

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 Чепіжний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Обґрунтування системи автономного електрозабезпечення житлового будинку з використанням альтернативних джерел енергії»

Виконав

(підпис)

Пермяков А. Ю.
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301-2м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Сіренко В. Ф.
(прізвище, ініціали)

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)

« _____ » _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Пермякову Артему Юрійовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування системи автономного електрозабезпечення житлового будинку з використанням альтернативних джерел енергії

керівник роботи: Сіренко Віктор Федорович, к.т.н., доцент
(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 «18» 03 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Річні звіти базового підприємства, нормативно-технічна документація, наукові та літературні джерела

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

1. Аналіз існуючих технологій альтернативного енергозабезпечення
2. Обґрунтування параметрів системи автономного електрозабезпечення житлового будинку
3. Охорона праці
4. Економічне обґрунтування
- Висновки та пропозиції
- 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

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 04.10.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 11.10.2024 р.	
3	Написання вступу	до 18.10.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 01.11.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 29.11.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 10.01.2025 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 28.02.2025 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 07.03.2025 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 10.03.2025 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 14.03.2025 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 19.03.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

(Пермяков А. Ю.)
(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**

_____ (підпис)

(Сіренко В. Ф.)
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пермяков А. Ю. Обґрунтування системи автономного електрозабезпечення житлового будинку з використанням альтернативних джерел енергії. Дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Дипломна робота присвячена обґрунтуванню системи автономного електрозабезпечення житлового будинку з використанням альтернативних джерел енергії, зокрема сонячних панелей. Актуальність дослідження зумовлена сучасними викликами у сфері енергетики, зростанням тарифів на електроенергію та необхідністю підвищення енергонезалежності домогосподарств. Важливим аспектом також є екологічний фактор – використання відновлюваних джерел енергії сприяє зменшенню шкідливих викидів та забезпечує сталість енергозабезпечення.

У роботі детально проаналізовано існуючі технології альтернативного енергозабезпечення, їхні переваги та обмеження. Розглянуто різні варіанти автономних систем, зокрема сонячні, вітрові та гібридні рішення, а також їхню ефективність у різних кліматичних умовах. На основі цього аналізу проведено вибір оптимальної системи для житлового будинку з урахуванням енергетичних потреб, фінансової доцільності та технічної реалізації.

Особливу увагу приділено розрахунку параметрів системи: визначенню необхідної потужності та кількості сонячних панелей, ємності акумуляторних батарей, вибору інвертора та двонаправленого лічильника. Розглянуто питання балансування навантаження та збереження енергії, що є ключовим фактором для стабільного функціонування автономної системи.

Окремий розділ роботи присвячено питанням охорони праці під час монтажу та експлуатації системи. Визначено основні ризики, зокрема електробезпеку, пожежну безпеку та загальні правила експлуатації електроустановок.

Економічний аналіз показав, що попри значні початкові інвестиції у встановлення сонячних панелей, така система є вигідною у довгостроковій перспективі. Зменшення витрат на електроенергію, можливість продажу надлишкової електроенергії та державні програми підтримки роблять такі рішення економічно доцільними.

Отримані результати підтверджують ефективність і перспективність використання відновлюваних джерел енергії для автономного електрозабезпечення житлових будинків, що сприятиме підвищенню енергоефективності, екологічній безпеці та енергетичній незалежності.

Ключові слова: автономне електрозабезпечення, альтернативні джерела енергії, сонячні панелі, енергозбереження, інвертор, акумуляторні батареї, економічне обґрунтування, ефективність, охорона праці, відновлювальні джерела енергії, гібридна система енергозабезпечення.

ABSTRACT

Permiakov A. Yu. Justification of an Autonomous Power Supply System for a Residential Building Using Alternative Energy Sources. Master's Thesis for the Degree of Higher Education "Master" in Specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics". Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The thesis is devoted to the justification of an autonomous power supply system for a residential building using alternative energy sources, particularly solar panels. The relevance of the research is driven by modern challenges in the energy sector, rising electricity tariffs, and the need to enhance household energy independence. An important aspect is also the environmental factor – the use of renewable energy sources contributes to reducing harmful emissions and ensures the sustainability of power supply.

The study provides a detailed analysis of existing alternative power supply technologies, their advantages, and limitations. Various options for autonomous systems, including solar, wind, and hybrid solutions, are examined, as well as their efficiency in different climatic conditions. Based on this analysis, the optimal system for a residential building is selected, considering energy needs, financial feasibility, and technical implementation.

Particular attention is paid to the calculation of system parameters: determining the required power and number of solar panels, battery capacity, inverter selection, and bidirectional meter choice. Issues of load balancing and energy storage, which are key factors for the stable operation of an autonomous system, are also considered.

A separate section of the thesis is dedicated to occupational safety during the installation and operation of the system. The main risks are identified, including electrical safety, fire safety, and general rules for operating electrical installations.

The economic analysis demonstrates that despite significant initial investments in solar panel installation, such a system is cost-effective in the long run. Reducing electricity costs, the possibility of selling surplus electricity, and government support

programs make these solutions economically viable.

The results confirm the efficiency and prospects of using renewable energy sources for autonomous power supply in residential buildings, which will contribute to increased energy efficiency, environmental safety, and energy independence.

Keywords: autonomous power supply, alternative energy sources, solar panels, energy saving, inverter, battery storage, economic justification, efficiency, occupational safety, renewable energy sources, hybrid power supply system.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	11
1.1. Загальна характеристика альтернативних джерел енергії	11
1.2. Аналіз ефективності та обмежень сучасних систем автономного енергозабезпечення	15
1.3. Вибір оптимальної системи автономного електропостачання	17
1.4. Висновки до розділу	19
2. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ	21
2.1. Аналіз систем електрозабезпечення будинків на основі сонячної енергії	21
2.2. Визначення обсягів електроспоживання	25
2.2. Обґрунтування потужності та кількості сонячних панелей	27
2.3. Вибір інвертора для гібридної СЕС	33
2.4. Обґрунтування ємності та кількості акумуляторних батарей	37
2.5. Вибір двонаправленого лічильника	39
2.6. Висновки до розділу	41
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	43
4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	47
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	52
ДОДАТКИ	55

ВСТУП

Актуальність теми. Насьогодні проблема забезпечення житлових будинків стабільним та екологічно чистим джерелом електроенергії стає дедалі важливішою. Традиційні енергетичні ресурси, такі як вугілля, нафта та газ, поступово вичерпуються, а їх використання супроводжується значним негативним впливом на навколишнє середовище. Підвищення цін на енергоресурси, залежність від централізованих систем енергопостачання та зростаюча кількість відключень електроенергії стимулюють пошук альтернативних шляхів вирішення проблеми енергозабезпечення.

Впровадження автономних систем електрозабезпечення на основі відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова чи біоенергія, є сучасним і перспективним підходом до вирішення цього завдання. Такі системи дозволяють забезпечити енергетичну незалежність, знизити викиди парникових газів, а також сприяти реалізації концепції сталого розвитку.

Для України, яка має значний потенціал для використання альтернативних джерел енергії, ця тема є особливо важливою. Підтримка автономних систем енергозабезпечення на державному рівні, а також поступове зростання інтересу серед населення створюють передумови для активного впровадження таких рішень.

Таким чином, дослідження та обґрунтування систем автономного електрозабезпечення житлового будинку із застосуванням альтернативних джерел енергії є актуальним завданням, яке відповідає сучасним вимогам енергетичної незалежності, екологічності та економічної ефективності.

Мета і завдання дослідження. Метою даної дипломної роботи є обґрунтування технічного та економічного рішення щодо створення автономної системи електрозабезпечення житлового будинку з використанням альтернативних джерел енергії.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- провести аналіз сучасних технологій альтернативної енергетики та можливостей їх застосування у житлових будинках;

- розробити технічну концепцію системи автономного електрозабезпечення, включаючи вибір джерел енергії, обладнання та схему функціонування;

- виконати розрахунок енергетичних показників системи для визначення її відповідності потребам будинку;

- оцінити екологічний вплив та перспективи впровадження розробленої системи;

- провести економічне обґрунтування проекту, включаючи розрахунок вартості, ефективності та терміну окупності.

Об’єктом дослідження є автономна система електрозабезпечення житлового будинку.

Предметом дослідження є технічні, екологічні та економічні аспекти проектування та впровадження автономних систем електрозабезпечення на основі альтернативних джерел енергії.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених технічних рішень для впровадження автономної системи електрозабезпечення житлового будинку з використанням альтернативних джерел енергії. Запропоновані рішення можуть бути застосовані як у приватних житлових будинках, так і в аналогічних системах для інших об’єктів, сприяючи поширенню відновлюваних джерел енергії та підвищенню енергонезалежності..

Апробація результатів роботи. Результати роботи висвітлено та обговорено на міжнародній науково-практичній конференції, за результатами роботи якої видано збірник тез доповідей [1, 2].

Однією з ключових переваг сонячної енергії є її невичерпність: за оцінками, кількість енергії, яку Сонце випромінює на Землю за одну годину, перевищує річне споживання людства. Особливості сонячної енергетики роблять її ефективною у регіонах із високим рівнем сонячної інсоляції, але навіть у помірних широтах розвиток технологій, таких як високоефективні фотоелементи та акумулявальні системи, значно підвищує її ефективність. Важливим напрямом залишається інтеграція сонячних установок у міське середовище, наприклад, у вигляді дахових панелей або сонячних фасадів.

Вітрова енергія є ще одним важливим джерелом, яке перетворює кінетичну енергію вітру в електроенергію за допомогою вітрових турбін. Використання вітрової енергії має глибокі історичні корені, але сучасні технології дозволили значно підвищити її ефективність та розширити сферу застосування. Відомості про вітрові станції України станом на кінець 2021 року показано на рисунку 1.2.



Рис. 1.2. Вітрові станції України станом на кінець 2021 року

Вітрові електростанції можуть бути наземними або офшорними, тобто розташованими у прибережних зонах на морі. Офшорні вітрові установки мають перевагу у вигляді стабільніших і сильніших вітрів, але потребують значних інвестицій у будівництво та обслуговування. Одним із ключових викликів вітрової енергетики є її залежність від погодних умов, але сучасні енергосистеми дозволяють компенсувати цю змінність завдяки комбінованому використанню різних джерел.

Біоенергетика базується на переробці біомаси, яка включає органічні залишки сільського господарства, лісового господарства, промислові та побутові відходи. Біоенергія є універсальною за своїм використанням, оскільки може бути представлена у формі твердого палива (деревина, пелети), рідкого (біодизель, біоетанол) або газоподібного палива (біогаз). Україна є досить перспективною в контексті розвитку використати біоенергетики. Прогноз щодо розвитку біоенергетики в Україні на 2020-2050 роки від UABIO показаний на рис. 1.3.

