

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ»**

Виконав: студент 6-го курсу

групи Ен-61 із спеціальності

141 „Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка”

(шифр і назва спеціальності)

_____ Туз Н. В. _____

Керівник: _____ к.т.н., доцент Коробка С. В.

Рецензент: _____

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

" ____ " _____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Тузу Назару Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії

керівник роботи: к.т.н., доцент Коробка С. В.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського національного університету природокористування №140 к-с від 28.02.2025 р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 05.12.2025 р.

3. Вихідні дані технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

4.1. Аналіз системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії

4.2. Розрахунок системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії

4.3 Розробка системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.5. Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії

Висновки і пропозиції

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії</i>	28.02.2025 – 22.09.2025	
2	<i>Розрахунок системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії</i>	23.09.2025 – 29.09.2025	
3	<i>Розробка системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії</i>	03.10.2025 – 13.10.2025	
4	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	14.10.2025 – 24.10.2025	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії</i>	27.10.2025 – 07.11.2025	
6	<i>Завершення оформлення ілюстративної частини роботи</i>	10.11.25 – 17.11.25	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	21.11.25 – 05.12.25	

Студент _____ Назар ТУЗ
 (підпис) (прізвище та ініціали)

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

УДК 631.3.45.9

Туз Н. В. «Обґрунтування системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, 2026 р. 50 с. текстової частини, 15 таблиць, 16 рисунків, 20 джерел посилання.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню роботи системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії. У роботі виконано аналіз існуючих систем енергозабезпечення приватних домогосподарств на основі відновлюваних джерел енергії та визначено їхні переваги й обмеження. Удосконалено розрахунок системи енергозабезпечення з урахуванням енергетичних потреб домогосподарства та можливостей використання відновлювальних джерел енергії. Обґрунтовано основні параметри системи енергозабезпечення та здійснено їх технічний вибір. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та впливу системи на довкілля. Проведено техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії. Системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії є сучасним рішенням, яке завдяки сонячним панелям, вітрогенераторам та гібридним установкам із системами акумулювання дозволяє зменшити витрати на традиційні енергоресурси, підвищити рівень енергетичної незалежності, забезпечити стабільне постачання електроенергії навіть у пікові години чи за відсутності сонячного випромінювання та сприяти реалізації глобальної стратегії переходу до сталої енергетики, що робить їх впровадження перспективним для покращення якості життя та збереження довкілля.

СОНЯЧНА ЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ, СИСТЕМА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, , ЛОКАЛЬНІ МЕРЕЖІ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	9
1.1 Огляд літератури гібридної енергосистеми житлового будинку з використанням технологій відновлюваної енергетики	9
1.2 Огляд системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії.....	11
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	13
2.1 Обґрунтування вибору і типу сонячної електростанції.....	13
2.2 Головні робочі складові функціональних блоків сонячної електростанції.....	14
2.3 Етапи підключення зеленого тарифу.....	18
2.4 Розрахунок потужності споживання приватного домогосподарства.....	19
2.5 Розрахунок потужності станції, та підбір елементної бази сонячної електростанції.....	21
2.6 Структурна схема системи резервного енергозабезпечення приватного домогосподарства.....	22
2.7 Функціональна схема системи енергозабезпечення приватного домогосподарства.....	23
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	26
3.1 Виробництво електроенергії PV-мікроустановкою та споживання	

	електроенергії досліджуваним об'єктом.....	26
3.2	Загальне споживання електроенергії досліджуваним будинком...	39
	РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	42
4.1	Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....	42
4.2	Протипожежна безпека і грозозахист.....	43
	РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	44
5.1	Обґрунтування економічної ефективності використання системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії	44
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	47
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ.....	48

ВСТУП

Сучасні виклики, пов'язані з енергетичною кризою, зростанням вартості традиційних енергоносіїв та негативним впливом на довкілля, обумовлюють необхідність пошуку альтернативних шляхів енергозабезпечення. Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є одним із найперспективніших напрямів розвитку енергетики, оскільки забезпечує зменшення залежності від викопного палива та сприяє підвищенню рівня енергетичної незалежності.

Приватні домогосподарства становлять значну частину загального енергоспоживання в Україні, а отже, впровадження систем автономного енергозабезпечення на основі сонячної, вітрової та інших видів відновлюваної енергії може істотно знизити навантаження на централізовані мережі. Окрім економічних переваг, такі системи сприяють зменшенню викидів парникових газів та відповідають сучасним світовим тенденціям розвитку «зеленої» енергетики.

Особливої актуальності питання використання ВДЕ набуває в умовах децентралізації та зростання попиту на енергонезалежність приватних господарств. Розробка та обґрунтування системи енергозабезпечення, що базується на відновлюваних джерелах, дозволить визначити оптимальні параметри її роботи, терміни окупності інвестицій та потенційний екологічний ефект.

Таким чином, дана робота спрямована на дослідження можливостей застосування ВДЕ для створення ефективної, надійної та екологічно безпечної системи енергозабезпечення приватного домогосподарства.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження роботи системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії.

Для досягнення цієї мети було визначено наступні завдання:

1. Здійснити аналіз систем енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії.
2. Удосконалити розрахунок системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії;
3. Обґрунтувати параметри системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії;
4. Здійснити огляд охорони праці та довкілля;
5. Здійснити техніко-економічне обґрунтування ефективності використання системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є системи енергозабезпечення приватного домогосподарства різного типу.

Предметом кваліфікаційної роботи є системи енергозабезпечення приватного домогосподарства різного типу з використанням відновлювальних джерел енергії.

.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1 Огляд літератури гібридної енергосистеми житлового будинку з використанням технологій відновлюваної енергетики

Напрямок розвитку українського енергетичного сектору визначено в енергетичній політиці (РЕР) до 2040 року. Однією з цілей РЕР є розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для зменшення викидів забруднюючих речовин та збільшення частки ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні до 23 % до 2030 року. Забезпечення енергетичних потреб України з нульовими чистими викидами потребує використання розподіленої енергетики з малими локальними генераторами. Наразі частка домогосподарств у національному енергоспоживанні не перевищує 20 %, причому близько 45 % енергії отримується від прямого спалювання викопного палива в локальних котлах.

У 2022 році частка ВДЕ у первинному енергоспоживанні становила 12,8 %, з яких найбільшу частку займала тверда біомаса (64,7 %), сонячна енергія – 6 %, а теплові насоси – 3,8 %. Основні джерела ВДЕ для домогосподарств: тверда біомаса, сонячна енергія, геотермальна енергія та енергія навколишнього середовища.

Глобальні зусилля з боротьби зі змінами клімату охоплюють будівельну галузь, яка зобов'язана застосовувати сучасні технології для зменшення екологічного впливу будівель, цифровізацію процесів та будівництво «розумних» і автономних будівель. Автономні будівлі забезпечують незалежність від зовнішніх постачальників енергії та води і часто інтегрують ВДЕ для самодостатності. Важливим аспектом є покращення теплових характеристик будівель, що знижує потребу в опаленні, та впровадження фотоелектрично-теплових (PVT) модулів для одночасного виробництва електроенергії та тепла.

Енергоефективні будівлі з ВДЕ сприяють досягненню енергетичних цілей держави та міжнародної спільноти, підвищують частку ВДЕ у балансі та дозволяють генерацію енергії на місці. Популярними рішеннями є фотоелектричні системи, вітрові турбіни та їхні гібридні комбінації з акумуляторним зберіганням енергії. Концепції включають будівлі з низьким енергоспоживанням, пасивні будинки, будівлі з майже нульовим енергоспоживанням (nZEB) та «плюс-енергетичні» будівлі (PEB).

Ця робота пропонує концепцію автономної будівлі на основі існуючого окремо розташованого будинку площею 240 м² у Львівському регіоні (Україна) на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Аерофотознімок житлового будинку (створено на основі карти, розробленої в програмному забезпеченні Design-Builder).

Модифікації включають системи електропостачання та опалення, а також систему зберігання енергії для стабільного постачання незалежно від погодних умов. Аналіз також проведено для альтернативного розташування в Львів, щоб оцінити вплив різних кліматичних умов на ефективність та інвестиційну доцільність. Використання ВДЕ забезпечує зниження викидів, економію ресурсів і зручність експлуатації, що робить їх привабливим рішенням для офгрід будівель.

1.2 Огляд системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії

Системи енергозабезпечення приватних домогосподарств на основі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) набувають широкого поширення завдяки поєднанню економічної доцільності, екологічної безпеки та високого рівня енергетичної незалежності. Основними складовими таких систем є сонячні фотоелектричні панелі, вітроустановки, теплові насоси та акумулюючі пристрої, які у комплексі забезпечують безперервне постачання електроенергії. Аналіз практичного застосування показує, що найбільш ефективними для приватних домогосподарств є гібридні системи, які поєднують різні джерела генерації з системами накопичення енергії, що дає мінімізувати залежність від погодних умов та коливань у виробітку. З економічної точки зору, використання ВДЕ сприяє зниженню витрат на оплату традиційних енергоресурсів і забезпечує швидку окупність інвестицій у довгостроковій перспективі.

Таблиця 1.1 – Структура системи енергозабезпечення приватного домогосподарства на ВДЕ

Компонент системи	Призначення	Основні характеристики / приклади
Сонячні фотоелектричні панелі	Генерація електроенергії від сонячного випромінювання	Потужність: 3–10 кВт, монокристалічні/полікристалічні
Вітроустановка	Додаткове джерело електроенергії у вітряні дні	Потужність: 1–5 кВт, горизонтальні або вертикальні турбіни
Акумулятори (батареї)	Накопичення електроенергії для використання у нічний час або при нестачі сонця	Літій-іонні або свинцево-кислотні, 10–20 кВт·год
Інвертор / контролер заряду	Перетворення постійного струму (DC) у змінний (AC) та керування зарядом батарей	Потужність відповідно до генерації, синусоїдальний вихід
Тепловий насос / електричне опалення	Забезпечення теплової енергії для опалення та гарячої води	Потужність: 5–15 кВт, повітряні або геотермальні
Система моніторингу та управління	Контроль виробітку, споживання та стану елементів системи	Інтелектуальні контролери, мобільний додаток для управління
Резервне джерело (генератор)	Забезпечення енергопостачання у разі тривалого відсутності сонця або вітру	Дизельний або газовий генератор, 3–5 кВт

З екологічної позиції, впровадження таких систем суттєво зменшує обсяги викидів парникових газів та сприяє реалізації стратегій переходу до сталої енергетики.

Таким чином, аналіз показує, що використання ВДЕ у приватних господарствах є не лише технічно й економічно доцільним, але й відповідає глобальним тенденціям розвитку енергетичного сектору.

Запропонована концепція інтеграції ВДЕ в приватне домогосподарство дозволяє досягти:

- Повної або часткової енергетичної автономії.
- Економії на традиційних енергоресурсах.
- Зниження негативного впливу на навколишнє середовище.
- Стабільного енергопостачання за рахунок накопичення електроенергії та резервних джерел.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1 Обґрунтування вибору і типу сонячної електростанції

Система резервного енергозабезпечення для приватного будинку повинна забезпечувати повну енергонезалежність, автоматичне переключення у разі аварійних ситуацій та безперервне живлення споживачів щонайменше протягом доби. Вона має працювати від мережі змінного струму з частотою 50 Гц та напругою 220 В, а також відповідати умовам продажу надлишкової електроенергії за «зеленим тарифом». Для коректного проєктування необхідно розрахувати ключові параметри: номінальну потужність системи, споживання електроенергії у світлий і темний час доби, ємність акумуляторних батарей та кількість фотогальванічних елементів.

