійності та мінімізації професійних ризиків. Запровадження регулярних оглядів стану обладнання, ефективного використання засобів захисту, постійні інструктажі та навчання сприятимуть надійній експлуатації сонячних електростанцій. Пропонується вдосконалити контроль за дотриманням правил безпеки шляхом впровадження системи моніторингу ризиків і регулярного оновлення інструкцій відповідно до специфіки технологічного процесу.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

5.1 Вартість впровадження гібридної СЕС

В таблиці (5.1) наведено деталізовану вартість усіх компонентів СЕС у гривнях. Ціни розраховані як за одиницю товару, так і за весь обсяг матеріалів, необхідних для збирання системи.

Таблиця 5.1 Загальна вартість гібридної СЕС

Обладнання	Ціна за штуку, грн	Кількість, шт (м)	Загальна вартість, грн
Фотомодуль BLUESUN 455W BSM435-455M- 72HPH	3 400	66	224 400
Гібридний інвертор GoodWe GW29,9K-ET	401 894	1	401 894
Акумуляторний блок Dyress B4850	25 500	5	127 500
Автоматичний вимикач ABB S203-C50	1 800	1	1 800
Рубильник ABB OT63F3C 3P 63A	2 934	1	2 934
Запобіжник ABB 16A, OFAF000H16	297	4	1188
Обмежувач перенапруги ABB OVR PV T1-T2 12.5- 1000 P TS QS	12 544	3	37 632
Монтажні роботи			15 300
Загальна вартість			809 648

5.2. Вартість ремонтних робіт

Капітальний ремонт проводять з періодичністю один раз на десять років. Вартість капітального ремонту розраховується за допомогою формули [27]:

$$K_{\text{кап}} = K_{\text{СЕС}} * k_{\text{кап}}$$

$K_{\text{СЕС}}$ – сума вартості гібридної сонячної станції;

$k_{\text{кап}}$ – коефіцієнт капітальних вкладень у ремонт СЕС складає 5%.

$$K_{\text{кап}} = 809648 * 0,05 = 40482 \text{грн}$$

Зважаючи на те, що ефективність сонячних електростанцій знижується з часом, ми очікуємо, що їхній термін служби становитиме близько 30 років. Протягом цього часу плануємо провести два капітальних ремонти.

$$K_{\text{кап.років}} = K_{\text{кап}} * 2 * k_{\text{кап}}$$

$$K_{\text{кап.років}} = 80964 * 2 * 0,05 = 4048,24 \text{грн}$$

Поточний ремонт проводиться щороку.

Вартість поточного ремонту обчислюється за допомогою формули:

$$K_{\text{ном}} = K_{\text{СЕС}} * k_{\text{ном}}$$

$k_{\text{ном}}$ – на поточний ремонт сонячної електростанції планується витратити 1% від загальної вартості проекту

$$K_{\text{ном}} = 809648 * 0,01 = 8097 \text{грн}$$

Протягом 30 років експлуатації планується проводити по одному поточному ремонту щороку:

$$K_{\text{ном.років}} = K_{\text{ном}} * 30$$

$$K_{\text{ном.років}} = 8097 * 30 = 242895 \text{грн}$$

Сумарні інвестиції в ремонт протягом 30 років:

$$K_{\text{рем}} = K_{\text{кап.років}} * K_{\text{кап.років}}$$

$$K_{\text{рем}} = 4048,24 + 242895 = 246943 \text{грн}$$

5.3 Розрахунок терміну окупності гібридної фотоелектричної системи

Відповідно [3], тариф на електроенергію за кВт.год складає 4,2 гривні.

Проведемо розрахунок доходу від продажу надлишків електроенергії, виробленої сонячною електростанцією, за «зеленим» тарифом, беручи до уваги власне споживання (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2. Загальний річний дохід від продажу електроенергії

Місяць	Генерація, кВт*год	Щоденне споживання електроенергії, кВт*год	Зайва електроенергія, кВт*год	Дохід від "зеленого" тарифу, грн
Січень	656,4	183,6	472,8	1985,7
Лютий	1449,5	183,6	1265,9	5316,78
Березень	3446,1	183,6	3262,5	13702,5
Квітень	5005,1	183,6	4821,5	20250,3
Травень	7603,4	151,2	7452,2	30554
Червень	9299,2	151,2	9148	38421,6
Липень	8670,1	151,2	8518,8	35779
Серпень	7329,9	151,2	7178,7	30150,5
Вересень	4950,4	151,2	4799,2	20156,6
Жовтень	1252,1	183,6	1062,5	4475,1
Листопад	629	183,6	445,4	1870,6
Грудень	410,2	183,6	226,6	951,7
Річна сума	50701,4	2041,2		203614,38

Визначимо, за який час окупляться витрати на встановлення СЕС, (табл. 5.3)

Таблиця 5.3 термін окупності гібридної сонячної електростанції

Рік	Дохід, грн	Загальна вартість СЕС, грн	Окупність, грн
1	203614,38	817745	-614130,62
2	407228,76	825842	-418613,24
3	814457,52	833939	-19481,48
4	1628915	842036	786879
5	3257830	850133	2407697
6	6515660	858230	5657430

За результатами таблиці (5.3), гібридна СЕС демонструє свою економічну ефективність, окупившись за 4 роки, незважаючи на витрати на ремонт, які враховувались у розрахунках.