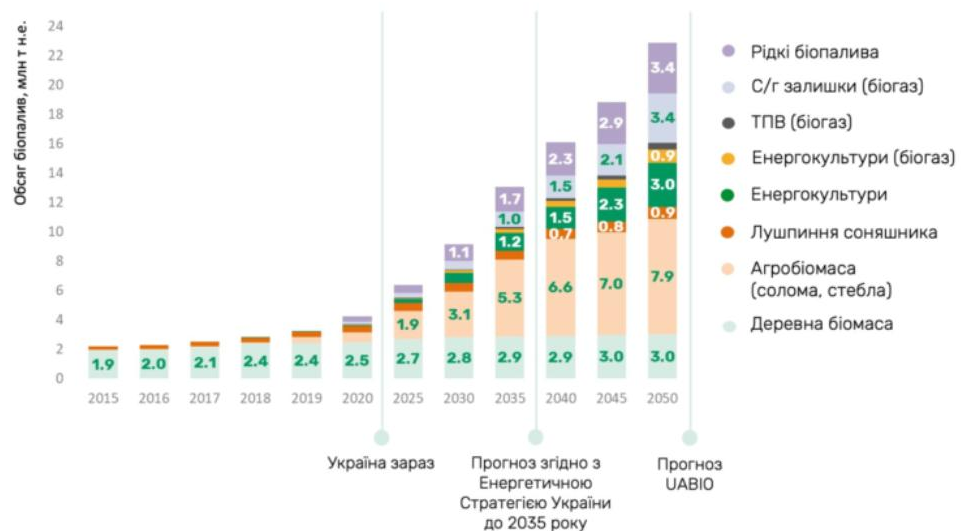


Рис. 1.3. Прогноз щодо розвитку біоенергетики в Україні на 2020-2050 роки від UABIO

Застосування біоенергетики має дві основні переваги: з одного боку, це дозволяє виробляти енергію, з іншого – ефективно утилізувати відходи,

зменшуючи їхнє негативне екологічне навантаження. Однак розвиток біоенергетики вимагає зваженого підходу, оскільки надмірне використання біомаси може призводити до виснаження земельних ресурсів.

Геотермальна енергія використовує теплову енергію Землі, яка утворюється за рахунок природних геологічних процесів. Її джерелами є теплові потоки з надр Землі, які можуть бути використані як для генерування електроенергії, так і для опалення. Потенціал геотермальної енергії в Україні показаний на рис. 1.4.

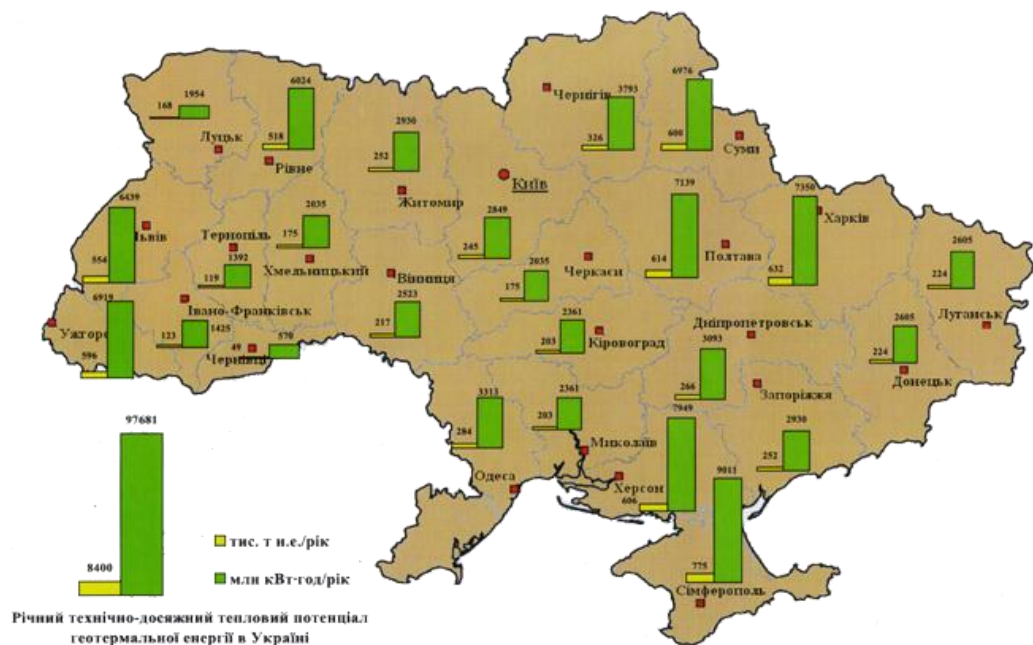


Рис. 1.4. Потенціал геотермальної енергії в Україні

Геотермальна енергія має ряд унікальних переваг, серед яких стабільність постачання, незалежність від кліматичних умов та відносно низькі експлуатаційні витрати. Найбільш поширеним застосуванням геотермальних ресурсів є регіони з високою геотермальною активністю, такі як вулканічні зони. Однак завдяки розвитку технологій геотермальні установки стають доступними навіть у районах із помірним геотермальним потенціалом.

Загалом, альтернативні джерела енергії відіграють ключову роль у переході до сталого енергетичного розвитку. Їх комбіноване використання дозволяє забезпечити стабільне енергопостачання, знизити шкідливий вплив

на довкілля та сприяти економічному розвитку. Перспективи цих джерел значною мірою залежать від інновацій, державної підтримки та ефективного управління природними ресурсами..

1.2. Аналіз ефективності та обмежень сучасних систем автономного енергозабезпечення

Системи на основі сонячної, біоенергетичної, геотермальної та вітрової енергії мають значний потенціал для забезпечення енергопостачання будинків, проте ефективність їх використання та можливі обмеження залежать від низки факторів, таких як місцеві умови, технологічні особливості та економічні чинники. Розглянемо детальніше ефективність і обмеження кожної з цих технологій у контексті енергозабезпечення приватних домогосподарств.

Сонячні системи є одними з найбільш поширених для автономного енергопостачання завдяки доступності сонячної енергії майже у всіх регіонах планети. Основною перевагою сонячних систем є можливість забезпечити енергопостачання навіть в віддалених або важкодоступних місцях, де немає підключення до централізованих електричних мереж. У районах з високим рівнем сонячної інсоляції, таких як південні регіони, сонячні панелі можуть генерувати значну кількість електроенергії, що робить їх дуже ефективними для зниження витрат на електрику. Крім того, сонячні панелі мають низькі витрати на обслуговування та тривалий термін експлуатації.

Однак існують і обмеження. Сонячна енергія є змінною, оскільки її виробництво залежить від погодних умов та пори року. В зимовий період або у регіонах з частими хмарними днями ефективність сонячних панелей значно знижується. Це може вимагати використання додаткових систем накопичення енергії, таких як акумулятори, що значно підвищує вартість установки. Зазначимо також, що сонячні панелі займають велику площу, що може бути обмеженням у міських умовах або на невеликих ділянках.

Біоенергетичні системи, що використовують органічні відходи для виробництва енергії, також мають певний потенціал для енергозабезпечення будинків. Вони дозволяють не лише отримувати енергію, а й утилізувати органічні відходи, що є корисним для екології. Системи, які використовують біомасу або біогаз, можуть забезпечити стабільне постачання тепла або електроенергії. Вони ефективні для використання в сільській місцевості, де є достатньо сировини у вигляді сільськогосподарських відходів або деревини.

Проте для широкого застосування біоенергетичних систем існують обмеження, які пов'язані з необхідністю постійного постачання сировини. Якщо в умовах сільського господарства це питання можна вирішити, то для міських будинків необхідно враховувати, що органічні відходи повинні бути постійно доступними та економічно вигідними для переробки. Крім того, установка таких систем може бути дороговартісною, особливо якщо необхідно створити складну інфраструктуру для обробки та зберігання біомаси, що збільшує загальні витрати на встановлення та обслуговування.

Геотермальні системи використовують тепло землі, що робить їх дуже стабільними та незалежними від погодних умов. Вони можуть бути ефективними для забезпечення як теплом, так і електроенергією будинків, що дозволяє знизити витрати на опалення та кондиціонування. Це особливо вигідно в регіонах з холодними зимами, де геотермальні установки забезпечують стабільне енергопостачання без залежності від зовнішніх факторів.

Проте для застосування геотермальних систем необхідно враховувати геологічні умови місцевості. Вони є найбільш ефективними в районах з високою геотермальною активністю, таких як деякі регіони Ісландії, Нової Зеландії або США. В інших регіонах, де доступ до геотермальних ресурсів обмежений, інвестиції в таку систему можуть бути економічно недоцільними через високу вартість буріння та установки обладнання. Також важливим обмеженням є потреба в значних початкових витратах, а також у технічному

обслуговуванні, що може збільшити вартість експлуатації таких систем у довгостроковій перспективі.

Вітрові системи також можуть бути ефективними для автономного енергопостачання, особливо в районах з постійним і сильним вітром. Вітрові турбіни можуть генерувати значну кількість енергії, якщо вони розташовані в зонах з оптимальними вітровими умовами. Для будинків, що знаходяться в сільській місцевості або на відкритих просторах, такі системи можуть бути дуже корисними, забезпечуючи стабільне постачання енергії протягом року.

Проте вітрові системи мають ряд обмежень, серед яких варто виділити залежність від швидкості вітру. У міських районах або в місцевостях з нерегулярним вітром ефективність таких систем значно знижується. Крім того, вітрові турбіни займають велику площу, що може бути проблемою в густонаселених регіонах, де земля є обмеженим ресурсом. Вони також створюють шум, що може бути неприємним для мешканців прилеглих районів. Ще одним обмеженням є вартість установки та обслуговування таких систем, хоча з часом ці витрати можуть бути компенсовані зниженням витрат на електроенергію.

Загалом, усі ці системи мають великий потенціал для енергозабезпечення будинків, проте ефективність їх використання значною мірою залежить від місцевих умов, доступності ресурсів та економічних аспектів. Для досягнення оптимальних результатів може бути доцільним комбінування різних джерел енергії, що дозволить забезпечити більш стабільне та ефективне енергопостачання впродовж усього року.

1.3. Вибір оптимальної системи автономного електропостачання

Вибір оптимальної системи автономного електропостачання для умов Сумської області має враховувати ряд специфічних факторів, таких як географічне розташування, кліматичні умови, доступність природних ресурсів та економічні можливості. Сумська область характеризується помірно-

континентальним кліматом із холодними зимами та теплим літом, що вимагає особливої уваги до вибору джерела енергії та системи енергозабезпечення. Для цього варто розглянути різні альтернативні джерела енергії, зокрема сонячну, вітрову, біоенергетичну та геотермальну енергії, а також можливість їх комбінування.

Враховуючи середній рівень сонячної інсоляції в Україні, який в Сумській області становить близько 1000-1200 кВт·год/м² на рік, використання сонячних панелей може бути економічно вигідним у період з весни до осені. Однак у зимовий період, коли кількість сонячних днів значно зменшується, ефективність таких систем значно знижується. Для забезпечення більш стабільного енергопостачання необхідне використання акумуляторних батарей для зберігання енергії, що дозволить покрити потреби будинку в нічний час та в періоди з низькою сонячною активністю. Вартість сонячних панелей поступово знижується, що робить їх більш доступними для домашнього використання. Проте початкові витрати на встановлення такої системи можуть бути значними, тому для оптимізації варто звернути увагу на можливість отримання державних субсидій або кредитів на встановлення сонячних панелей.

Сумська область має помірні вітрові умови, що робить використання вітрових турбін потенційно корисним, проте ефективність таких систем залежить від швидкості вітру. Для встановлення вітрових турбін необхідно проводити попередні дослідження щодо середньорічної швидкості вітру в конкретній місцевості, оскільки для ефективного використання вітрової енергії мінімальна середньорічна швидкість вітру повинна бути не менше 4 м/с. У сільській місцевості, де простір дозволяє встановлення вітрових турбін, їх можна комбінувати з іншими джерелами енергії, наприклад, сонячними панелями, для забезпечення більш стабільного енергопостачання.