Будівництво приватних сонячних електростанцій на основі відновлюваних джерел енергії зумовлене трьома ключовими причинами. Першою є можливість знизити витрати на електроенергію шляхом комбінованого використання живлення від центральної мережі та власної генерації сонячними панелями, тобто у форматі автономної електростанції. Другою причиною виступає отримання прибутку завдяки продажу всієї виробленої електроенергії за «зеленим тарифом», що характерно для мережевих станцій. Третьою мотивацією є застосування гібридної системи, яка дозволяє не лише забезпечувати будинок енергією за рахунок фотоелектричних перетворювачів та акумуляторних батарей, але й реалізовувати надлишки електроенергії у мережу з вигодою для власника.

Серед усіх варіантів найбільш привабливим рішенням вважаються саме гібридні сонячні електростанції. Вони забезпечують стабільне живлення навіть за несприятливих умов, наприклад, при аваріях у лінії електропередачі чи у похмурі дні, завдяки використанню акумуляторного блоку. Крім того, їхня

гнучкість і багатофункціональність досягаються завдяки гібридним інверторам, що дозволяють адаптувати роботу системи під різні сценарії. Основним недоліком такого типу станцій є висока вартість обладнання та монтажу, що збільшує строк окупності інвестицій, проте отримана надійність і енергонезалежність виправдовують ці витрати у довгостроковій перспективі.

2.2 Головні робочі складові функціональних блоків сонячної електростанції

Важливим компонентом будь-якої системи резервного енергозабезпечення є акумуляторний блок (АКБ). Саме від правильно підбраного типу та ємності батарей залежить тривалість автономної роботи системи, а також кількість допустимих циклів заряду й розряду. Через нестабільність погодних умов і конструктивні особливості сонячних систем, доцільно використовувати акумулятори, здатні витримувати як часткові, так і повні розряди, мати підвищену кількість циклів та можливість приймати заряд за вищих напруг.

Таблиця 2.1 – Порівняння характеристик AGM та GEL акумуляторів

Параметр	AGM	GEL
Ресурс за циклами	Орієнтовно до 300 циклів	Орієнтовно до 600 циклів
Чутливість до перегріву	Може пошкодити корпус і знизити надійність	Перегрів не є критичним фактором
Глибокий розряд	Допускається не більше 30% від повної ємності	Завдяки гелеподібному електроліту стійкі до повного розряду
Саморозряд	Вищий рівень, ніж у GEL	Низький рівень саморозряду
Пусковий та піковий струм	Забезпечують високий пусковий струм	Через великий внутрішній опір пусковий струм обмежений
Процес зарядки	Перевищення допустимої напруги може спричинити здуття корпусу	Також можливе здуття при надмірній напрузі
Чутливість до короткого замикання	Менш вразливі	Більш вразливі
Умови експлуатації	Можна встановлювати в будь-якому положенні, окрім перевернутого	Також можна встановлювати в будь-якому положенні, окрім перевернутого; дрібні пошкодження не призводять до витoku електроліту

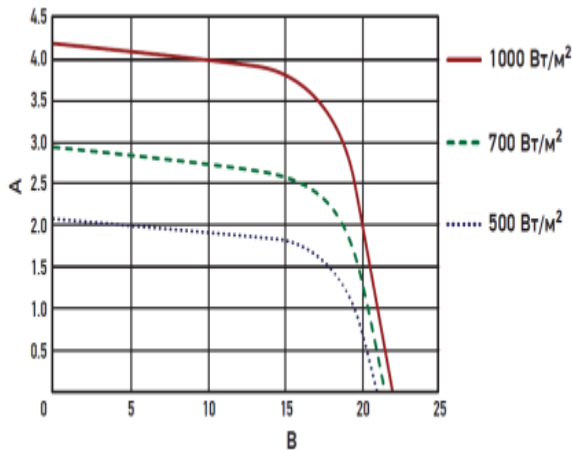
Використання АКБ із рідким електролітом у подібних системах недоцільне, оскільки вони чутливі до глибокого розряду, мають невеликий ресурс за кількістю циклів, короткий строк експлуатації та небезпечні через негерметичність конструкції. Натомість ефективнішими вважаються акумулятори, виготовлені за технологіями AGM та GEL (див. табл.. 2.1).

AGM-акумулятори належать до свинцево-кислотних, але замість рідкого електроліту в них використовується спеціальний абсорбований скловолоконний матеріал, який одночасно виконує функції резервуару електроліту та сепаратора між пластинами. Такі батареї можуть мати спіральну або плоску конфігурацію. Спіральні відзначаються більшою площею поверхні, завдяки чому здатні видавати короткочасно вищий струм і швидше заряджатися, проте поступаються за співвідношенням ємності та розмірів. Основними перевагами AGM є стійкість до вібрацій, необслуговуваність, можливість встановлення у будь-якому положенні та більша кількість циклів у порівнянні з батареями з рідким електролітом. Недоліки – значні габарити, велика вага та обмеження щодо мінімальної напруги (не нижче 1,8 В на елемент), що впливає на збереження ємності. Крім того, їхня ціна є вищою.

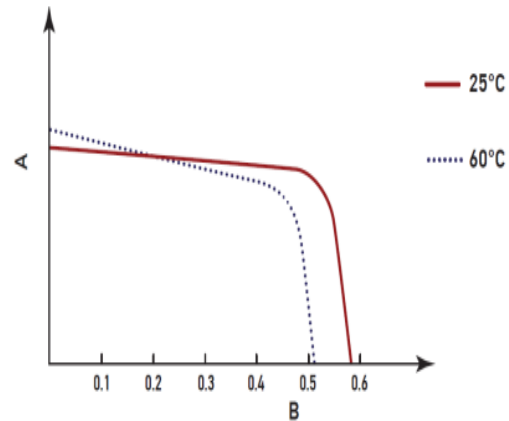
GEL-акумулятори працюють за іншим принципом: простір між пластинами заповнюється спеціальним гелем, який після застигання формує пористу структуру, утримуючи електроліт. Це забезпечує рівномірне заповнення всієї площі пластин і продовжує термін служби батареї. Вони поєднують усі переваги AGM-технології, але вирізняються більшою стійкістю до глибокого розряду й тривалішим ресурсом. Саме тому для резервного живлення доцільніше обирати GEL-АКБ. Окрім акумуляторів, ключовим елементом будь-якої сонячної електростанції є сонячні панелі. Це напівпровідникові пристрої, що перетворюють сонячне випромінювання у постійний струм завдяки р–n переходу в кремнієвій пластині. При поглинанні фотонів утворюються електронно-діркові пари, які під дією внутрішнього електричного поля розділяються: електрони переходять у n-шар, а дірки – в р-

шар. У результаті цього на контактах виникає різниця потенціалів, завдяки якій у зовнішньому колі генерується електрична напруга.

Для стабільної та ефективної роботи сонячних елементів необхідно дотримуватись низки умов. По-перше, активний шар повинен мати високий коефіцієнт поглинання, щоб уловлювати якомога більше фотонів. По-друге, утворені при освітленні електрони та дірки повинні ефективно збиратися в області р–n переходу (рис. 2.1).



а



б

Рисунок 2.1 – Зонна схема розімкнутого р–n переходу: а) стан у початковий момент освітлення; б) зміна енергетичних зон під впливом освітлення.

Важливим фактором є достатня висота потенціального бар'єру, що забезпечує якісну генерацію струму. Крім того, структура активної зони має бути максимально однорідною, щоб уникати виникнення шунтуючих опорів, які знижують робочі характеристики елемента. Невід'ємною складовою сонячної електростанції є інвертор, головне завдання якого – перетворювати постійний струм (DC) у змінний (AC). Оскільки багато сучасних приладів обладнані імпульсними блоками живлення, форма вхідної напруги для них не критична, проте обладнання з трансформаторними блоками живлення вимагає чистої синусоїдальної напруги. Саме тому більшість інверторів формують на виході синусоїду, що запобігає зниженню ефективності роботи побутових приладів.

Робота інвертора відбувається у кілька етапів. Спочатку формується постійна напруга, близька до амплітуди синусоїдальної, після чого сигнал подається на вхід мостового інвертора. Тут він перетворюється в змінну напругу завдяки широтно-імпульсній модуляції: транзистори комутуються на високій частоті відповідно до синусоїдального закону. На виході використовується фільтр нижніх частот, що згладжує сигнал та формує правильну синусоїду. Для роботи за «зеленим тарифом» та одночасного живлення від АКБ застосовують гібридний інвертор, який поєднує функції мережевого інвертора та джерела безперебійного живлення. Він здатен працювати з кількома джерелами одночасно – сонячними панелями (рис. 2.2 та табл. 2.2), акумуляторними батареями й зовнішньою мережею, що забезпечує стабільність напруги без перепадів.



Рисунок 2.2 – Структура сонячної батареї

Таблиця 2.2 – Порівняння типів фотоелектричних перетворювачів

Параметр	Монокристалічні	Полікристалічні
ККД	18–23 %	14–18 %
Освітленість	Працюють і при слабкому світлі	Менш ефективні, чутливі до температур
Термін служби	Довший	Коротший
Вартість	Висока	Нижча

Основними режимами його роботи є: денна генерація з продажем надлишків енергії, нічне живлення від АКБ чи мережі, а також живлення від панелей і батарей у разі відключення електропостачання. Щоб система працювала максимально ефективно, потрібен зворотний лічильник, який

обліковує енергію в обох напрямках, фіксуючи як споживання, так і генерацію електрики. Важливим елементом також є контролер заряду, який захищає АКБ від перезаряду та неповного заряду. Використовують два типи контролерів: PWM та MPPT. PWM-регулятори працюють за принципом зміни скважності імпульсів струму залежно від рівня заряду. MPPT-контролери діють за складнішим алгоритмом: вони автоматично регулюють тривалість та частоту імпульсів, підтримуючи оптимальний внутрішній опір і не допускаючи різкого падіння потужності сонячної батареї. Завдяки цьому енергія, що надходить від сонячних панелей, максимально ефективно перетворюється та передається на зарядний пристрій, який задає оптимальні параметри для зарядки акумуляторного блоку, забезпечуючи його довготривалу експлуатацію.

2.3 Етапи підключення зеленого тарифу

«Зелений тариф» – це спеціально встановлений державою механізм підтримки, що визначає пільгову ціну на електроенергію, вироблену з відновлюваних джерел. Зокрема, він поширюється і на енергію, яка генерується за допомогою сонячних фотоелектричних установок. В Україні цей тариф для приватних сонячних станцій діє з 1 квітня 2009 року і буде актуальним до кінця 2029 року. На сьогодні рівень тарифу зберігається на економічно вигідному рівні, що створює умови для стабільного розвитку проєктів у сфері сонячної енергетики.