5.4 Висновки до 5-го розділу

Проведено розрахунок вартості впровадження гібридної сонячної електростанції для приватного будинку. Загальна вартість системи, яка включає фотомодулі, інвертор, акумулятори та інше обладнання, становить 809 648 грн. Розраховано вартість ремонтів: капітальний ремонт планується раз на 10 років із коефіцієнтом 5% від вартості системи, а поточний ремонт щороку з витратами на рівні 1% від загальної вартості проекту. Оцінено термін окупності системи з урахуванням доходів від продажу надлишкової електроенергії за "зеленим" тарифом (4,2 грн/кВт·год). Система досягає повної окупності через 4 роки роботи, після чого починає приносити чистий дохід. Щорічний дохід від продажу електроенергії становить 203 614,38 грн.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано основні альтернативні джерела енергії, серед яких сонячна, вітрова, біоенергетика та геотермальна енергетика. Встановлено, що найбільш перспективним варіантом для умов Сумського регіону є використання сонячних електростанцій як альтернативного джерела живлення приватних будинків.

3. Виявлено, що в опалювальний період (жовтень-квітень) спостерігається підвищене споживання електроенергії внаслідок використання електроприладів опалення. Середньомісячне споживання в цей період становить 183-151 кВт·год, а загальне річне споживання – 2041,2 кВт·год.

5. Запропоновано схему включення сонячної електростанції в мережу. Розроблена схема забезпечує автономне електропостачання будинку та продаж надлишків електричної енергії в зовнішню мережу за зеленим тарифом. Як фотомодулі обрано 66 монокристалічних сонячних панелей загальною потужністю 30 кВт. В якості інвертора обрано гібридний інвертор GoodWe серії GW29,9K-ET. Розраховано та обрано систему для акумуляції енергії та пускозахисну апаратуру.

2. Розраховано оптимальний кут нахилу фотомодулів для максимального використання сонячної енергії у Сумському регіоні. Найбільш оптимальним кутом є кут 50° , що дозволяє забезпечити ефективну роботу системи та мінімізує втрати, викликані сніговим покривом. Розраховано річну генерацію електроенергії, яка становить 50701,4 кВт·год. Максимальна генерація спостерігається в липні (8670,1 кВт·год), а мінімальна – у грудні (410,2 кВт·год).

6. Загальна вартість проекту, включно з монтажними та ремонтними витратами, становить 809 648 грн. Окупність станції очікується за 4 роки, а її експлуатаційний термін складає близько 30 років, протягом яких вона може забезпечити значний економічний ефект і знизити залежність від традиційних джерел енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Неплій, С. А., Савойський, О. Ю. (2024). Ефективність та перспективи застосування гібридних сонячних електростанцій для забезпечення стабільного енергопостачання об'єктів. Інноваційні технології в Індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-практичної конференції. Ч.2., Суми: СНАУ, 168.
2. Неплій, С. А., Савойський, О. Ю. (2024). Аналіз систем енергопостачання на основі відновлюваних джерел енергії. Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.). – Суми, 2024. с 545.
3. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Енергія сонця <https://sae.gov.ua/uk>.
4. Закон України "Про електроенергетику" [Прийнятий Верховною радою 16 жовтня 1997 року, зі змінами та доповненнями станом на 10 січня 2011 р.] Відомості Верховної Ради (ВВР), 1998, N 1, ст.1.
5. Закон України від 04.06.2015 № 514-19 Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії / Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2015, N33, ст.324. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/514-19>.
6. Ю. П. Колонтаєвський Д. В. Тугай С. В. Котелевець. Фотоенергетика: навчальний посібник. <https://eprints.kname.edu.ua/55310/1/2019>.
7. Asif Jaman, Barun K. Das, Mir Mahim, Ashik Hasan, Saifa Siddika, Mim Mashrur Ahmed, Paul C. Okonkwo, Techno-econo-environmental analysis of sustainable hybrid solar-wind-biogas using municipal solid waste-based grid independent power plant with dual mode energy storage strategy, Energy, Volume 307, 2024, 132777, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132777>.

8. Mohammad Towhidul Islam, M.N. Nabi, M.A. Arefin, K. Mostakim, Fazlur Rashid, N.M.S. Hassan, S.M.A. Rahman, S. McIntosh, B.J. Mullins, S.M. Muyeen, Trends and prospects of geothermal energy as an alternative source of power: A comprehensive review, *Heliyon*, Volume 8, Issue 12, 2022, e11836, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11836>.