Для Сумської області, де значна частина території зайнята сільським господарством, біоенергетичні технології мають великий потенціал. Використання органічних відходів, таких як сільськогосподарські залишки,

деревина або відходи тваринництва, для виробництва біогазу або тепла дозволяє ефективно забезпечувати енергією будинки в сільській місцевості. У районах, де є доступ до достатньої кількості біомаси, встановлення біоенергетичних систем може бути економічно доцільним. Проте цей варіант вимагає постійного забезпечення сировиною, а також додаткових витрат на переробку та зберігання матеріалів.

Геотермальні ресурси для побутового використання є більш обмеженими в Сумській області через низький рівень геотермальної активності в регіоні. Тому геотермальні системи опалення можуть бути менш ефективними в порівнянні з іншими видами відновлюваної енергії, таких як сонячна або біоенергетична енергія. Для їх застосування необхідно враховувати високі початкові витрати на буріння та встановлення обладнання, що робить ці системи малодоступними для широкого застосування в регіоні.

Отже, для умов Сумської області оптимальним варіантом для автономного енергопостачання є використання сонячної енергії. Враховуючи кліматичні умови, доступність технологій, економічну доцільність і перспективи розвитку, сонячні системи є найбільш ефективним і вигідним рішенням. Вони дозволяють забезпечити енергетичну незалежність, зменшити витрати на електроенергію і є екологічно чистим джерелом енергії, що відповідає вимогам сталого розвитку.

1.4. Висновки до розділу

У першому розділі було проведено всебічний аналіз існуючих технологій альтернативного енергозабезпечення, зокрема на основі сонячної, вітрової, біоенергетичної та геотермальної енергії. Кожен тип енергетичної системи має свої переваги та обмеження, що залежать від природно-кліматичних умов, технічних характеристик та економічної доцільності.

Біоенергетичні та вітрові системи, хоча й мають певні переваги, мають обмеження щодо ресурсної доступності та географічного розташування.

Геотермальні технології, в свою чергу, є економічно доцільними лише в районах з активними геотермальними ресурсами, що не є характерним для Сумської області.

Аналіз ефективності та обмежень показав, що сонячні енергетичні системи є найбільш універсальними для автономного енергопостачання, зокрема в умовах Сумської області. Висока ефективність сонячних панелей при помірному кліматі регіону та доступність сучасних технологій зберігання енергії дозволяють створити стабільне та економічно вигідне джерело енергії.

2. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

2.1. Аналіз систем електрозабезпечення будинків на основі сонячної енергії

Системи електрозабезпечення на основі сонячної енергії стають дедалі популярнішими як для автономного, так і для комбінованого використання в мережах. Це зумовлено їх екологічністю, можливістю зниження витрат на електроенергію та економічною вигодою, що зростає з часом завдяки зниженню вартості технологій. В Україні, зокрема в Сумській області, де сонячна інсоляція є достатньою для ефективного використання сонячних панелей, такі системи мають значний потенціал для забезпечення електричної енергії в приватних будинках.

Основою сонячних систем для забезпечення енергопостачання будинку є фотоелектричні панелі (сонячні батареї), які перетворюють сонячну енергію на електричний струм. Зазвичай таку систему складають сонячні панелі, інвертор, акумулятори для зберігання енергії та контролер заряду. Сонячні панелі, що використовуються в сучасних системах, мають високу ефективність, яка може досягати 20% і вище, залежно від технології та якості виробництва.

Системи електрозабезпечення на основі сонячної енергії можуть бути двох типів: автономні та підключені до мережі (гібридні).

Автономні системи працюють безпосередньо з акумуляторами, що дозволяє забезпечити енергопостачання будинку навіть у ночі або в періоди хмарної погоди (рис. 2.1). Така система зазвичай застосовується в віддалених районах, де неможливо підключити будинок до централізованої електричної мережі.

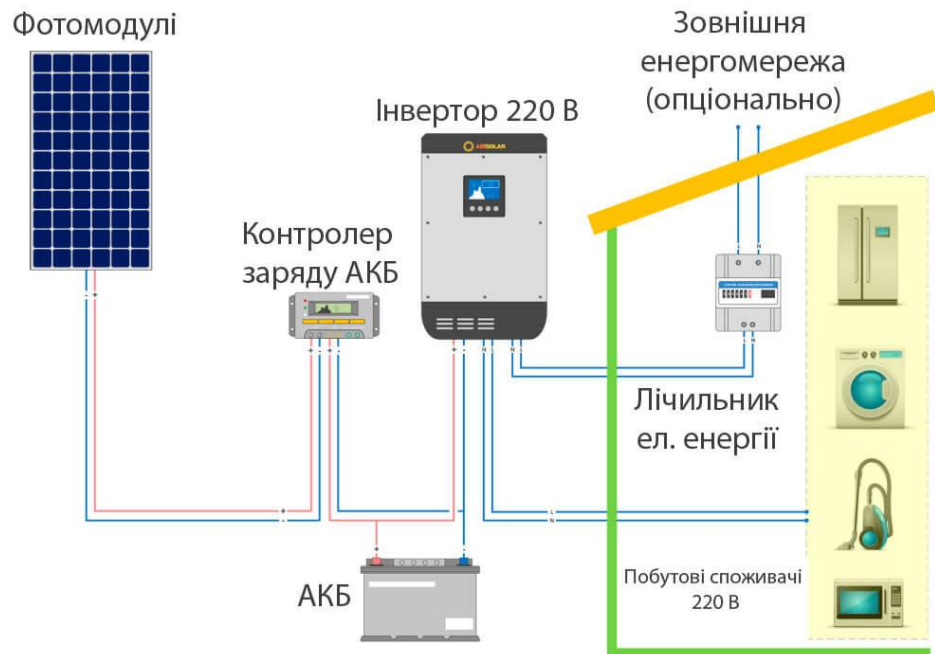


Рис. 2.1. Схема автономної СЕС для електропостачання будинку

Автономні системи електропостачання на основі сонячної енергії мають кілька значних переваг, які роблять їх привабливими для використання в приватних будинках та віддалених об'єктах. Однією з основних переваг є незалежність від централізованої енергетичної мережі. Це особливо важливо для місцевостей, де електропостачання може бути нестабільним або відсутнім, а також для споживачів, які бажають забезпечити енергетичну автономію. Сонячна енергія є відновлювальним і екологічно чистим джерелом, що дозволяє зменшити викиди вуглекислого газу та інші шкідливі викиди, що сприяє збереженню навколишнього середовища.

Ще однією перевагою є зниження витрат на електроенергію в довгостроковій перспективі. Хоча початкові витрати на установку сонячної енергетичної системи можуть бути значними, проте завдяки зниженню вартості технологій і програмам підтримки, інвестиції швидко окупаються через зниження витрат на енергію. Крім того, автономні системи дозволяють користуватися енергетичними резервами навіть в періоди відсутності сонячного світла, за умови використання акумуляторів для зберігання енергії.

Але, попри всі переваги, автономні системи мають і певні недоліки. Одним з основних обмежень є їх висока вартість на початковому етапі. Встановлення сонячних панелей, інверторів та акумуляторних батарей потребує значних інвестицій, які можуть бути недоступними для деяких споживачів, навіть з урахуванням програм фінансової підтримки. Крім того, ефективність роботи таких систем залежить від погодних умов і сезонних коливань. В осінньо-зимовий період, коли сонячне світло обмежене, може виникнути потреба у додаткових джерелах енергії або великих акумуляторах, що збільшує витрати на систему.

Ще однією проблемою є потреба в регулярному технічному обслуговуванні, хоча воно є мінімальним порівняно з іншими типами систем. Сонячні панелі потребують періодичного очищення від пилу та бруду, що може знижувати їх ефективність. Також акумулятори мають обмежений термін служби і потребують заміни через кілька років. Технічні неполадки або збої в роботі інвертора можуть призвести до тимчасової втрати енергозабезпечення, що є особливо критичним у разі великого споживання електроенергії.

Системи з підключенням до мережі (гібридні СЕС), дозволяють продавати надлишкову електроенергію, що виробляється в денний час, назад в мережу, за допомогою «зеленого» тарифу, що знижує витрати на електроенергію для споживача (рис. 2.2.).

Гібридна система електропостачання, яка поєднує кілька джерел енергії, таких як сонячна, вітрова або біоенергетична, має низку переваг, але також і деякі недоліки. Однією з основних переваг гібридних систем є їх здатність забезпечити стабільне енергопостачання за різних погодних умов. Наприклад, коли сонячна енергія виробляється в менших кількостях через хмарність або в зимовий період, вітрові турбіни можуть забезпечити необхідну енергію. Це дозволяє значно знизити ризик відсутності енергії, що є характерним для систем, що базуються лише на одному джерелі. Крім того, гібридні системи часто забезпечують більшу енергетичну незалежність, оскільки

використовують різноманітні джерела енергії, що знижує залежність від зовнішніх постачальників енергії або національних енергомереж.

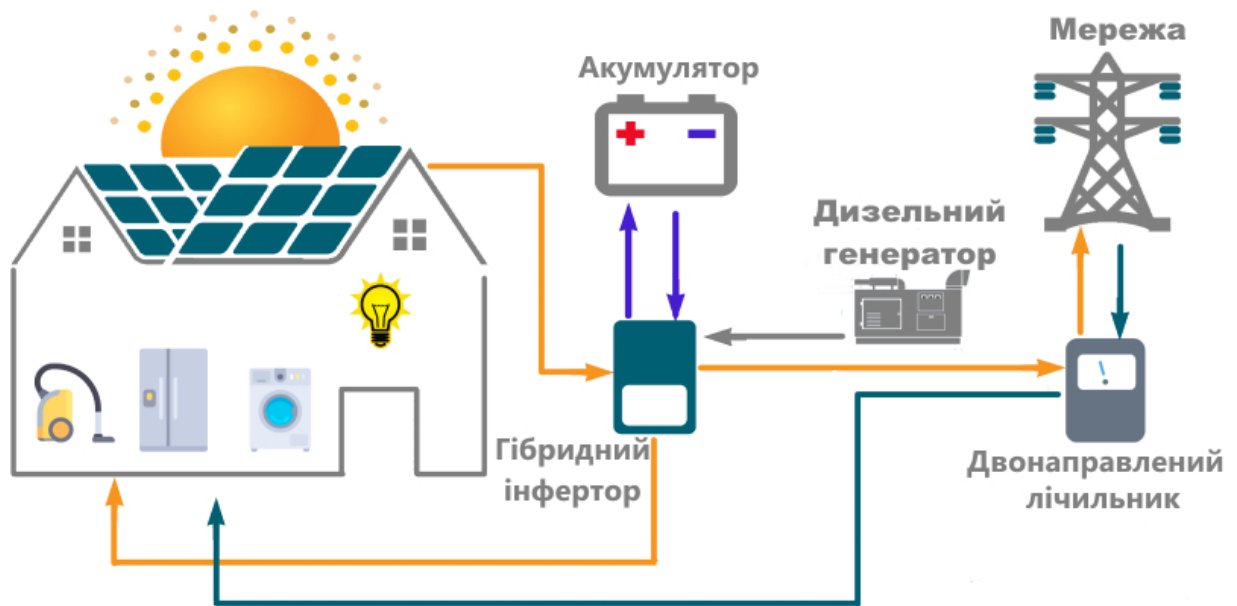


Рис. 2.2. Гібридна СЕС

Ще однією важливою перевагою є економічна вигода. Гібридні системи можуть бути оптимізовані для досягнення максимальної ефективності, знижуючи витрати на енергію в порівнянні з використанням лише одного джерела. Наприклад, в умовах високих тарифів на електричну енергію від мереж, гібридна система може значно знизити витрати на енергоспоживання за рахунок використання відновлювальних джерел енергії. До того ж, можливість продавати надлишкову енергію до загальної мережі робить такі системи ще більш вигідними.