Подальше зростання кількості приватних сонячних електростанцій у нашій країні пояснюється тим, що Україна пропонує одну з найвищих ставок «зеленого тарифу» серед країн Європи. Завдяки цьому інвестиції у фотоелектричні системи є привабливими: середній строк їхньої окупності складає від 5 до 8 років. При цьому прогнозований період експлуатації таких станцій сягає 20 – 25 років, що забезпечує значну економічну вигоду для власників.

Серед основних переваг «зеленого тарифу» слід виокремити кілька ключових аспектів. По-перше, власнику сонячної станції гарантовано підключення до загальної електромережі після укладання відповідної угоди. По-друге, держава забезпечує довгостроковий договір, який зобов'язує енергопостачальні компанії викуповувати надлишки виробленої електроенергії за фіксованою ставкою. Водночас розмір цього тарифу корегується у відповідності до встановлених нормативів, що створює стабільність і передбачуваність для інвесторів.

Процедура підключення до «зеленого тарифу» відбувається поетапно. Приватні домовласники можуть інстальовати фотоелектричні станції потужністю до 30 кВт та подавати заяву разом зі схемою підключення й сертифікатами до місцевої енергопостачальної компанії. Після цього встановлюється двонаправлений лічильник, що дозволяє враховувати як споживання, так і генерацію електроенергії. Завершальним етапом є укладення довгострокового договору, який підтверджує право споживача отримувати комерційний прибуток від продажу надлишків електроенергії згідно з положеннями закону України «Про електроенергетику».

2.4 Розрахунок потужності споживання приватного домогосподарства

У сонячних електростанціях найпоширенішими робочими напругами акумуляторних батарей є 12 В, 24 В та 48 В. Зі збільшенням струму підвищується необхідне поперечне січення провідників, що призводить до зростання витрат на матеріали, тому для зменшення струму доцільно підвищувати напругу системи. Для забезпечення максимальної ефективності перед монтажем необхідно точно розрахувати сумарну потужність електроспоживання будинку. Важливо враховувати, що генерація електрики сонячною станцією залежить від рівня інсоляції: при недостатньому сонячному випромінюванні вироблення струму зупиняється. Тому заздалегідь визначають основних споживачів, які будуть працювати у світлу частину доби

безпосередньо від інвертора, та тих, що живитимуться в темну пору доби від акумуляторного блоку. У таблиці 2.3 наведено основні електроспоживачі будинку, які працюють у світлу пору доби, із зазначенням їх потужності, часу роботи та сумарного енергоспоживання. Загальна добова споживана енергія для цих приладів становить 7,4 кВт·год.

Таблиця 2.3 – Електроспоживачі у світлу пору доби

Споживач	Потужність, Вт	Час роботи, год	Енергоспоживання, Вт·год
Система опалення	100	10	1000
Відеоспостереження	100	10	1000
Циркуляційний насос	60	10	600
Телевізор	80	5	400
Холодильник	300	4	1200
Ноутбук	60	7	420
Пральна машина	1000	2	2000
Сигналізація	75	10	750
Загалом	—	—	7,4 кВт·год

Згідно з таблицею 2.4, наведено основні споживачі електроенергії будинку, які працюють у темний час доби, із зазначенням їх потужності, тривалості роботи та сумарного енергоспоживання. На основі цих даних можна розрахувати необхідну ємність акумуляторного блоку (АКБ), щоб забезпечити безперебійне живлення будинку протягом ночі.

Таблиця 2.4 – Електроспоживачі у темну пору доби

Споживач	Потужність, Вт	Час роботи, год	Енергоспоживання, Вт·год
Відеоспостереження	100	14	1400
Система опалення	100	14	1400
Освітлення	190	4	760
Сигналізація	75	14	1050
Циркуляційний насос	65	14	910
Загалом	—	—	5,6 кВт·год

Для забезпечення тривалого терміну служби акумуляторного блоку його розряд не повинен перевищувати 30 % від загальної ємності, тому використання 12-вольтового акумулятора в даному випадку недоцільне через великий струм, що зношує батарею та підвищує енергетичні втрати, тож для зменшення струму рекомендується підвищити напругу блоку шляхом

послідовного з'єднання декількох акумуляторів до 24 В, при цьому його ємність розраховується за формулою, що враховує сумарне енергоспоживання, робочу напругу та допустимий рівень розряду:

$$E = \frac{Q}{V \cdot k} \quad (2.1)$$

$$E = \frac{5600}{24 \cdot 0,7} = 337 \text{ А} \cdot \text{год}$$

де E – необхідна загальна ємність батареї, Q – кількість енергії споживання, V – напруга АКБ, k – коефіцієнт використання ємності.

Для формування акумуляторного блоку використовуються чотири батареї по 100 А·год кожна, при цьому спочатку два акумулятори з'єднують послідовно в пару, ще дві батареї утворюють другу послідовну пару, після чого обидві пари підключають паралельно для отримання необхідної ємності та напруги $I_{сз} = E \cdot 10\%$. $I_{сз} = 40 \text{ А}$.

Отже:

$$P_{зр} = I_{сз} \cdot V_{АКБ} \quad (2.2)$$

$$P_{зр} = 40 \cdot 24 = 960 \text{ Вт}$$

2.5 Розрахунок потужності станції, та підбір елементної бази сонячної електростанції

Проаналізувавши енергоспоживання будинку за даними табл. 2.3 та 2.4, для сонячної системи обрано полікристалічний фотомодуль DNA Solar DNA60-5-315М потужністю 315 Вт із високим ККД 19 %, розраховано необхідну кількість панелей (6 шт.) для забезпечення безперебійного живлення у світлу пору доби з додатковими панелями для досягнення загальної потужності 3 кВт, а в якості інвертора для конфігурації резервного енергозабезпечення використано SMA Sunny Boy 3000TL із високим ККД та чистою синусоїдою вихідного сигналу, сумісною з більшістю побутових приладів:

$$N = \frac{P_{год}}{P_{пан}} \quad (2.3)$$

$$N = \frac{1800}{315} = 6$$

де N – кількість панелей, $P_{\text{год}}$ – потужність споживання за годину, $P_{\text{пан}}$ – потужність однієї панелі.

Щоб забезпечити ефективну роботу станції за умовами зеленого тарифу, було додано додаткові панелі довівши загальну потужність до 3 кВт, а для конфігурації резервного енергозабезпечення підібрано інвертор SMA Sunny Boy 3000TL, який завдяки високому ККД перетворює напругу майже без втрат і формує чисту синусоїду, сумісну з більшістю побутових приладів, з основними характеристиками, наведеними в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні робочі характеристики інвертора

Параметр	Значення
Номінальна потужність	3 кВт
Вхідна напруга (DC)	400 В
Вихідна напруга (AC)	230 В
Частота вихідного струму	50/60 Гц
Форма вихідного сигналу	Чиста синусоїда
ККД	98,2 %

З урахуванням зазначених параметрів інвертора для системи може бути використаний лічильник Itron ACE 6000.

2.6 Структурна схема системи резервного енергозабезпечення приватного домогосподарства

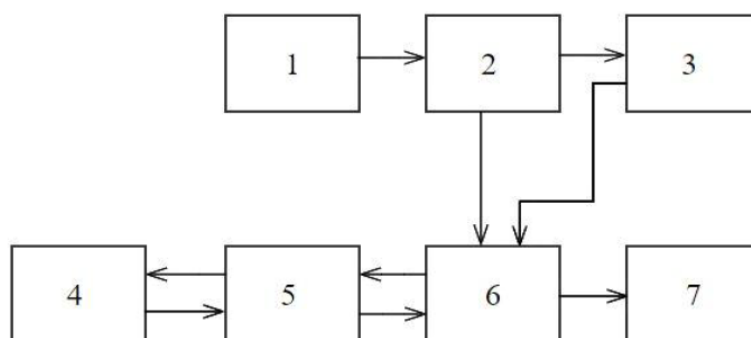


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії, а саме: 1. Фотоелектричні перетворювачі; 2. MPPT контролер заряду; 3.

Блок АКБ 4. Мережа змінного струму; 5. Зворотній лічильник; 6. Гібридний інвертор; 7. Споживач.

Принцип роботи системи можна проілюструвати на Рис. 2.3: постійний струм від фотоелектричного перетворювача надходить на вхід МРРТ-контролера, який забезпечує отримання максимально доступної потужності залежно від рівня освітленості, температури модуля та навантаження. Контролер має два виходи: один підключений до блоку АКБ для зарядки, а другий – на вхід гібридного інвертора. Поки акумуляторний блок не повністю заряджений, інвертор не отримує енергію, але після завершення зарядки МРРТ-контролер перенаправляє потік енергії від сонячних панелей на інвертор, який перетворює постійний струм у змінний і подає його на споживачів, а надлишкова електроенергія через зворотний лічильник спрямовується у зовнішню електричну мережу.

В темну пору доби або при відсутності генерації сонячних панелей система працює в іншому режимі: інвертор використовує блок АКБ як джерело живлення для споживачів. У випадках, коли пікова потужність навантаження перевищує потужність сонячних панелей, частина електроенергії береться зі зовнішньої мережі, щоб уникнути падіння напруги в домашній мережі та забезпечити стабільне електропостачання.

2.7 Функціональна схема системи енергозабезпечення приватного домогосподарства

Для побудови функціональної схеми системи необхідно розуміти принцип роботи всіх її функціональних блоків. Основним елементом є гібридний інвертор, який включає в себе сам інвертор та систему автоматичного вибору резерву (ABP). Головне завдання системи резервного енергозабезпечення полягає в автоматичному перемиканні живлення між різними лініями: у сонячних системах резервною лінією в світлу пору доби виступають сонячні панелі, а в темний час – блок акумуляторних батарей.

Сучасні інвертори вже мають вбудований блок АВР, що дозволяє зменшити загальну вартість станції та спрощує конструкцію системи.

АВР – це пристрій для автоматичного перемикавання на резервне джерело живлення при зникненні основного. Основні вимоги до його роботи включають швидкодію (0,3–0,8 секунд), надійність спрацьовування, можливість налаштування порога включення резервного електропостачання та роботу лише за наявності енергії на резервному джерелі. Контроль напруги в колі здійснюється за допомогою контактора КМ – електромагнітного пристрою з котушкою, рухомими та нерухомими контактами, який замикає або розмикає коло під дією магнітної сили. У початковому стані автомати SF1 та SF2 ввімкнені, котушка контактора живиться струмом, рухомий контакт КМ 1.1 замикається, забезпечуючи подачу живлення споживачам; при зникненні основного живлення струм через котушку припиняється, КМ 1.1 розмикається, а КМ 1.2 замикається, переводячи живлення на блок АКБ. Функціональна схема системи, що показує взаємодію всіх елементів, наведена на рис. 2.5.