9. Anthony Umunnakwe Obiwulu, Nald Erusiafe, Muteeu Abayomi Olopade, Samuel Chukwujindu Nwokolo, Modeling and estimation of the optimal tilt angle, maximum incident solar radiation, and global radiation index of the photovoltaic system, *Heliyon*, Volume 8, Issue 6, 2022, e09598, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09598>.

10. Sylvester William Chisale, Han Soo Lee, Manuel Alejandro Soto Calvo, Jae-Soon Jeong, Morhaf Aljber, Zachary Williams, Jonathan Salar Cabrera, Advanced solar energy potential assessment in Malawi: Utilizing high-resolution WRF model and GIS to identify optimal sites for solar PV generation, *Renewable Energy*, Volume 239, 2025, 122084, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.122084>.

11. Beno Wincy Winsly, Vignesh Kumar Ramalingam, Joseph Sekhar Santhappan, Arokia Jaswin Maria, Murugan Paradesi Chokkalingam, Vijayakumar Rajendran, Optimal sizing and techno-economic-environmental evaluation of biomass-solar-wind-grid hybrid energy system: A case study of an institute in South India, *Energy Conversion and Management*, Volume 325, 2025, 119352, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119352>.

12. Sameer Algburi, Erhart Rendal, Zaineb Kadum Jaber, Hassan Falah Fakhruldeen, Ayesha Amjad, I.B. Sapaev, Taher Tumma Farhan, Maha Barakat, Evaluating the Viability and Potential of Hybrid Solar-Wind Renewable Energy Systems in Relation to Geographical and Environmental Factors, *Results in Engineering*, 2024, 103473, ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103473>.

13. Mustafa Arslan, Mehmet Çunkaş, An experimental study on determination of optimal tilt and orientation angles in photovoltaic systems, Journal of Engineering Research, 2024, ISSN 2307-1877, <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.07.015>.

14. Mengyu Li, Yunlong Liu, Ji Li, Fei Li, Yagang An, Xuezhe Gao, Optimizing sustainable energy integration: A novel approach using concentrated solar plant and hybrid power supply, Electric Power Systems Research, Volume 237, 2024, 111050, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.111050>.

15. Will Gorman, Galen Barbose, Cesca Miller, Philip White, Juan Pablo Carvallo, Sunhee Baik, Evaluating the potential for solar-plus-storage backup power in the United States as homes integrate efficient, flexible, and electrified energy technologies, Energy, Volume 304, 2024, 132180, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132180>.

16. Bismark Baah, Richard Opoku, Samuel Boahen, Charles K.K. Sekyere, Felix Uba, Francis Davis, George Y. Obeng, Analysis and hypothesis testing of redundant energy of solar home systems without net-metering, Renewable Energy, Volume 220, 2024, 119736, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119736>.

17. Bohan Sun, Ke Gao, Shuai Liu, Qiaoqiao Wei, Hui Wang, Assessing the performance and economic viability of solar home systems: A way forward towards clean energy exploration and consumption, Renewable Energy, Volume 208, 2023, Pages 409-419, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.009>.

18. Сайт компанії «prom.ua» «Високоефективна фотоелектрична панель 455 Вт» [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://prom-industry.com.ua>.

19. Сайт компанії «ROZETKA» «Гібридний інвертор GoodWe ET 29.9 кВт Трифазний (GW29.9К-ET)» » [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://rozetka.pl/ua/426282306/p426282306>.

20. Сайт компанії «hotline.ua» «Акумулятор для ДБЖ Dyness B4850 48В,50Ач 2.4кВт/ч» [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://hotline.ua/ua/computer-akkumulyatory-dlya-ibp/dyness-b4850-48v50ach-24kvtch>.

21. Електричне освітлення та опромінення. Методичні вказівки до практичної роботи «вибір апаратури управління та захисту, розробка схеми електричної принципової освітлювальної мережі.
<http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25>.

22. Постнікова М.В. Дипломне проектування зі спеціальності «електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» методичні рекомендації Частина 2. Проектування внутрішньої силової розподільчої мережі. Вибір та перевірка пуско-захисної апаратури.
http://www.tsatu.edu.ua/etem/wp-content/uploads/sites/60/dp_ch2.pdf.

23. Галік О. І., Басюк Т.О., 2014 Методичні вказівки. «Довідкові данні з клімату України» <https://ep3.nuwm.edu.ua/591/1/01-03-16.pdf>.

24. Закон України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 р. (Редакція станом на 20.01.2018).

25. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНПАОП 0.00–1-1.21-98. К.: АТ «Київська книжкова фабрика».

26. Державні будівельні норми України (ДБН).

27. Журило, І. В., & Полтавець, М. М. (2017). Економіка та організація виробництва: Методичні вказівки до вивчення курсу для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Кропивницький: ЦНТУ.

ДОДАТКИ