Однак, незважаючи на всі переваги, гібридні системи мають і кілька недоліків. Одним із основних є висока початкова вартість установки, оскільки потребується кілька типів обладнання для кожного джерела енергії, а також інвертори та акумулятори для забезпечення зберігання енергії. Вартість технічного обслуговування також може бути вищою через складність системи та наявність різних компонентів. Крім того, гібридні системи потребують

ретельного проектування та інтеграції різних джерел енергії для забезпечення їх безперебійної роботи, що може бути технічно складним і вимагати додаткових затрат на налаштування та моніторинг системи.

Гібридні системи електропостачання є потужним інструментом для забезпечення стабільного та економічного енергозабезпечення в умовах змішаного використання відновлювальних джерел енергії. Однак для досягнення оптимальних результатів необхідно ретельно враховувати всі технічні, економічні та кліматичні фактори, що можуть впливати на їх ефективність.

2.2. Визначення обсягів електроспоживання

Для виконання досліджень в якості об'єкту обираємо середньостатистичний будинок. Прийнято, що у будинку живуть 3 особи, освітлення – LED-лампи. Техніка: холодильник, пральна машина, бойлер, кондиціонер, телевізор, комп'ютер. Бойлер використовується вранці та ввечері, пральна машина – вдень.

Визначення об'ємів енергоспоживання виконуємо на основі добового графіку споживання будинку, який наведено на рис. 2.3.

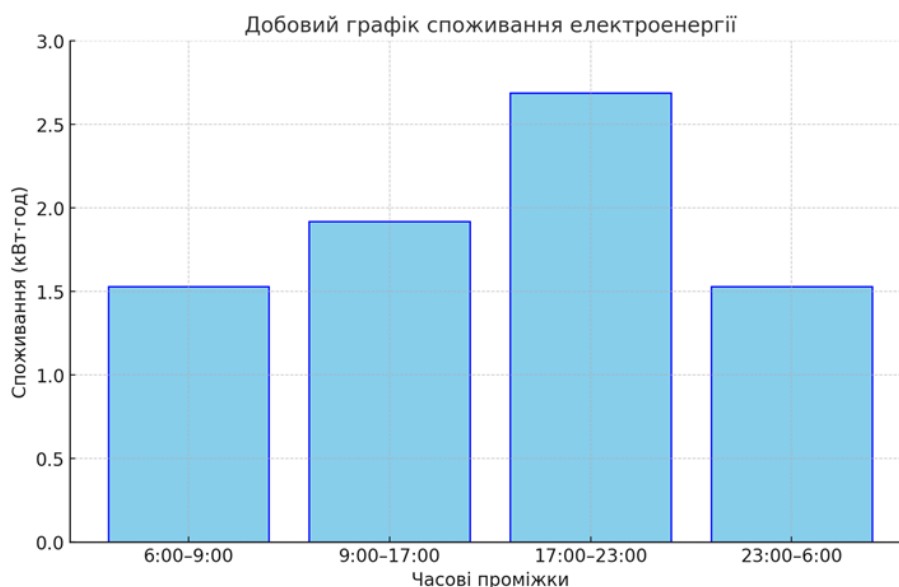


Рис. 2.3. Добовий графік електроспоживання будинку

Загальне споживання будинку за добу знайдемо за формулою:

$$\Sigma W_{\text{доба}} = W_{6-9} + W_{9-17} + W_{17-23} + W_{23-6}; \quad (2.1)$$

$$\Sigma W_{\text{доба}} = 1,53 + 1,92 + 2,69 + 1,53 = 7,67 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Середнє значення потужності за добу:

$$P_{\text{сер.доба}} = \frac{W_{\text{доба}}}{T_{\text{доба}}}, \quad (2.2)$$

$$P_{\text{сер.день}} = \frac{7,5}{24} = 0,31 \text{ кВт}.$$

Добовий графік споживання електроенергії відображає характерний розподіл енергоспоживання для житлового будинку з середнім місячним обсягом 230 кВт·год. Загалом середньодобове споживання становить 7,67 кВт·год, що розподіляється нерівномірно протягом дня залежно від активності мешканців і типових побутових потреб.

Вранці, з 6:00 до 9:00, споживання становить 1,53 кВт·год. Це період підвищеного навантаження, спричиненого використанням побутових приладів, таких як чайники, мікрохвильові печі та інші пристрої для приготування сніданку. Крім того, вмикається освітлення, оскільки в цей час часто недостатньо природного світла.

У денний час, з 9:00 до 17:00, споживання зменшується до 1,92 кВт·год, оскільки більшість мешканців відсутні вдома, а енергоспоживання зводиться до базових потреб, таких як робота холодильника та інших пристроїв, які постійно підключені до мережі. За потреби в цей період може вмикатися кондиціонер або обігрівач залежно від сезону, що може дещо підвищити споживання.

Найбільший пік споживання припадає на вечірній час, з 17:00 до 23:00, коли енергоспоживання сягає 2,69 кВт·год. Це зумовлено активним використанням освітлення, кухонних приладів для приготування вечері, телевізорів, комп'ютерів та зарядних пристроїв. У цей час мешканці зазвичай перебувають вдома, виконуючи побутові завдання або відпочиваючи, що значно збільшує навантаження на мережу.

У нічний час, з 23:00 до 6:00, споживання знову зменшується до 1,53 кВт·год. У цей період працюють лише основні пристрої, такі як холодильник, а також деякі прилади, які можуть залишатися в режимі очікування. Споживання стабільне та низьке, оскільки в цей час більшість мешканців спить.

Цей розподіл споживання є типовим для середньостатистичного будинку, демонструючи максимальну активність у ранковий та вечірній час, мінімальну – уночі. Графік дає змогу зрозуміти, коли відбувається найбільше навантаження на мережу, що може бути корисним для впровадження заходів енергозбереження або використання розумних енергетичних систем..

2.2. Обґрунтування потужності та кількості сонячних панелей

Сонячні панелі бувають трьох основних типів: монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові (рис. 2.4.), і вибір між ними залежить від цілей, бюджету та умов експлуатації. Монокристалічні панелі виготовляються з цільних кристалів кремнію, що забезпечує найвищу ефективність перетворення сонячного світла в електроенергію, яка може сягати 20-22%. Вони мають тривалий термін служби і найкраще працюють в умовах прямого сонячного освітлення, що робить їх ідеальними для регіонів із високою інсоляцією. Їхній недолік – вища вартість порівняно з іншими типами.

Полікристалічні панелі виготовляються з кремнію, який охолоджується у формі, утворюючи кілька кристалів. Вони мають трохи нижчу ефективність – близько 15-18%, але коштують дешевше за монокристалічні аналоги. Цей тип

панелей добре підходить для великих площ і помірних умов, оскільки вони працюють ефективно навіть при розсіяному світлі. Зовнішній вигляд їх також відрізняється: вони мають синюватий відтінок і нерівномірну текстуру.

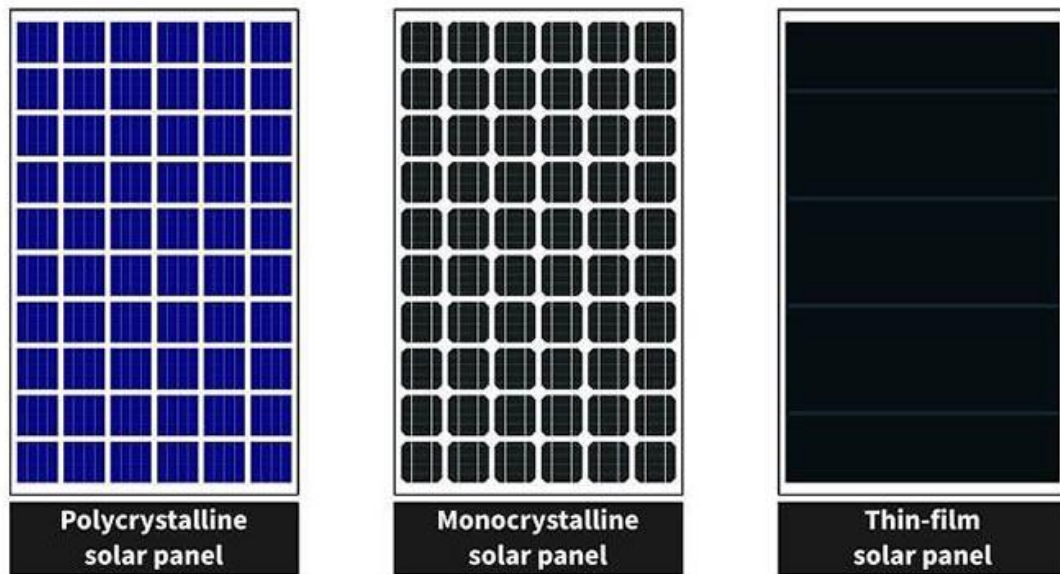


Рис. 2.4. – Типи сонячних панелей

Тонкоплівкові панелі виготовляються шляхом нанесення фоточутливих матеріалів на основу, таку як скло або пластик. Вони є найлегшими й найдешевшими, але мають найнижчу ефективність – приблизно 10-12%. Їх перевага полягає в гнучкості, що дозволяє використовувати їх на поверхнях нестандартної форми. Водночас їхній термін служби зазвичай коротший, а площа, необхідна для генерування значної кількості енергії, більша.

Для вибору оптимального типу панелей слід враховувати доступний бюджет, площу для монтажу та кліматичні умови. Якщо важлива максимальна ефективність і довговічність, монокристалічні панелі є найкращим вибором. Для більш бюджетного рішення, яке все ж забезпечує хорошу продуктивність, варто розглянути полікристалічні. Якщо ж пріоритетом є низька вартість або легкість конструкції, тонкоплівкові панелі можуть бути вигідними.

Окрім типу, важливо також звернути увагу на виробника, гарантію, сертифікати якості та показники деградації панелей із часом. Вибір

відповідного варіанту допоможе досягти оптимального балансу між вартістю та продуктивністю системи.

Кількість електричної енергії, що виробляється одним фотомодулем за один місяць із врахуванням рівня загальної сонячної радіації можна розрахувати за формулою [000]:

$$W_{\text{фм}} = S_{\text{фм}} \cdot E \cdot k \cdot \eta, \quad (2.3)$$

$S_{\text{фм}}$ – площа сонячної панелі обраного типу, м²;

E – значення сонячної інсоляції для Сумського регіону, кВт·год/м² [24];

k – коефіцієнт, рівний влітку 0,5 та взимку 0,7, який враховує зниження генерації в залежності від температури фотомодуля;

η – ККД обраної сонячної панелі.

В якості сонячних фотомодулів для електрозабезпечення будинків обираємо модуль типу Risen Energy RSM144-9-550M 550W (рис. 2.5.). Номінальні параметри фотомодуля наведені в таблиці 2.1.