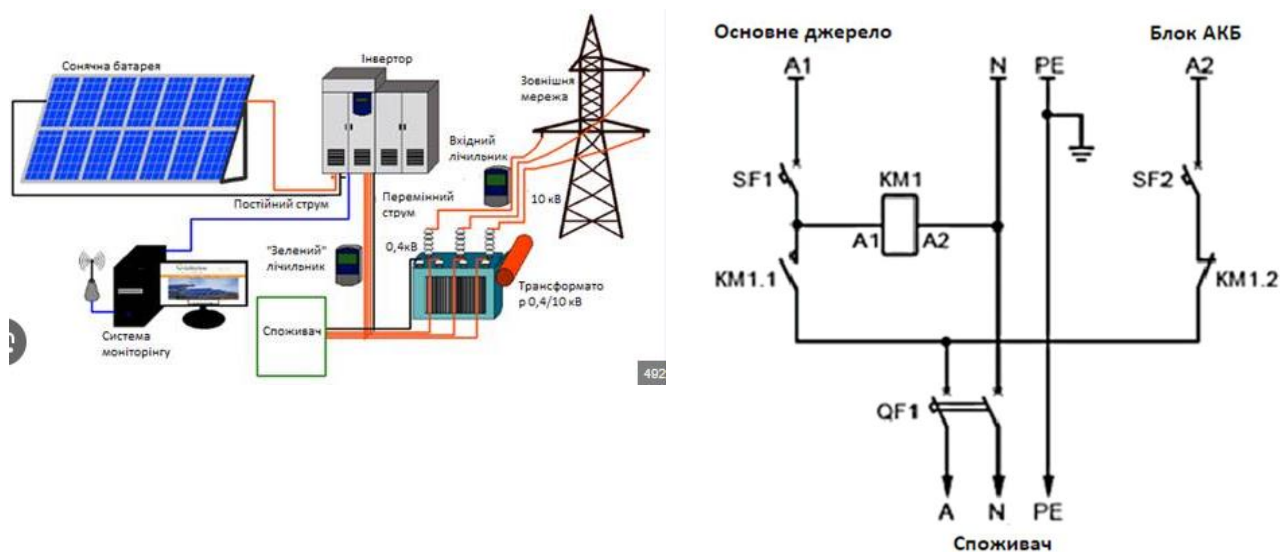


Рисунок 2.4 – Схема роботи АВР

У представленій схемі постійний струм від сонячних панелей через МРРТ-контролер подається на DC-вхід інвертора, який перетворює його в змінний струм та подає на вхід In 2, тоді як на In 1 надходить змінна напруга від мережі ЛЕП. АВР налаштований таким чином, що In 2 слугує входом

основного джерела живлення, а In 1 – резервного, при цьому надлишкова електроенергія, що виробляється сонячними панелями, передається у зовнішню мережу через двонаправлений лічильник, забезпечуючи ефективне використання виробленої енергії та безперервне живлення споживачів.

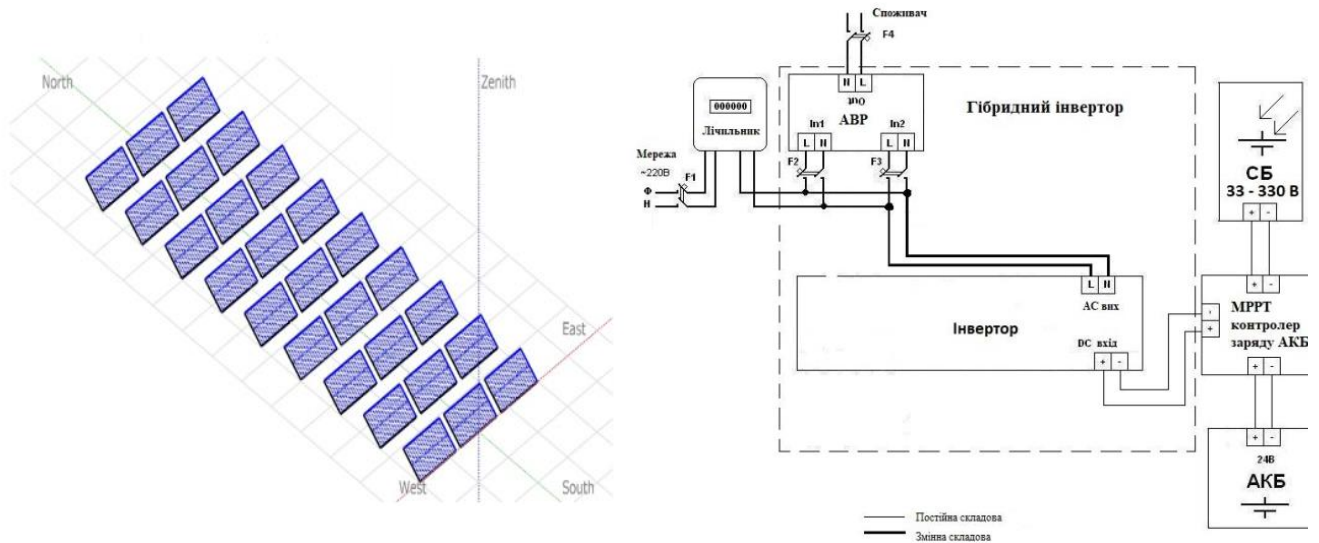


Рисунок 2.5 – Функціональна схема системи, а саме: АВР – автоматичне реле вибору; СБ – сонячна батарея; DC – постійний струм; AC – змінний струм; F1, F2, F3, F4 – автоматичний вимикач.

Отже, основні вимоги до системи та визначено ключові параметри для її ефективної роботи, наведено перелік основних споживачів енергії та розраховано їх загальну потужність, включаючи цілодобово працюючі прилади, а також розраховано необхідну ємність акумуляторного блоку та загальну потужність електростанції. Крім того, проведено порівняльний аналіз існуючих аналогів функціональних блоків і підібрано оптимальні компоненти, а також представлено структурну схему установки з описом роботи всіх основних блоків системи.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

3.1. Виробництво електроенергії PV-мікроустановкою та споживання електроенергії досліджуваним об'єктом

3.1.1. Середньомісячні показники електроенергії досліджуваним об'єктом

Усі досліджені характеристики, що стосуються виробництва електроенергії PV-мікроустановкою та її використання односімейним будинком на середньомісячній основі, відрізнялися за основним фактором ($p < 0,001$), тобто місяцем (дані не подано в таблиці через ідентичні значення p).

Середнє щомісячне (усереднене за три роки 2021–2023) виробництво електроенергії PV-мікроустановкою було найвищим у червні – 1071,6 кВт·год (група порівняння “a”) (Рис. 3.1). Друга проміжна група “ab” включала виробництво електроенергії у липні та травні, що було відповідно на 9,4% та 10,7% нижчим порівняно з показниками, досягнутими у червні.

Щодо цього показника, серпень, квітень, вересень, березень та жовтень займали нижчі позиції. Отримані значення були нижчими й коливалися у межах від 24,7% до 64,3%. Натомість виробництво електроенергії у лютому (проміжна група “fg”) було на 81% нижчим, ніж у червні.

Остання група “g” включала виробництво у листопаді, січні та грудні, при цьому значення були нижчими на 89%, 94,8% та 97,1% відповідно. Отже, слід підкреслити, що виробництво електроенергії PV-мікроустановкою суттєво відрізнялося між місяцями протягом трирічного періоду дослідження. Це ще більше підтверджується мінімальними (23,7 кВт·год) та максимальними (1125,5 кВт·год) значеннями, отриманими для всієї сукупності даних (Табл. 3.1).

Коефіцієнт варіації для цієї характеристики був високим і становив 69%. Середньомісячне виробництво електроенергії PV-мікроустановкою мало значущу позитивну кореляцію із самоспоживанням (0,94) та відпуском енергії в

мережу (1,00). Водночас воно мало значущу негативну кореляцію з енергією, отриманою з мережі ($-0,95$), та загальним енергоспоживанням ($-0,74$) (Табл. 3.1).

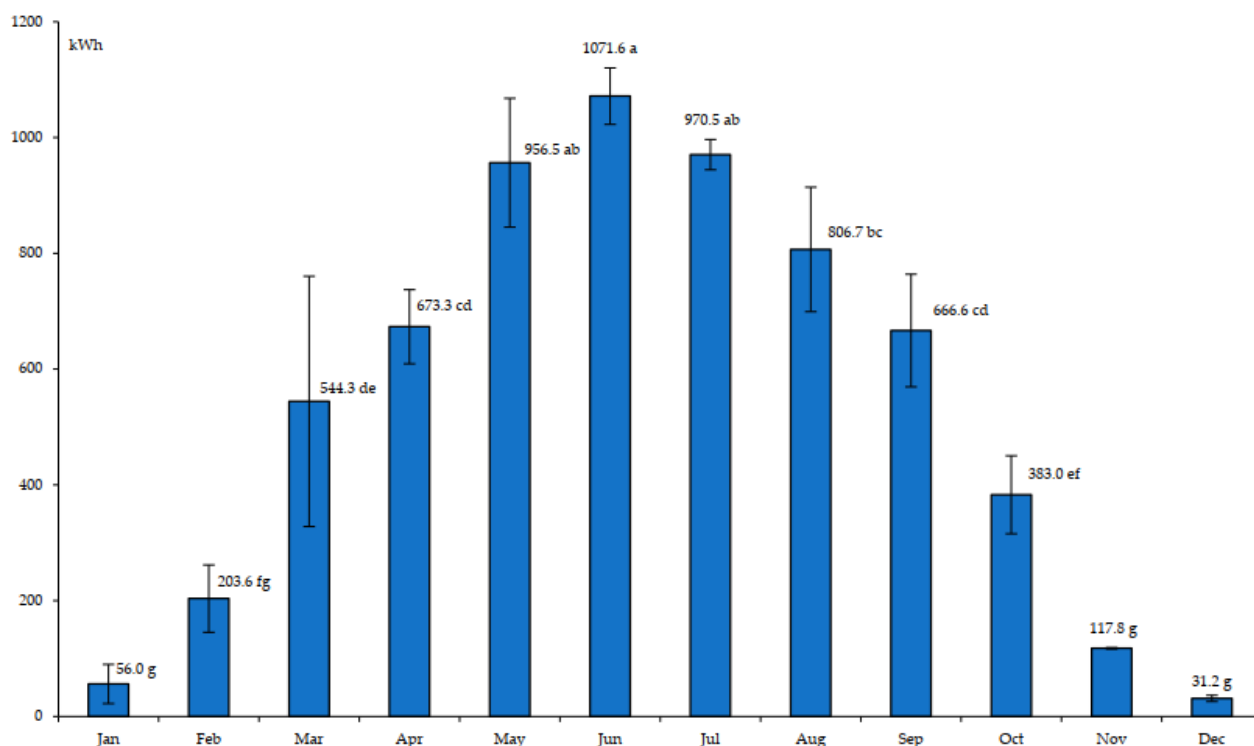


Рисунок 3.1 – Місячне виробництво електроенергії фотоелектричною мікроустановкою, усереднене за три роки; a, b, c – однорідні групи (h.g.); штрихові лінії – стандартне відхилення (SD).