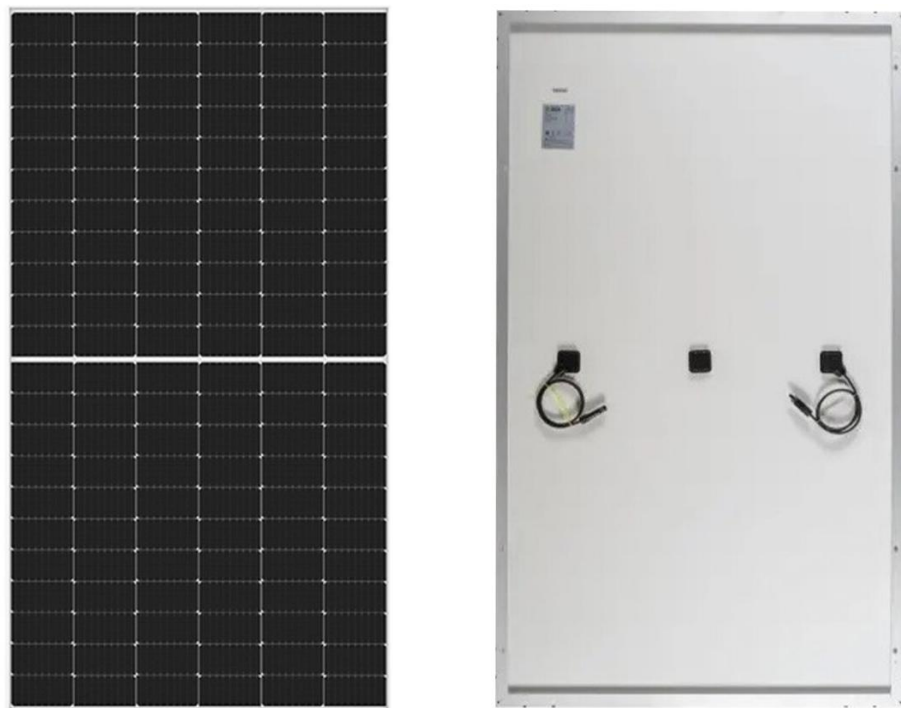


Рис. 2.5. Фотомодуль Risen Energy RSM144-9-550M 550W

Таблиця 2.1. – Номінальні параметри Risen Energy RSM144-9-550M

Найменування моделі	RISEN Titan RSM144-9-550M
Максимальна потужність W_{mp} , Вт	550
Максимальна напруга MPPT V_{mp} , В	42,20
Максимальний струм I_{mp} , А	13,04
Напруга холостого ходу (відкритого ланцюга) V_{oc} , А	49,80
Струм короткого замикання I_{sc} , А	13,94
Маса, кг	27,28
Тип селів, мм	монокристал
Розмір панелі, мм	2279x1134x35
Розмір селів, мм	
Кількість селів, шт	144
Максимальна робоча напруга системи, В	1500
Ефективність, %	21
Запобіжник, що рекомендується в ланцюгу, А	20
Температурний коефіцієнт напруги V_{oc} , %/C	-0,25
Температурний коефіцієнт потужності P_m , %/C	-0,34
Температурний коефіцієнт струму I_m , %/C	+0,04
Робочий діапазон температур, C	-40...+85
Клас модуля	A
Максимальне вітрове навантаження, м.с.	30
Міцність конструкції	Steel Ball fall down from 1m height
Тип скла	3,2мм tempered
Ступінь захисту конструкції	IP67
Довжина кабелю, мм	900 (може бути змінена без попередження)
Тип конектора	MC4
Допуск вихідної потужності, Вт	0...+5
Матеріал рами	Анодований алюміній

Кількість сонячних панелей, яка необхідна для повного місячного забезпечення електроенергією можна знайти за виразом:

$$N = \frac{W_{\text{спож.міс}}}{W_{\text{фм}}} \quad (2.4)$$

Результати визначення генерації одним фотомодулем за місяць та необхідної кількості панелей протягом року наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати визначення генерації одним фотомодулем за місяць та необхідної кількості панелей

<i>Місяць</i>	$W_{\text{спож.міс}}$, <i>кВт·год</i>	E , <i>кВт·год / м²</i>	$W_{\text{фм}}$, <i>кВт·год</i>	N , <i>шт</i>
Січень	276	33,9	12,9	21
Лютий	248	57,9	22,0	11
Березень	221	91,5	34,7	6
Квітень	194	119,4	45,3	4
Травень	195	158,1	42,8	5
Червень	221	159,6	43,2	5
Липень	250	161,4	43,7	6
Серпень	252	140,1	38,0	7
Вересень	221	95,7	25,9	9
Жовтень	195	59,4	22,5	9
Листопад	248	33,0	12,5	20
Грудень	276	25,8	9,8	28

На основі аналізу даних таблиці 2.2 можна зробити висновок, що для повного електрозабезпечення будинку необхідно встановити 28 панелей. Таким чином, можна повністю зробити автономне живлення будинку навіть у

зимовий період. Влітку, встановивши гібридний інвертор, надлишок енергії можна продавати в мережу за зеленим тарифом.

Графічні залежності генерації протягом року 28 панелями та електроспоживання будинку наведені на рис. 2.6.

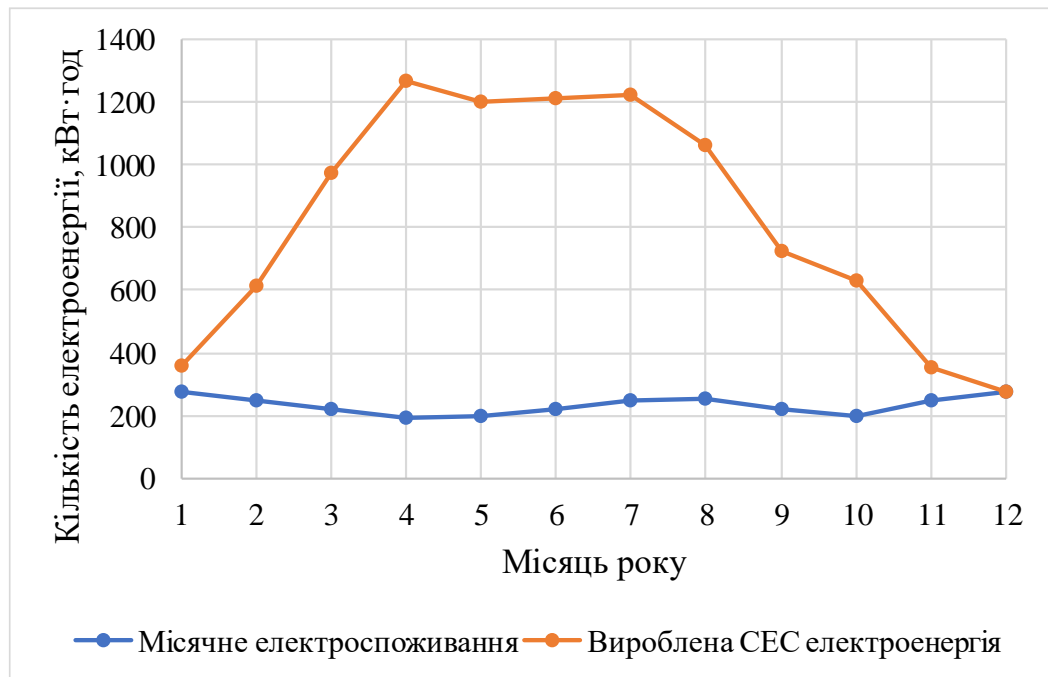


Рис. 2.6. Залежності генерації протягом року 28 панелями та електроспоживання будинку

Електроспоживання будинку залишається відносно стабільним протягом року та становить приблизно 200–250 кВт·год щомісяця (рис. 2.6). Генерація сонячної електростанції має сезонний характер.

У зимові місяці, такі як січень і грудень, генерація є найнижчою – близько 200–300 кВт·год. У весняно-літній період, з квітня по липень, генерація досягає пікових значень – 1200–1400 кВт·год на місяць, що значно перевищує потреби будинку. У вересні–жовтні виробництво поступово знижується, опускаючись до 300–500 кВт·год у листопаді.

Таким чином, у теплі місяці (травень–липень) спостерігається значний надлишок виробленої енергії, який може бути використаний для продажу.

2.3. Вибір інвертора для гібридної СЕС

Вибір інвертора для гібридної сонячної електростанції (СЕС) є ключовим етапом у проектуванні системи, оскільки саме інвертор виконує роль «мозку» електростанції, забезпечуючи перетворення постійного струму від сонячних панелей в змінний струм для живлення побутових приладів, управління енергетичними потоками між панелями, акумуляторами, мережею та споживачами. При виборі інвертора необхідно врахувати низку технічних, експлуатаційних і економічних чинників.

Основним критерієм є потужність інвертора. Вона повинна відповідати або бути трохи більшою за сукупну потужність встановлених сонячних панелей, щоб інвертор зміг ефективно працювати навіть при пікових значеннях генерації. Для будинку з середньою потужністю панелей у 5 кВт доцільно обрати інвертор з потужністю 5–6 кВт, щоб уникнути перевантаження. Також необхідно врахувати потреби будинку в електроенергії, щоб інвертор міг забезпечити достатню потужність для живлення усіх приладів у разі автономної роботи.

Другим важливим параметром є підтримка роботи з акумуляторними батареями. Інвертор для гібридної СЕС повинен мати функцію роботи з накопичувачами енергії, дозволяючи зберігати надлишки генерації для подальшого використання вночі або у разі відсутності сонячного світла. Сумісність інвертора з різними типами акумуляторів, такими як літій-іонні, свинцево-кислотні чи інші, має бути врахована. Рекомендується обирати інвертори, що підтримують сучасні акумулятори з довгим терміном служби та високою ефективністю.

Ще одним важливим аспектом є наявність функції резервного живлення. У випадку аварійного відключення електроенергії в мережі, гібридний інвертор має забезпечувати живлення критично важливих споживачів, таких як холодильник, освітлення чи інтернет. Для цього необхідно перевірити, чи

має інвертор функцію «UPS» (Uninterruptible Power Supply) і наскільки швидко він може перемикається в автономний режим.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) інвертора є важливим параметром, який впливає на загальну ефективність системи. Чим вищий ККД, тим менше енергії втрачається під час перетворення, що дозволяє максимально використовувати генерацію СЕС. Для сучасних моделей цей показник зазвичай перевищує 95%.

Інвертор повинен підтримувати кілька МРРТ-контролерів (Maximum Power Point Tracking), які забезпечують максимальну ефективність роботи фотомодулів за різних умов освітлення. Це особливо важливо для систем з панелями, розташованими під різними кутами або орієнтованими в різні сторони. Додатковою перевагою буде наявність функцій моніторингу та управління через інтернет чи мобільний додаток. Це дозволяє власникам СЕС контролювати процес генерації, споживання та зарядки акумуляторів у реальному часі, а також отримувати сповіщення про несправності.

Крім технічних характеристик, слід врахувати надійність і довговічність інвертора. Зверніть увагу на показники стійкості до кліматичних умов, такі як температурний діапазон роботи та рівень захисту від пилу і вологи (IP-рейтинг). Для зовнішньої установки інвертор повинен мати високий ступінь захисту (IP65 або вище).

У підсумку, правильний вибір інвертора для гібридної СЕС має базуватися на гармонійному поєднанні технічних параметрів, потреб користувача та умов експлуатації. Інвертор повинен забезпечувати високу ефективність, стабільність роботи та можливість адаптації до майбутніх оновлень чи розширень системи.