Середньомісячне самоспоживання електроенергії будинком було найвищим у травні та червні – 206 – 207 кВт·год (h.g. «a») (рис. 3.2). Друга проміжна о.г. «ab» включала самоспоживання електроенергії у липні та квітні, яке було приблизно на 10,6% нижчим порівняно з максимальним значенням у травні. За цим показником березень, серпень, вересень і жовтень займали нижчі позиції, а отримані значення були на 20–41% нижчими від найбільшого самоспоживання. У решті місяців самоспоживання електроенергії було нижчим за 100 кВт·год, зокрема 89,6 кВт·год у січні (h.g. «e»), що на 56,7% менше за найбільше значення. Водночас остання h.g. «f» охоплювала самоспоживання електроенергії у листопаді, січні та грудні, де ці значення були нижчими на 76%, 81,9% та 89,2% відповідно порівняно з травнем. Подібно до виробітку

фотоелектричною установкою (коефіцієнт кореляції Пірсона був статистично значущим і становив 0,94), коливання рівня самоспоживання електроенергії будинком упродовж місяців відповідало виробництву від ФЕУ і також було дуже високим (табл. 3.2). Мінімальне значення для всього масиву даних становило 18,4 кВт·год, а максимальне – 222,7 кВт·год (табл. 3.1). Коефіцієнт варіації для цієї характеристики дорівнював 49,8%. Крім того, середньомісячне самоспоживання електроенергії, яку будинок забирав безпосередньо від фотоелектричної установки, було позитивно корельованим із енергією, переданою в мережу (0,91), та негативно корельованим із енергією, отриманою з мережі (–0,91) (табл. 3.2).

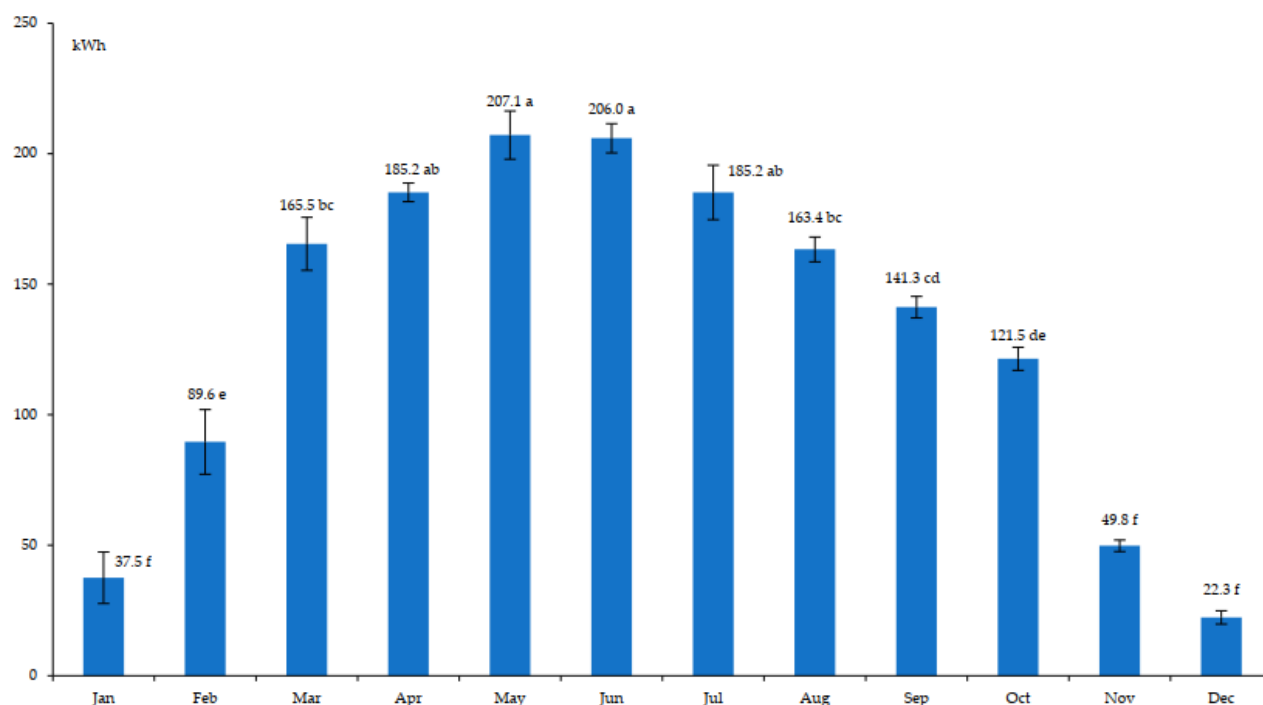


Рисунок 3.2 – Місячне самоспоживання електроенергії будинком, усереднене за три роки: a, b, c – однорідні групи (h.g.); штрихові лінії – стандартне відхилення (SD).

Середньомісячний обсяг електроенергії, переданої в мережу фотоелектричною мікроустановкою, був найбільшим у червні (865,7 кВт·год) (h.g. «a») (рис. 3.3). До цієї ж h.g. увійшло значення, отримане в липні, хоча воно було на 9,3% нижчим. Наступна проміжна h.g. («ab») включала дані за травень, де показник був на 13,4% нижчим порівняно із червнем. За цим показником серпень, вересень, квітень, березень і жовтень займали нижчі

позиції. Середньомісячні значення енергії, переданої в мережу у лютому, листопаді, січні та грудні, були віднесені до останніх h.g. «fg» та «g». У грудні середньомісячний обсяг переданої енергії був на 99% нижчим, ніж у червні. Високу мінливість цього показника за весь період дослідження також підтверджує високий коефіцієнт варіації (76%) (табл. 3.1). Для всього масиву даних за три роки середньомісячний обсяг переданої в мережу електроенергії становив 408,9 кВт·год. Водночас діапазон цього показника був дуже широким: максимальне значення сягало 910,5 кВт·год, а мінімальне – лише 4,8 кВт·год. Обсяг енергії, переданої в мережу, виявився статистично значуще позитивно корельованим із виробітком (1,00) та самоспоживанням (0,91), а також статистично значуще негативно корельованим із енергією, отриманою з мережі (–0,94) та її загальним споживанням (–0,75) (табл. 3.2).

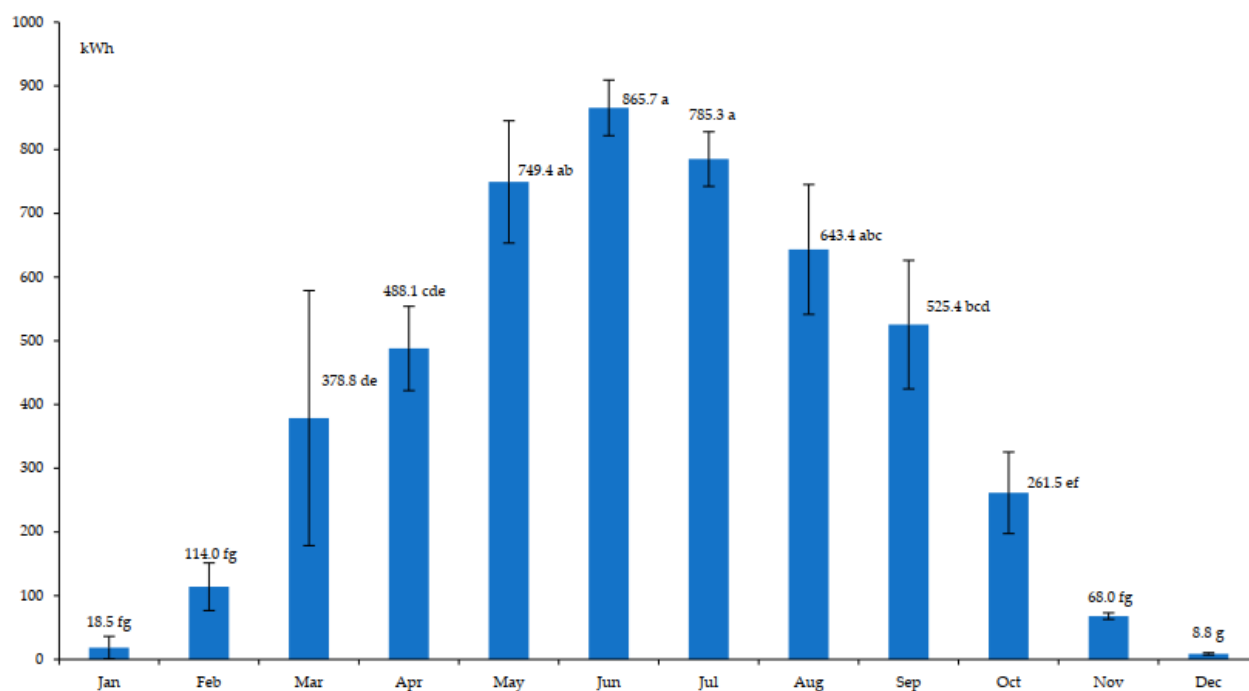


Рисунок 3.3 – Місячний обсяг електроенергії, переданої до електромережі, усереднений за три роки: a, b, c тощо – однорідні групи (h.g.); штрихові лінії – стандартне відхилення (SD).

Середньомісячний обсяг електроенергії, отриманий будинком із мережі, був найбільшим у січні – 431,9 кВт·год (h.g. «a») (рис. 3.4). До цієї ж о.г. увійшло значення за грудень, хоча воно було на 2,9% нижчим. Наступна проміжна h.g. («ab») включала споживання електроенергії з мережі у листопаді.

Середньомісячні значення, зафіксовані у лютому та жовтні, були відповідно на 30,6% і 36,9% нижчими порівняно з січнем і належали до групи «bc». Наступні h.g. – «bcd» та «de» – містили значення, отримані у березні та квітні. Далі група «ef» охоплювала вересень. Нарешті, середньомісячні значення у червні, липні, серпні та травні належали до останньої групи «f». Таким чином, у червні середньомісячний обсяг електроенергії, отриманої з мережі, був на 70% нижчим, ніж у січні. Для всього масиву даних за три роки середньомісячний обсяг споживання з мережі становив 252,6 кВт·год (табл. 3.1). Водночас діапазон цього показника був дуже широким: максимальне значення сягало 473,0 кВт·год, а мінімальне становило 118,4 кВт·год. Енергія, отримана з мережі, була статистично значуще позитивно корельованою із загальним споживанням (0,87) та статистично значуще негативно корельованою з виробітком (–0,95), самоспоживанням (–0,91) і передачею енергії в мережу (–0,94) (табл. 3.2).

Загальне середньомісячне споживання електроенергії будинком було найбільшим у січні – 469,5 кВт·год (h.g. «a») (рис. 3.5). Проміжна h.g. «ab» включала загальне споживання у грудні та березні. Наступна o.g. «abc» містила значення, отримані у листопаді та квітні. Середньомісячне споживання у жовтні, лютому та травні було відповідно на 16,1%, 17,1% та 20,7% нижчим порівняно з січнем і належало до групи «bcd». Далі o.g. «cd» включала значення за червень. Остання група «d» охоплювала липень, вересень та серпень. У серпні загальне середньомісячне споживання було на 39,1% нижчим, ніж у січні. Цей показник характеризувався найнижчим коефіцієнтом варіації (14,0%) серед усіх аналізованих індикаторів (табл. 3.1). Для всього масиву даних за три роки загальне середньомісячне споживання електроенергії становило 383,8 кВт·год. Водночас його діапазон коливався від 302,2 до 492,0 кВт·год. Загальне споживання мало позитивну кореляцію з енергією, отриманою з мережі (0,87), та негативну – насамперед із передачею енергії в мережу (–0,75) та виробітком (–0,74) (табл. 3.2).