Для вибору інвертора враховується загальна потужність 28 сонячних панелей, що становить 15 400 Вт. У результаті було обрано гібридну модель інвертора DEYE SUN-16K-SG01LP1-EU (рис. 2.7). Схема включення інвертора наведена на рис. 2.8. Його технічні характеристики подано в таблиці 2.3.



Рис. 2.7. Інвертор гібридний DEYE SUN-16K-SG01LP1-EU

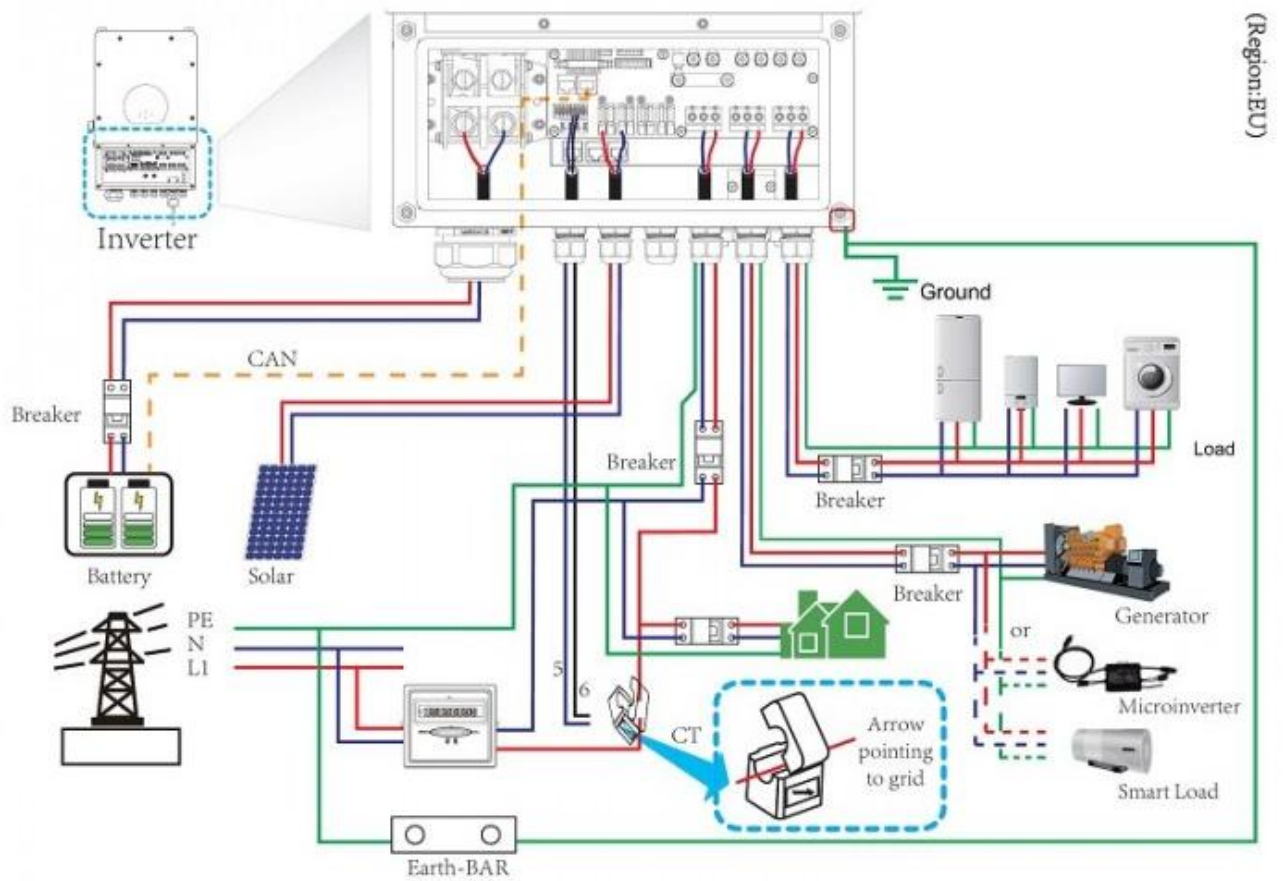


Рис. 2.8. Схема підключення DEYE SUN-16K-SG01LP1-EU

Таблиця 2.3 – Номінальні параметри DEYE SUN-16K-SG01LP1-EU

Бренд:	Deye
Тип:	Гібридний сонячний інвертор
Номінальна потужність, кВт:	16
Кількість фаз:	однофазний
Мінімальна вхідна напруга PV-поля, В:	150
Максимальна вхідна напруга PV-поля, В:	425
Вихідна напруга, В:	230
Вихідна частота струму, Гц:	50/60
Форма вихідного сигналу:	чиста синусоїда
ККД при повному навантаженні,%:	97,6
Клас захисту IP:	IP65
Тип контролера:	MPPT
Кількість трекерів MPPT/PWM, шт:	3
Акумулятор (батарея)	
Напруга акумулятора (АКБ), В:	60 (40-60)
Максимальний струм заряду акумулятора (АКБ), А:	290
Функціональні особливості	
Паралельне підключення:	є
Підключення генератора:	є
Активне охолодження (вентилятори):	є
Загальне	
Індикація:	LCD дисплей
Висота, мм:	763
Ширина, мм:	464
Глибина, мм:	282
Вага, кг:	48,5
Країна реєстрації бренду:	Китай
Додатково:	Інтерфейс: RS-485. Підтримка кількох батарей паралельно. 6 періодів часу для заряджання/розряджання акумулятора. Підтримка дизель-генератора.

2.4. Обґрунтування ємності та кількості акумуляторних батарей

Для визначення ємності та кількості акумуляторних батарей для гібридної системи на основі добового графіка споживання необхідно врахувати кілька ключових параметрів. Добове споживання електроенергії будинку становить 7,67 кВт·год, що отримано з підсумовування енергії, спожитої в різні часові проміжки. Для забезпечення безперебійного енергопостачання необхідно, щоб акумуляторна система могла накопичити щонайменше цю кількість енергії.

Гібридний інвертор DEYE SUN-16K-SG01LP1-EU працює з акумуляторними батареями номінальною напругою 40-60 В. Ємність акумуляторів розраховується за формулою:

$$C = \frac{\Sigma W_{\text{доба}}}{U_{\text{АКБ}}}, \quad (2.5)$$

де C – ємність батарей у ампер-годинах;

$\Sigma W_{\text{доба}}$ – загальне добове споживання в ват-годинах;

$U_{\text{АКБ}}$ – напруга батарей, В.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$C = \frac{7670}{51,2} = 150 \text{ А.}$$

Це означає, що для повного покриття добового споживання необхідно забезпечити акумулятори із загальною ємністю 150 А·год при напрузі 51,2 В.

Кількість батарей залежить від вибору конкретної моделі акумулятора. Наприклад, якщо використовується батарея з номінальною ємністю 150 А·год і напругою 51,2 В, буде достатньо однієї батареї. Якщо ж вибирається батарея з меншою ємністю, наприклад 75 А·год, знадобиться два таких акумулятори, з'єднаних паралельно, щоб досягти необхідної ємності. Важливо також

врахувати, що для гібридних систем часто рекомендується мати резерв ємності для врахування можливих втрат енергії під час зарядки і розрядки акумуляторів. Зазвичай цей резерв становить 10–20%, що означає, що реальна ємність системи має бути на 10–20% більшою за розраховане значення. У цьому випадку бажано мати ємність близько 180 А·год для підвищення надійності системи.

Таким чином, залежно від ємності обраної моделі батарей та враховуючи необхідний резерв, можна визначити їх кількість. Якщо батарея має меншу напругу, наприклад 12 В, необхідно послідовно з'єднувати мінімум 4 таких батарей, щоб досягти потрібної напруги 51,2 В, і враховувати, що їх ємність не змінюється при послідовному з'єднанні. У такому випадку кількість батарей збільшується відповідно до ємності кожної з них.

Для системи автономного енергопостачання будинку обираємо акумулятори типу RW-F10.6 DEYE (LiFePO₄ 51,2V 208Ah) (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Акумуляторна батарея серії RW-F10.6 DEYE

Номінальні параметри обраного акумулятора наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. – Номінальні параметри акумулятора RW-F10.6 DEYE (LiFePO₄ 51,2V 208Ah)

Виробник	Deye
Модель	RW-F10.6
Ємність акумулятора	208 Ah
Тип батареї	LiFePO ₄
Номінальна напруга	51.2 V
Напруга заряджання	57.6 V
Напруга відсічення розряду	43.2 V
Діапазон робочої напруги	43.2 - 57.6 V
Струм заряду максимальний та рекомендований	100 A
Струм розряду максимальний та рекомендований	100 A
Цикл життя	6000 циклів
Матеріал корпусу	Метал
Режим охолодження	Пасивне
Тип клеми	Proprietary
Рекомендована робоча температура заряду	-20°C - +55°C
Рекомендована робоча температура розряду	-20°C - +55°C
Рекомендована температура зберігання	0°C - +35°C
Додатковий опціонал/можливості	CAN2.0
	RS485
Розміри товару (без упаковки) та вага	560x440x133

2.5. Вибір двонаправленого лічильника

Вибір двонаправленого лічильника для гібридної сонячної електростанції є важливим етапом при проектуванні системи, що дозволяє ефективно враховувати як споживання електричної енергії з мережі, так і її надлишки, що генеруються сонячними панелями. Двонаправлені лічильники мають здатність реєструвати потік електричної енергії в обидва напрямки, що є необхідним для коректного обліку енергії, яка надходить у мережу та отримується з неї.

Основними параметрами, на які слід звертати увагу при виборі лічильника, є його точність, відповідність стандартам і вимогам енергетичної

компанії, а також підтримка функцій зчитування даних і інтеграції з іншими системами моніторингу. Важливо, щоб лічильник мав здатність працювати як з низьким, так і з високим рівнем напруги, враховуючи можливість різних типів підключень, які використовуються в гібридних сонячних системах. Також лічильник повинен бути здатним обробляти інформацію щодо генерації енергії від сонячних панелей і її передачі в загальну мережу для правильного підрахунку компенсацій, що здійснюються енергетичними компаніями.

Не менш важливим є вибір лічильника, який має високу стійкість до перепадів температур і вологих умов, оскільки він часто розміщується в умовах відкритого простору. Крім того, сучасні моделі можуть підтримувати комунікацію через інтерфейси, такі як модеми, що дозволяє здійснювати віддалений моніторинг та контроль за станом системи.

Усі ці фактори допомагають забезпечити надійність та ефективність роботи гібридної сонячної електростанції, що не тільки сприяє економії коштів, а й забезпечує оптимальне використання електричної енергії.

Таким чином, для системи автономного енергопостачання будинку обираємо двонаправлений лічильник типу NIK 2104 AP6T.2602.MC.21 220V 5(80)A (A±) GSM/GPRS (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Двонаправлений лічильник типу NIK 2104 AP6T.2602.MC.21 220V 5(80)A (A±) GSM/GPRS

Таблиця 2.5. Технічні характеристики NIK 2104 AP6T.2602.MC.21

Кількість фаз	Однофазний
Кількість тарифів	Чотиритарифний
Особливості	Для зеленого тарифу
Тип індикатора	Електронний (PKI)
Номинальний струм, А	5
Кріплення	на DIN-рейку
Вимірювана електроенергія	Активна
Міжперевірний інтервал, років	16
Клас точності	1
Максимальний струм, А	80
Номинальна напруга, В	220
Додаткові характеристики	модем GSM/GPRS, оптичний порт, реле відключення навантаження, датчики магнітного та електромагнітного полів
Тип підключення	Пряме
Інтерфейс	GSM

2.6. Висновки до розділу

У розділі було проведено всебічний аналіз параметрів системи автономного електрозабезпечення для житлового будинку на основі сонячної енергії. Спочатку здійснено огляд існуючих систем електрозабезпечення з використанням сонячної енергії, що дозволило оцінити їх переваги та недоліки для конкретного застосування. Далі було визначено обсяги електроспоживання будинку, що стало основою для подальших розрахунків потужності необхідних елементів системи.