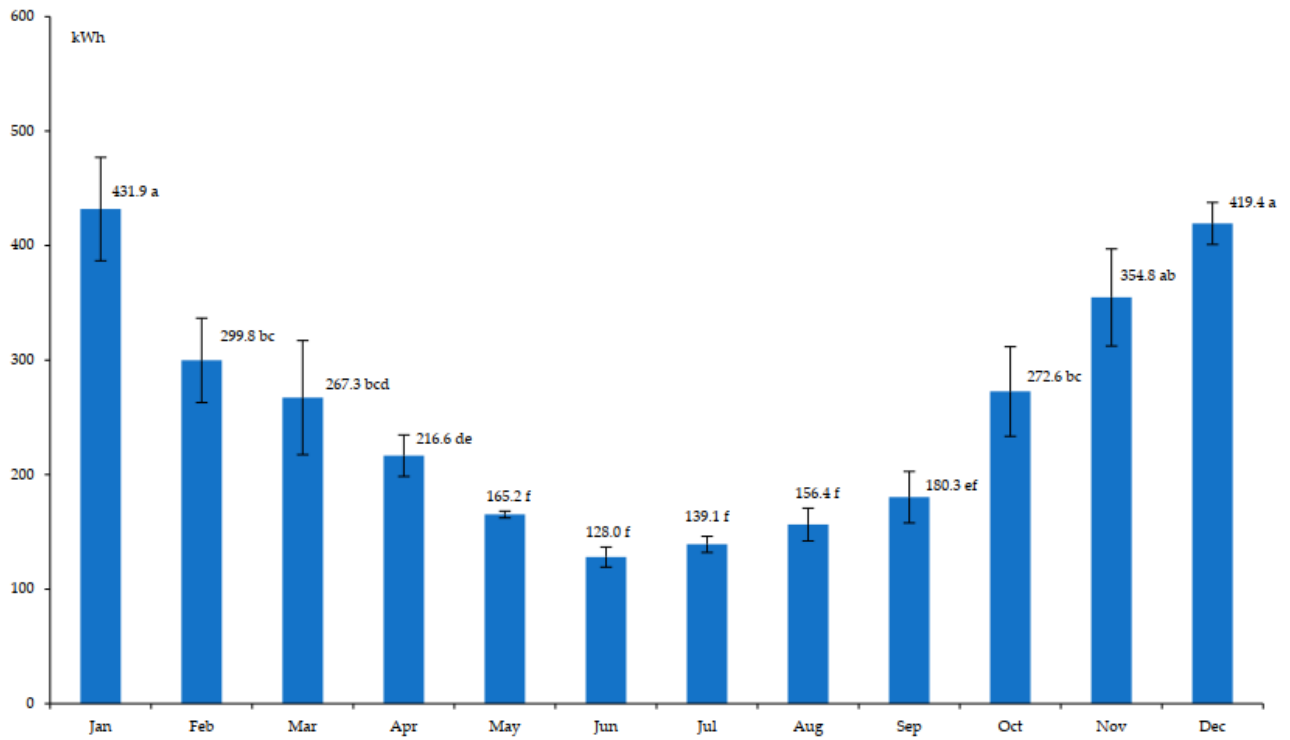


Рисунок 3.4 – Середньомісячна кількість електроенергії, спожитої будинком із електричної мережі, усереднено за три роки. а, b, c тощо – групи за гідростатичним графом (h.g.); смуги похибки – стандартне відхилення (SD).

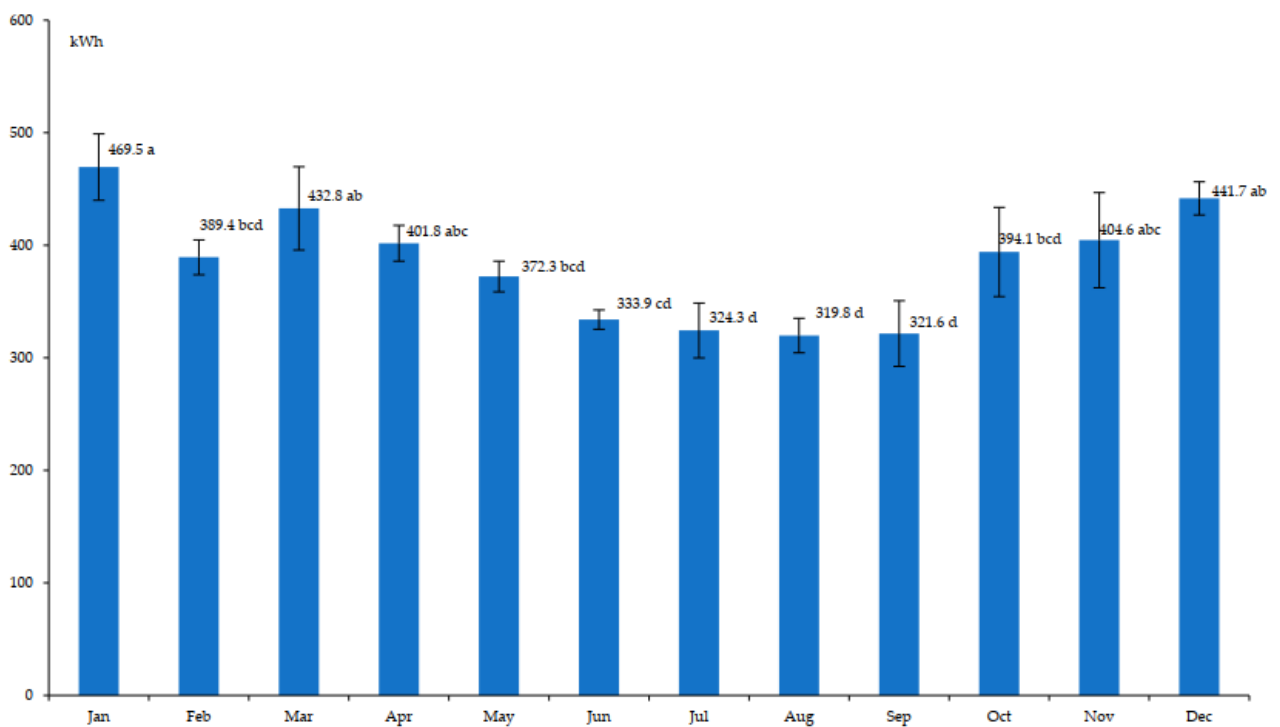


Рисунок 3.5 – Загальна місячна кількість електроенергії, спожитої будинком, усереднено за три роки. а, b, c тощо – групи за гідростатичним графом (h.g.); смуги похибки – стандартне відхилення (SD).

Найвищий середньомісячний рівень енергетичної безпеки будинку за рахунок власного споживання було зафіксовано в червні (61,7%) і віднесено до групи h.g. «а» (табл. 3.1).

Після аналізу середньодобової енергетичної безпеки через власне споживання у різні місяці було встановлено, що липень (57,0%) та травень (55,6%) віднесені до проміжної групи «ab». Наступна група «bc» включала серпень (51,1%).

Щодо цього показника, місяці квітень, вересень, березень та жовтень займали нижчі позиції, а значення показника коливалося від 46,1% до 31,0%. У інших місяцях забезпечення енергетичної безпеки через власне споживання було дуже низьким і становило менше 24%: у лютому – 23,2%; у листопаді – 12,4%; у січні – 8,2%; у грудні – лише 5,1%.

Таблиця 3.1 – Вибрані середньомісячні показники забезпечення електропостачання будинку за допомогою PV-мікроустановки, середні значення за роками та місяцями.

Місяць	Забезпечення енергопостачання через власне споживання (%)	Забезпечення енергопостачання за рахунок виробленої енергії (%)	Середня генерація енергії на 1 кВтп встановленої потужності (год)	Середнє власне споживання на 1 кВтп встановленої потужності (год)
Січ	8,2 ± 4,1 g	12,3 ± 8,1 ef	7,4 ± 4,5 f	5,0 ± 2,3 f
Лют	23,2 ± 6,3 f	52,7 ± 16,7 ef	26,9 ± 7,7 ef	11,9 ± 2,8 e
Бер	38,6 ± 6,8 de	128,9 ± 61,3 cd	72,0 ± 28,6 cd	21,9 ± 2,3 be
Кві	46,1 ± 2,6 cd	168,1 ± 22,3 cd	89,1 ± 8,5 c	24,5 ± 0,8 ab
Тра	55,6 ± 2,3 ab	256,4 ± 20,4 ab	126,5 ± 14,7 ab	27,4 ± 2,1 a
Чер	61,7 ± 2,4 a	321,1 ± 18,8 a	141,8 ± 6,4 a	27,2 ± 1,3 a
Лип	57,0 ± 1,4 ab	300,6 ± 28,3 a	128,4 ± 3,5 ab	24,5 ± 2,4 ab
Сер	51,1 ± 2,8 be	253,1 ± 39,4 ab	106,7 ± 14,2 be	21,6 ± 1,1 be
Вер	44,0 ± 1,9 cd	209,7 ± 45,2 be	88,2 ± 12,9 c	18,7 ± 0,9 cd
Жов	31,0 ± 3,3 ef	98,8 ± 25,5 d	50,7 ± 8,9 de	16,1 ± 1,0 de
Лис	12,4 ± 1,7 g	29,3 ± 3,0 ef	15,6 ± 0,2 f	6,6 ± 0,5 f
Гру	5,1 ± 1,2 g	7,1 ± 1,5 f	4,1 ± 0,7 f	3,0 ± 0,6 f

Примітка: а, b, c тощо — групи h.g. для місяців, окремо для кожної характеристики; ± SD — стандартне відхилення.

Середньомісячне забезпечення енергопостачання за рахунок виробленої енергії було найвищим у червні та липні і становило відповідно 321,1% та 300,6% (група h.g. «а») (табл. 3.1). Друга проміжна група «ab» включала забезпечення енергопостачання за рахунок виробленої енергії у травні (256,4%)

та серпні (253,1%). За цим показником вересень, квітень і березень займали нижчі позиції. Жовтень був місяцем, у якому цей показник опустився нижче 100%. Ще нижчий рівень забезпечення від виробленої енергії спостерігався у лютому, листопаді та січні. Грудень із показником 7,1% зайняв останнє місце у групі h.g. «f».

Найвища середньомісячна генерація енергії на 1 кВтп була зафіксована у червні (141,8 год) і віднесена до групи h.g. «a» (табл. 3.1). Після аналізу середньомісячної генерації енергії на 1 кВтп у різні місяці було встановлено, що липень і травень належать до проміжної групи «ab». За цим показником серпень, квітень, вересень, березень і жовтень займали нижчі позиції. Найнижча середньомісячна генерація енергії на 1 кВтп становила 4,1 год і спостерігалася у грудні (група h.g. «f»). У цю ж групу також входили значення для січня та листопада.

Середньомісячне власне споживання на 1 кВтп встановленої пікової потужності досягло найвищого значення у травні (27,4 год) та червні (27,2 год) і було віднесено до групи h.g. «a» (табл. 3.1).. Проміжна група «ab» включала липень і квітень, а наступна група «bc» — серпень і березень. У вересні значення цього показника вже було нижче 20 год (група h.g. «cd»). Найнижче середньомісячне власне споживання на 1 кВтп встановленої пікової потужності (3,0 год) спостерігалася у грудні (група h.g. «f»). У цю ж групу входили значення для січня та листопада.