На основі отриманих даних було обґрунтовано потужність та кількість сонячних панелей, які забезпечать достатню кількість енергії для покриття всіх потреб будинку. Вибір інвертора для гібридної сонячної електростанції був зроблений з урахуванням його ефективності та сумісності з іншими компонентами системи. Для забезпечення безперебійної роботи системи вночі або в похмурі дні було обґрунтовано необхідну ємність та кількість акумуляторних батарей.

Загалом, проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що розроблена система автономного електрозабезпечення будинку на основі сонячної енергії є технічно обґрунтованою та економічно ефективною, здатною забезпечити потреби домогосподарства в електроенергії з урахуванням сучасних технологій та ресурсів.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація охорони праці при роботі з сонячними електростанціями для електропостачання будинків. Організація охорони праці при роботі з сонячними електростанціями для електропостачання будинків є важливою складовою безпеки та ефективності енергетичних систем. Одним із перших кроків є планування заходів з охорони праці, яке включає розробку та реалізацію комплексного плану заходів для забезпечення безпечних умов праці. У цьому процесі повинні брати участь всі підрозділи підприємства, що займаються проектуванням, монтажем, експлуатацією та технічним обслуговуванням сонячних електростанцій. Окрім того, фінансування заходів з охорони праці повинно передбачати витрати на закупівлю необхідних засобів індивідуального захисту, спецодягу, інструментів та обладнання для безпечної роботи.

У колективному договорі обов'язково повинні бути визначені положення, що стосуються охорони праці, зокрема умови праці, гарантії безпеки для працівників та вимоги до їхнього навчання. Розділ "Охорона праці" може містити вимоги щодо періодичних перевірок технічного стану обладнання, проходження медичних оглядів та контролю за умовами праці.

Організація навчання з охорони праці є необхідною для всіх працівників, які залучені до роботи з сонячними електростанціями. Важливим елементом цього є наявність спеціальних навчальних програм, інструкцій з безпеки та журналів реєстрації інструктажів, що дозволяють контролювати рівень знань і навичок персоналу. Протоколи атестації працівників після проходження навчання є обов'язковими документами, що підтверджують кваліфікацію та готовність до роботи в умовах підвищеного ризику.

Забезпечення працівників спецодягом та засобами індивідуального захисту є важливою складовою для запобігання нещасним випадкам. Працівники повинні мати необхідний захист від електричного струму, падіння предметів, а також засоби для захисту органів дихання та зору при виконанні

робіт на відкритому повітрі. Крім того, необхідне санітарно-побутове забезпечення, зокрема організація спеціальних місць для відпочинку, харчування та підтримки гігієнічних умов.

Відповідальність за охорону праці на таких об'єктах повинна покладатися на посадових осіб, які мають чітко визначені функції з контролю за виконанням норм та стандартів безпеки. Це включає організацію перевірок технічного стану обладнання, моніторинг умов праці та відповідальність за надання працівникам необхідних засобів захисту та навчання з безпеки [25, 26].

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі з сонячними електростанціями для електропостачання будинків. При роботі з сонячними електростанціями для електропостачання будинків існує низка шкідливих і небезпечних факторів, що можуть впливати на безпеку працівників. Одним із основних факторів є ризик ураження електричним струмом. Сонячні панелі генерують електричний струм навіть при відсутності прямого сонячного світла, тому під час їх монтажу, обслуговування чи ремонту без належних заходів безпеки може статися ураження струмом. Особливо це стосується роботи з електричними компонентами системи, де необхідно дотримуватись строгих стандартів безпеки для запобігання коротким замиканням та електричним ударам.

Іншим важливим фактором є фізична небезпека, пов'язана з роботою на висоті. Монтаж сонячних панелей часто передбачає роботу на дахах будинків, що створює ризик падіння з висоти. Це може призвести до серйозних травм або навіть летальних наслідків, особливо якщо не використовується відповідне спорядження, таке як страхувальні системи та засоби для забезпечення безпеки під час роботи. Також є ризики, пов'язані з тривалим перебуванням на сонці, що може призвести до перегріву організму або сонячних опіків. Працівники, що працюють на відкритому повітрі, повинні бути захищені від ультрафіолетового випромінювання, яке може спричинити шкідливі наслідки для шкіри та загальний стан здоров'я.

Ще одним небезпечним фактором є механічні травми, що можуть виникати під час транспортування, установки чи обслуговування сонячних панелей і супутнього обладнання. Важкі елементи конструкції можуть спричиняти травми при неправильному їх переміщенні чи установці.

Не менш важливою є безпека від неправильно налаштованих або пошкоджених сонячних елементів. Пошкодження елементів системи може призвести до витoku струму, загоряння чи навіть вибуху, якщо не виконано своєчасне обслуговування та перевірка технічного стану.

Таким чином, шкідливі та небезпечні фактори при роботі з сонячними електростанціями вимагають особливої уваги до забезпечення безпеки працівників через правильне планування, наявність необхідного захисту, навчання та регулярну перевірку обладнання..

Рекомендації щодо впровадження безпечних умов праці при роботі сонячними електростанціями для електропостачання будинків. Для забезпечення безпечних умов праці при роботі з сонячними електростанціями для електропостачання будинків необхідно впровадити низку заходів, що сприятимуть мінімізації ризиків та підвищенню безпеки працівників.

По-перше, важливою умовою є організація системи навчання та інструктажів для всіх працівників, які будуть залучені до монтажу, експлуатації та технічного обслуговування сонячних електростанцій. Працівники повинні пройти курс з охорони праці, де розглядатимуться специфічні небезпеки, що виникають при роботі з сонячними панелями та іншими електричними елементами. Важливими є також регулярні інструктажі та перевірка знань з безпеки.

Другим важливим аспектом є забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). Для зниження ризику ураження електричним струмом необхідно використовувати спеціальні рукавички, взуття та інші засоби для роботи з електричним обладнанням. Окрім цього, працівники, які працюють на висоті, повинні бути оснащені відповідними засобами захисту від падінь, такими як страхувальні системи.

Також необхідно організувати регулярні технічні огляди та обслуговування обладнання, щоб запобігти виникненню аварійних ситуацій. Перевірка стану сонячних панелей, електричних кабелів, інверторів та іншого обладнання повинна бути регулярною та проводитись за чітким графіком. Всі роботи з ремонту чи обслуговування повинні виконуватись тільки після повного відключення системи від мережі.

Важливим кроком є створення безпечних робочих умов, які передбачають належне освітлення та вентиляцію, особливо для тих працівників, що виконують роботи на відкритому повітрі. Також варто створити спеціальні зони для відпочинку та харчування працівників, забезпечуючи їх необхідними санітарними умовами.

Ще одним важливим етапом є підготовка та ведення документації з охорони праці. Усі інструктажі, атестації працівників, технічні огляди обладнання, а також результати перевірок повинні бути належно зареєстровані в журналах та протоколах. Це дозволить своєчасно виявити проблеми та оперативно їх вирішувати.

Нарешті, слід встановити чіткі механізми контролю та відповідальності за дотриманням норм безпеки. Всі посадові особи, що відповідають за охорону праці, повинні бути вмотивовані до регулярного контролю та реагування на можливі порушення.

Висновки до розділу. При роботі з сонячними електростанціями для електропостачання будинків важливо враховувати ризики, пов'язані з електричним струмом, травмами при роботі на висоті та іншими небезпеками. Для забезпечення безпеки працівників необхідно впровадити систему навчання, регулярно проводити інструктажі, а також забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, такими як рукавички, взуття та страхувальні системи. Важливими є технічні огляди обладнання та створення безпечних робочих умов. Загалом, комплексний підхід до охорони праці допоможе знизити ризики та забезпечити безпечну роботу з сонячними електростанціями..

4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Економічне обґрунтування системи автономного електрозабезпечення житлового будинку з використанням сонячної енергії є важливою частиною процесу проектування та впровадження таких систем. Однією з основних переваг цієї технології є можливість зменшення витрат на електроенергію для власників будинків, а також зниження залежності від централізованих постачальників енергії. Для того, щоб система сонячної енергії стала вигідною з економічної точки зору, необхідно врахувати кілька основних факторів.

Перш за все, слід провести оцінку початкових витрат на встановлення сонячних панелей, інверторів та акумуляторних батарей. Ці витрати можуть варіюватися в залежності від потужності системи та типу обладнання, що використовуватиметься. Однак варто зазначити, що завдяки розвитку технологій ціни на сонячні панелі поступово знижуються, що робить цю технологію більш доступною для широкого кола споживачів.

Важливою складовою є економія на витратах на електроенергію в процесі експлуатації системи. Сонячна енергія є відновлювальним джерелом, і якщо будинок споживає менше електричної енергії, ніж виробляється за допомогою сонячних панелей, можливе зберігання надлишкової енергії в акумуляторах або навіть її продаж в мережу. Це дозволяє компенсувати частину початкових інвестицій і отримувати доходи від продажу енергії.

Ще одним важливим аспектом є окупність такої системи. Зазвичай, для житлових будинків система автономного електрозабезпечення з використанням сонячної енергії може окупитися протягом 5-10 років, залежно від розміру інвестицій, рівня споживання енергії та сонячної активності в конкретному регіоні.

Крім того, в разі використання сонячної енергії, можна значно знизити витрати на обслуговування електричної мережі будинку, оскільки сонячні системи мають невисокі витрати на обслуговування та ремонт протягом багатьох років. Це дозволяє знизити загальні витрати на енергозабезпечення

будинку, що в свою чергу впливає на загальну економічну вигоду від впровадження сонячної енергії.

Враховуючи зазначене, можна стверджувати, що система автономного електрозабезпечення на базі сонячної енергії є економічно доцільною, оскільки дозволяє знизити експлуатаційні витрати на електроенергію, скоротити витрати на обслуговування мережі, а також забезпечити сталий і ефективний енергетичний баланс для житлового будинку.

Розрахунок капіталовкладень для впровадження гібридної СЕС наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок капіталовкладень для впровадження гібридної СЕС

<i>Найменування обладнання</i>	<i>Вартість одиниці, грн.</i>	<i>Кількість, шт.</i>	<i>Вартість, грн.</i>
Фотомодуль Risen Energy RSM144-9-550M 550W	4400	28	123200
Інвертор гібридний DEYE SUN-16K-SG01LP1-EU	102000	1	82000
Двонаправлений лічильник типу NIK 2104 AP6T.2602.MC.21	4600	1	4600
Додаткові електротехнічні апарати (автоматичні вимикачі, рубильники, захист від перенапруг)	-	-	15000
Разом по обладнанню			224800
Будівельно-монтажні роботи (беремо 15% від вартості обладнання)	-	-	33700
Разом			258500

Для оцінки ефективності використання мікрогенерації на основі сонячної електростанції необхідно здійснити розрахунок загальних витрат на виробництво електроенергії, яку можливо продати в енергетичну мережу. Результати, отримані в результаті розрахунків, наведені в таблиці 4.2 та на рис. 4.1.