Кластерний аналіз, проведений для проаналізованих показників виробництва електроенергії PV-мікроустановкою, дозволив виділити два кластери вже при пороговому значенні $1/3 D_{\max}$ (рис. 3.6 а). Енергія, забрана з мережі, та загальне споживання електроенергії демонстрували схожу варіативність і формували один кластер. Навпаки, решта десяти показників були віднесені до другого кластера.

Щодо аналізованих місяців, то при пороговому значенні $2/3 D_{\max}$ виділилися два кластери (рис. 3.6 b). Один кластер містив місяці пізньої осені та

зими (листопад, грудень, січень і лютий). Другий кластер включав решту восьми місяців (весна та літо).

При підвищенні точності аналізу виділили три кластери. Місяці пізньої осені та зими залишилися окремим кластером. Весняні та літні місяці були розділені на два додаткові кластери: березень, квітень та жовтень, тобто рання весна та осінь, утворили окремий кластер. Решта місяців (травень, червень, липень, серпень та вересень) становили третій кластер.

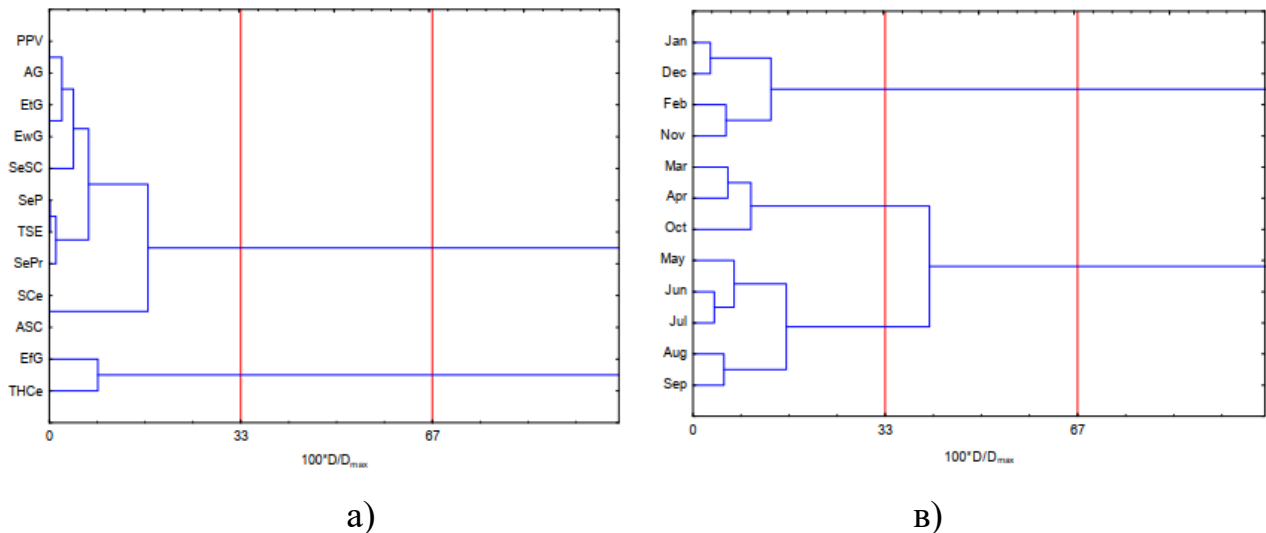


Рисунок 3.6 – Дендограма ієрархічного кластерного аналізу, що ілюструє взаємні подібності для досліджуваних показників (а) та місяців (б). Критерії Сніта ($2/3 D_{max}$ та $1/3 D_{max}$) позначені червоною вертикальною лінією.

3.1.2 Середньорічні показники електроенергії досліджуваним об'єктом

Після аналізу середньорічних показників виробництва електроенергії PV-мікроустановкою та її споживання будинком було встановлено, що найвищий рівень виробництва електроенергії від фотогальванічної мікроустановки спостерігався у 2022 році і становив 6846 кВт·год (рис. 3.7). Найвищі значення також були зафіксовані для енергії, відданої в мережу (5170 кВт·год), загального споживання електроенергії (4641 кВт·год) та власного споживання (1675 кВт·год).

У 2023 році виробництво енергії було на 4,7% нижче порівняно з 2022 роком. Аналогічно, у 2023 році енергія, віддана в мережу, загальне споживання та власне споживання були нижчими на 3,6%, 0,7% та 8,2% відповідно,

порівняно з 2022 роком. Середнє річне споживання електроенергії з мережі поза роботою PV-мікроустановки у 2023 році було на 3,4% вищим, ніж у 2022 році.

Найнижчі обрані середньорічні показники виробництва електроенергії PV-мікроустановкою та її споживання будинком спостерігалися у 2021 році, коли виробництво становило 6076 кВт·год. У 2021 році також були зафіксовані найнижчі значення для загального споживання електроенергії (4569 кВт·год), енергії, відданої в мережу (4566 кВт·год), енергії, спожитої з мережі (3059 кВт·год), та власного споживання (1510 кВт·год).

Отже, середньорічні показники за три послідовні роки були такими:

- Виробництво електроенергії PV-мікроустановкою — 6481 кВт·год;
- Енергія, віддана в мережу — 4907 кВт·год;
- Загальне споживання електроенергії — 4606 кВт·год;
- Енергія, спожита з мережі — 3031 кВт·год;
- Власне споживання — 1574 кВт·год.

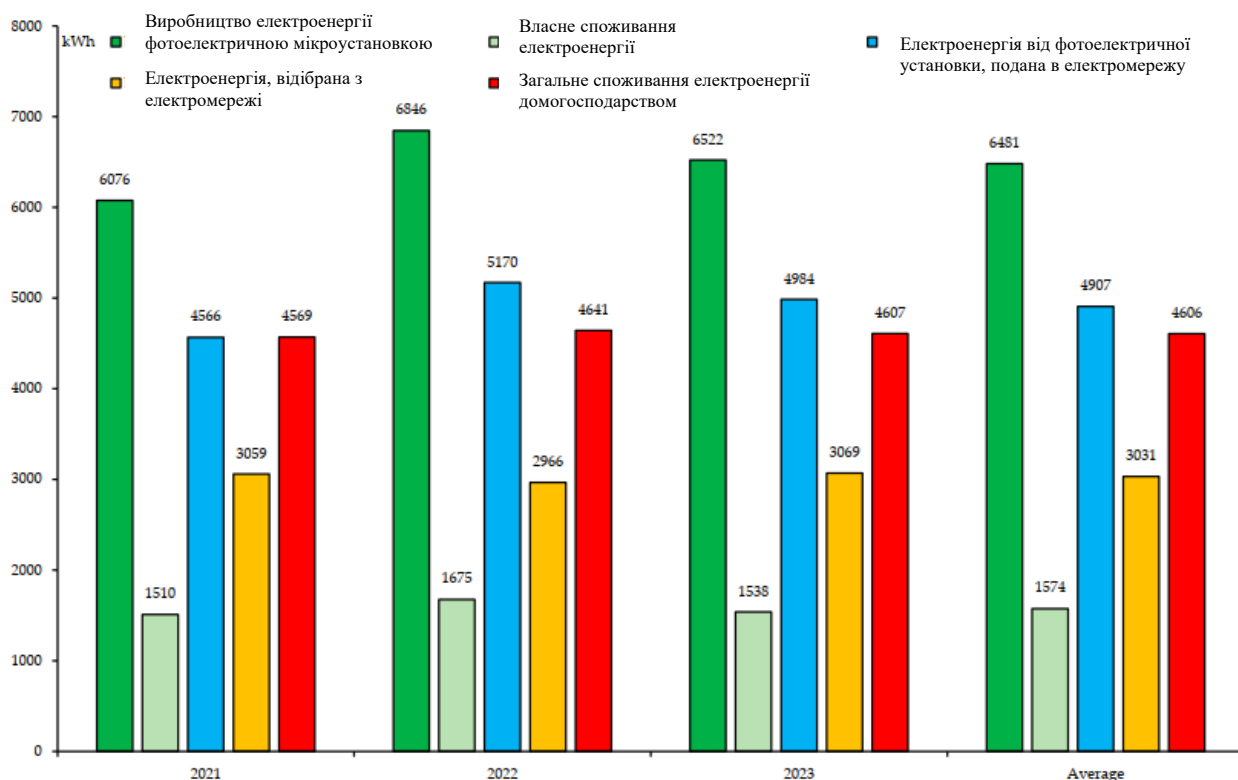


Рисунок 3.7 – Вибрані середньорічні показники виробництва електроенергії PV-мікроустановкою та її споживання будинком.

Відмінності у отриманих значеннях були відзначені під час аналізу середньорічного забезпечення електропостачання через власне споживання за три роки. Найвище значення цього показника спостерігалось у 2022 році і становило 36,1% (табл. 3.2). У 2023 році цей показник знизився до 33,4%, що свідчить про зменшення порівняно з попереднім роком. Проте у 2021 році забезпечення енергопостачання через власне споживання становило 33,0%, що було найнижчим значенням за три роки. Середнє значення цього показника за весь період дослідження становило 34,2%, що свідчить про загальну тенденцію до підтримання відносно високого рівня забезпечення енергопостачання будинку за рахунок власного споживання.

Таблиця 3.2 – Середньорічні показники забезпечення електропостачання будинку за допомогою PV-мікроустановки та мережі.

Рік	Забезпечення енергопостачання через власне споживання (%)	Забезпечення енергопостачання за рахунок виробленої енергії (%)	Середня генерація на 1 кВтп (год)	Середнє власне споживання на 1 кВтп (год)	Енергія, спожита з мережі (кВт·год)	Забезпечення енергопостачання за рахунок енергії з мережі (%)	Загальне забезпечення електропостачання (%)
2021	33,0	133,0	803,7	199,7	3652,9	80,0	113,0
2022	36,1	147,5	905,5	221,6	4136,2	89,1	125,2
2023	33,4	141,6	862,7	203,4	3987,4	86,5	119,9
Середнє	34,2	140,7	857,3	208,2	3925,5	85,2	119,4

Після аналізу середньорічного забезпечення електропостачання за рахунок енергії, виробленої PV-мікроустановкою, протягом трьох років було встановлено, що найвище значення (147,5%) було зафіксоване у 2022 році. У 2023 році цей показник становив 141,6%, тоді як у 2021 році — 133,0% (Таблиця 2). Середнє значення цього показника за три роки становило 140,7%.

Виробництво електроенергії на 1 кВтп встановленої пікової потужності за трирічний період у середньому становило 857,3 год (табл. 3.2). Найвище значення (905,5 год) спостерігалось у 2022 році; у 2023 році воно становило 862,7 год, а у 2021 році — 803,7 год.

Найвище середньорічне власне споживання електроенергії на 1 кВтп встановленої пікової потужності було зафіксоване у 2022 році і становило 221,6 год. Це було найвище значення за всі три роки дослідження. У 2023 році цей показник становив 203,4 год, тоді як у 2021 році — 199,7 год, що свідчить про зменшення порівняно з 2022 роком. Середнє значення цього показника за весь період дослідження становило 208,2 год.