Таблиця 4.2 – Прибуток від реалізації електроенергії за зеленим тарифом

Місяць	$W_{\text{спож.міс}}$, кВт·год	$W_{\text{фм}}$, кВт·год	Об'єм ЕЕ на продаж	Тариф, грн/кВт·год	Прибуток, грн
Січень	276	360,0	84,0	6,4 грн	537,6
Лютий	248	614,9	366,9		2347,9
Березень	221	971,7	750,7		4804,3
Квітень	194	1267,9	1073,9		6873,2
Травень	195	1199,2	1004,2		6427,0
Червень	221	1210,6	989,6		6333,4
Липень	250	1224,3	974,3		6235,2
Серпень	252	1062,7	810,7		5188,4
Вересень	221	725,9	504,9		3231,4
Жовтень	195	630,8	435,8		2789,0
Листопад	248	350,4	102,4		655,6
Грудень	276	274,0	-2,0		-
Всього	2797	9892,3	7095,3		45410

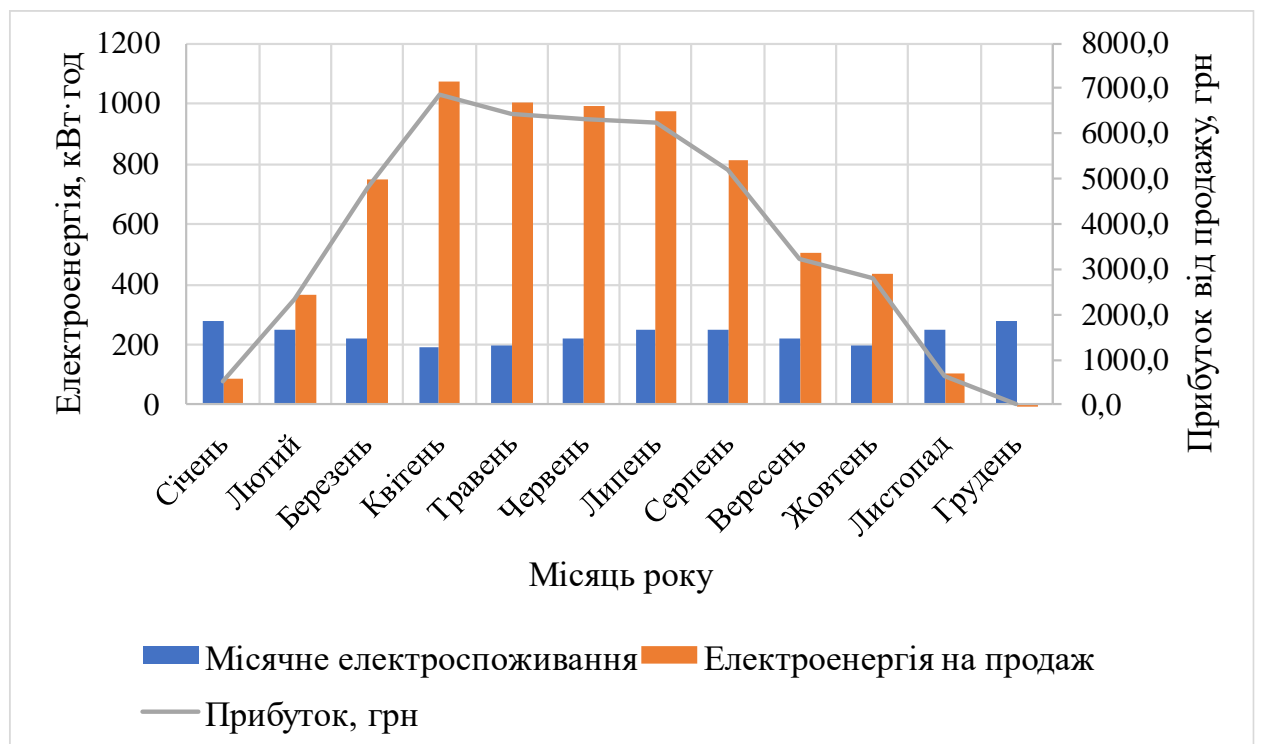


Рис. 4.1. Залежності споживання, генерації та прибуток від продажу електроенергії протягом року

Термін окупності гібридної СЕС [27]:

$$T = \frac{K}{\Pi}, \quad (4.1)$$

де K – капіталовкладення для впровадження гібридної СЕС, грн;

Π – прибуток від продажу електроенергії в мережу, грн.

$$T = \frac{258500}{45410} = 5,6 \text{ років.}$$

Висновки до розділу. Установка гібридної сонячної електростанції для забезпечення автономного електропостачання будинку є вигідним та економічно обґрунтованим вибором. Аналіз показав, що продаж електроенергії в мережу приносить щорічний дохід у розмірі 45410 грн. Додатково, використання сонячної електростанції сприяє збільшенню енергонезалежності від центральної електричної мережі. Термін повної окупності системи складає 5,6 року.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У дипломній роботі було розглянуто основні аспекти обґрунтування системи автономного електропостачання житлового будинку з використанням альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної енергії. Аналіз існуючих технологій альтернативного енергозабезпечення дозволив виділити основні тенденції розвитку та обмеження сучасних систем, а також дати обґрунтування для вибору оптимальної конфігурації для автономного енергозабезпечення житлового будинку.

Однією з ключових частин роботи стало обґрунтування параметрів системи, зокрема визначення обсягів електроспоживання, що є основою для правильного розрахунку необхідної потужності системи. За результатами проведеного аналізу було рекомендовано використання сонячних панелей з оптимальними характеристиками, а також правильно підібраних інверторів і акумуляторних батарей для забезпечення безперебійного електроживлення в умовах змінних погодних умов. Також було виявлено необхідність застосування двонаправлених лічильників для коректного обліку спожитої та надлишкової енергії, що надходить від системи.

Загалом, робота довела доцільність використання альтернативних джерел енергії для автономного енергозабезпечення, підтвердивши ефективність сонячних електричних систем в умовах сучасних технологій та енергетичних викликів. Установка гібридної сонячної електростанції для забезпечення автономного електропостачання будинку є вигідним та економічно обґрунтованим вибором. Аналіз показав, що продаж електроенергії в мережу приносить щорічний дохід у розмірі 45410 грн. Додатково, використання сонячної електростанції сприяє збільшенню енергонезалежності від центральної електричної мережі. Термін повної окупності системи складає 5,6 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пермяков, А. Ю., Сіренко, В. Ф. Доцільність використання системи автономного електрозабезпечення з альтернативними джерелами енергії. Інноваційні технології в Індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-практичної конференції, Ч.2. (с. 116-118). 21-23 жовтня, 2024. Суми, Україна: СНАУ.
2. Пермяков, А. Ю., Сіренко, В. Ф. Переваги використання сонячної енергії для автономного електрозабезпечення споживачів. Інноваційні технології в Індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-практичної конференції, Ч.2. (с. 123-124). 21-23 жовтня, 2024. Суми, Україна: СНАУ.
3. Боголюбов, В. М., Клименко, М. О., & Мельник, Л. Г. (2012). Стратегія сталого розвитку. Херсон: Олдіплюс.
4. Кудря С. О. (2012). Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Київ: НТУУ «КПІ».
5. Прутська, О. О., & Федик, О. Ю. (2012). Сучасний стан та проблеми розвитку альтернативної енергетики в Україні. Збірник наукових праць ВНАУ (Вінницький національний аграрний університет), 1(56), 158–164.
6. Ковальов, І. О., & Ратушний, О. В. (2015). Альтернативні джерела енергії України. Суми: Вид-во СумДУ.
7. Шаповал, С. П., & Венгрин, І. І. (2014). Перспективи використання сонячної енергії на території України, 7(2), 21–24.
8. Сонячна електроенергія для початківців. Абетка понять і принципів. Електронна книжка для аматорів домашньої сонячної енергетики. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://vipmart.com.ua/ua/a486669-elektronnaya-kniga-solnechnaya.html>.
9. Alajingi, R., & Marimuthu, R. (2023). Novel classification of energy sources, with implications for carbon emissions. Energy Strategy Reviews, 49, 101146. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101146>.

10. Rybár, R., Kudelas, D., & Beer, M. (2015). Selected problems of classification of energy sources - What are renewable energy sources? *Acta Montanistica Slovaca*, 20(3), 172–180. <https://doi.org/10.3390/ams20030172>.
11. Ang, T., Salem, M., Jamil, M. K. M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabaharan, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>.
12. De Moraes Rêgo Guimarães, L. N. (2019). Energy Sources: Concepts and their Classifications. In *Encyclopedia of the UN sustainable development goals* (pp. 1–9). https://doi.org/10.1007/978-3-319-71057-0_5-1.
13. Johar, D. K., Sharma, D., & Soni, S. L. (2020). Comparative studies on micro cogeneration, micro cogeneration with thermal energy storage and micro trigeneration with thermal energy storage system using same power plant. *Energy Conversion and Management*, 220, 113082. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113082>.
14. Morey, M., Gupta, N., Garg, M. M., & Kumar, A. (2023). A comprehensive review of grid-connected solar photovoltaic system: Architecture, control, and ancillary services. *Renewable Energy Focus*, 45, 307–330. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.04.009>.
15. Zidane, T. E. K., Aziz, A. S., Zahraoui, Y., Kotb, H., AboRas, K. M., Kitmo, N., & Jember, Y. B. (2023). Grid-Connected Solar PV Power Plants Optimization: A review. *IEEE Access*, 11, 79588–79608. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3299815>.
16. Sreedevi, J., Ashwin, N., & Raju, M. N. (2016). A study on grid connected PV system. In *2016 19th National Power Systems Conference (NPSC)*. <https://doi.org/10.1109/npsc.2016.7858870>.
17. Cubukcu, M., & Gumus, H. (2020). Performance analysis of a grid-connected photovoltaic plant in eastern Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39, 100724. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100724>.

18. Sokhin, P. (2023). Study of an autonomous solar power plant for a motorhome. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, (24), 6–14. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2023.24.0.1>.
19. Chizhma, S., Molchanov, S., Zakharov, A., & Hotun, V. (2022). Analysis of the electric generation of an autonomous solar power plant in the Kaliningrad region. *AIP Conference Proceedings*, 2636, 050005. <https://doi.org/10.1063/5.0105618>.
20. Martins, G., Mendoza, O. S. H., Amjad, M., & Filho, E. P. B. (2023). Analysis of the generation potential of hybrid solar power plants. *Frontiers in Energy Research*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1017943>.
21. Koko, J., Riza, A., & Khadik, U. K. M. (2021). Design of solar power plants with hybrid systems. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 1125(1), 012074. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1125/1/012074>.
22. Hassan, Q., Algburi, S., Sameen, A. Z., Salman, H. M., & Jaszczur, M. (2023). A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications. *Results in Engineering*, 20, 101621. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101621>.
23. Nascimento, E. M., De Souza Damasceno, J., & Souza, S. K. (2019). Hybrid power plants: a case study. In *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80034>.
24. Глущенко, Г. А., Залозний, В. В., & Давиденко, А. К. (2020). Досвід практичної експлуатації сонячної електростанції в умовах Сумської області. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2, 50–61.
25. Березуцький, В. В. (2005). *Основи охорони праці*. Харків: Факт.
26. Закон України “Про охорону праці”. Зб. законодавчих документів по охороні праці, чинний від 2002 р.
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