Для просюмерів важливим фактором є кількість енергії, яку можна отримати з електромережі, раніше переданої до неї (як надлишкова продукція від PV). У випадку досліджуваного будинку це становило 80% від енергії, відданої в мережу. Тому найвище значення цього показника, що дорівнювало 4136,2 кВт·год, спостерігалось у 2022 році (табл. 3.2). У наступному році, 2023, було зафіксовано дещо нижче значення — 3987,4 кВт·год. У 2021 році цей показник був ще нижчим і становив 3652,9 кВт·год. Середнє значення цього показника за весь період дослідження становило 3925,5 кВт·год.

З огляду на вищезазначене, забезпечення електропостачання будинку лише за рахунок енергії, отриманої з мережі (80% енергії, відданої в мережу від PV), становило (усереднено за три роки) 85,2% і коливалось від 80 до 89% (табл. 3.2). Проте, якщо враховувати енергію, спожиту безпосередньо від PV-установки, то на річній основі загальне забезпечення електропостачання будинку становило у середньому 119,4%. Найвище значення цього показника (125,2%) спостерігалось у 2022 році, а найнижче (113,0%) — у 2021 році. Це означає, що на річній основі у всі роки дослідження об'єкт був енергонезалежним завдяки електроенергії, виробленій PV-установкою. Крім того, щороку спостерігався надлишок енергії, який, можливо, використовували інші користувачі електромережі та її оператор.

Аналіз чутливості на основі математичного моделювання дозволив побудувати статистично значущу модель у вигляді поліноміальної функції (рис. 3.8). На основі моделі було визначено, що якщо б установка була розташована на південь (азимут 180°) у досліджуваний період, максимальний середній обсяг виробництва становив би 6897 кВт·год, що на 128 кВт·год більше, ніж якщо б

вся установка була розташована у найбільш сприятливому фактичному положенні, тобто під азимутом 160° . Тоді середньорічне виробництво становило б 6768 кВт·год. У особливо сприятливих сонячних умовах обсяг виробництва був би ще вищим, що підтверджується обсягом виробництва у 2022 році, який у досліджуваному розташуванні становив 6846 кВт·год (рис. 3.8).

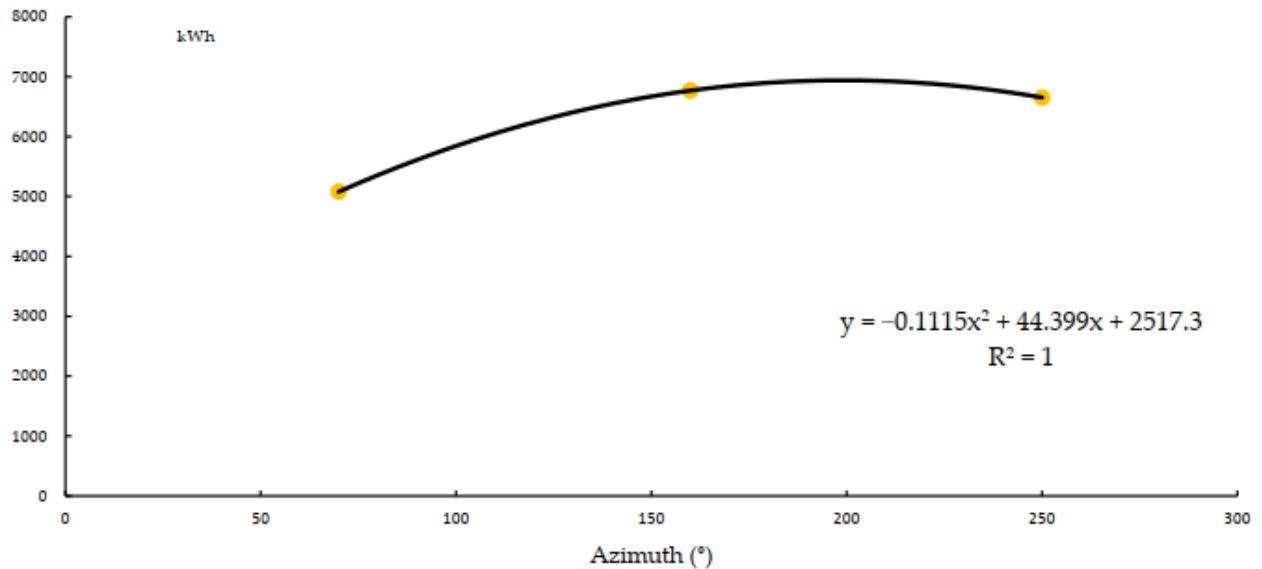


Рисунок 3.8 – Модель виробництва електроенергії (кВт·год) PV залежно від розташування панелей.

Рівень сонячної радіації в Львові становив 1116,41 кВт·год/м² у 2021 році, 1142,81 кВт·год/м² у 2022 році та 1092,22 кВт·год/м² у 2023 році. Це репрезентативні значення для Польщі, де середньорічна радіація коливалася від 950 до 1150 кВт·год/м²; варто підкреслити, що у західній частині України, де розташований Львів, середня радіація є найвищою [9].

На основі статистично значущої моделі, яка пояснювала залежність між змінними, було отримано модель лінійної регресії (рис. 3.9). Виробництво енергії зростало на 0,72 кВт·год/кВт⁻¹ на кожен 1 кВт·год/м² радіації.

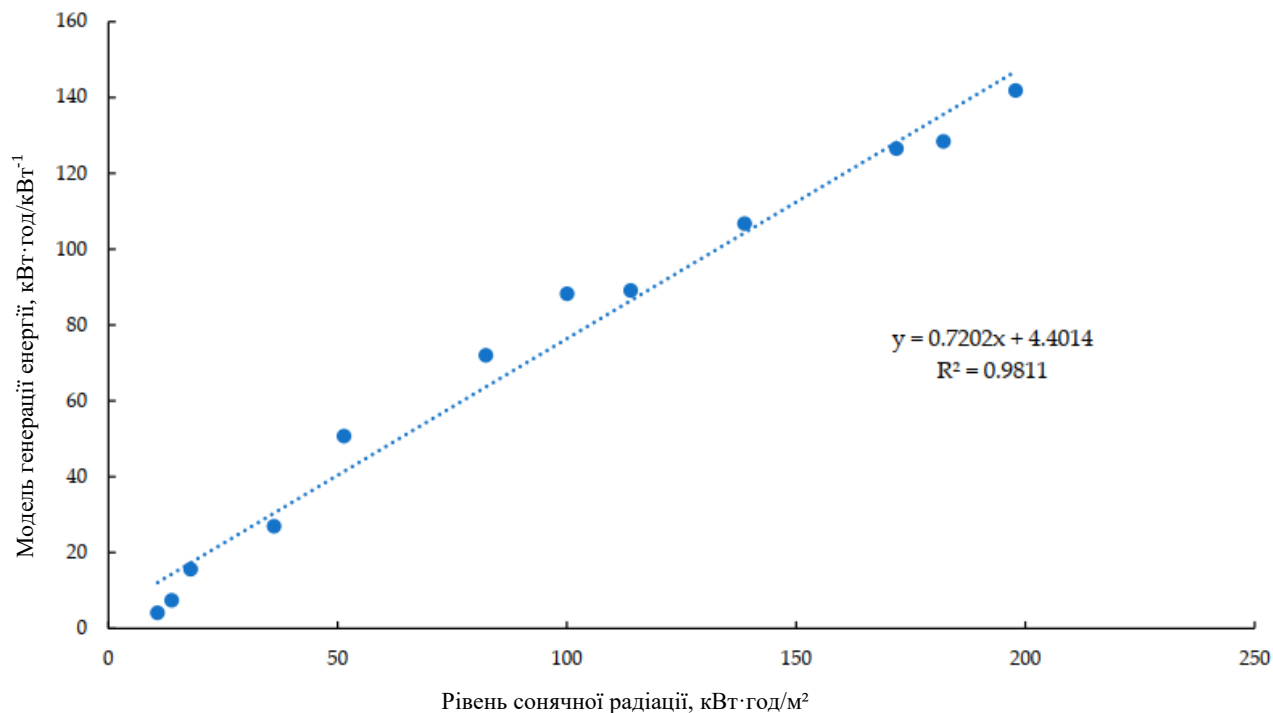


Рисунок 3.9 – Модель генерації енергії (кВт·год/кВт⁻¹) залежно від рівня сонячної радіації (кВт·год/м²).

3.2. Загальне споживання електроенергії досліджуванним будинком

Аналіз середнього загального місячного споживання енергії будинком, усереднене за три роки, показав, що найбільше споживання енергії спостерігалось у зимові місяці: у грудні (в середньому 6055 кВт·год, група “а”) та у січні (в середньому 5935 кВт·год, група “ab”) (рис. 3.10).

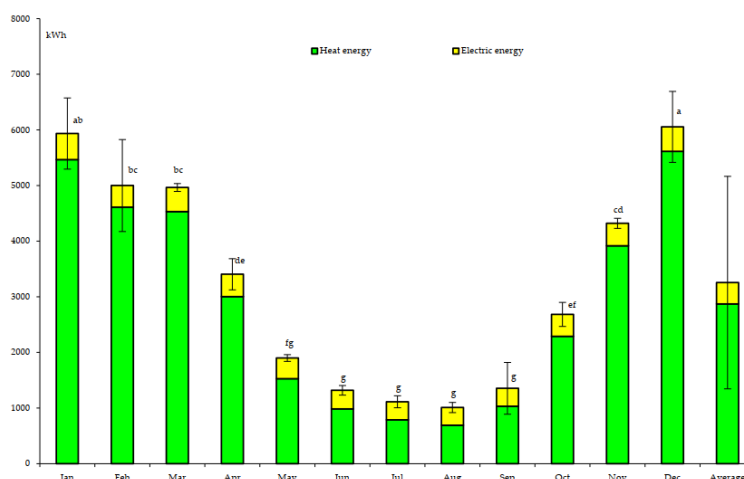


Рисунок 3.10 – Споживання електроенергії та тепла будинком у окремі місяці, усереднене за три роки: а, b, c тощо — групи (h.g.); похибки (стовпчики) — стандартне відхилення (SD).

Друга група “bc” включала споживання енергії у лютому (в середньому 5000 кВт·год) та березні (4965 кВт·год). Споживання енергії у листопаді (в середньому 4320 кВт·год) було віднесено до групи “cd”. У квітні — до групи “de”. Жовтень віднесено до групи “ef”, а травень — до групи “fg”. Місяці вересень, серпень, липень та червень віднесені до останньої групи “g”.

Слід також відзначити, що споживання теплової енергії в будинку значно перевищувало споживання електроенергії. В середньому за три роки електроенергія становила лише 11,8 % від загального споживання енергії. Однак співвідношення тепла до електрики змінювалося від місяця до місяця: у зимові місяці частка електроенергії була меншою за 10 %, а в літні місяці, особливо у серпні та липні – приблизно 30 %.

Загальне річне споживання тепла та електроенергії будинком за три роки становило в середньому 39 059 кВт·год (рис. 3.11). Найвище річне споживання (41 655 кВт·год) зафіксовано у 2021 році. У наступні роки споживання знизилося до 39 265 та 36 259 кВт·год, тобто на 5,74 % та 12,95 % відповідно.

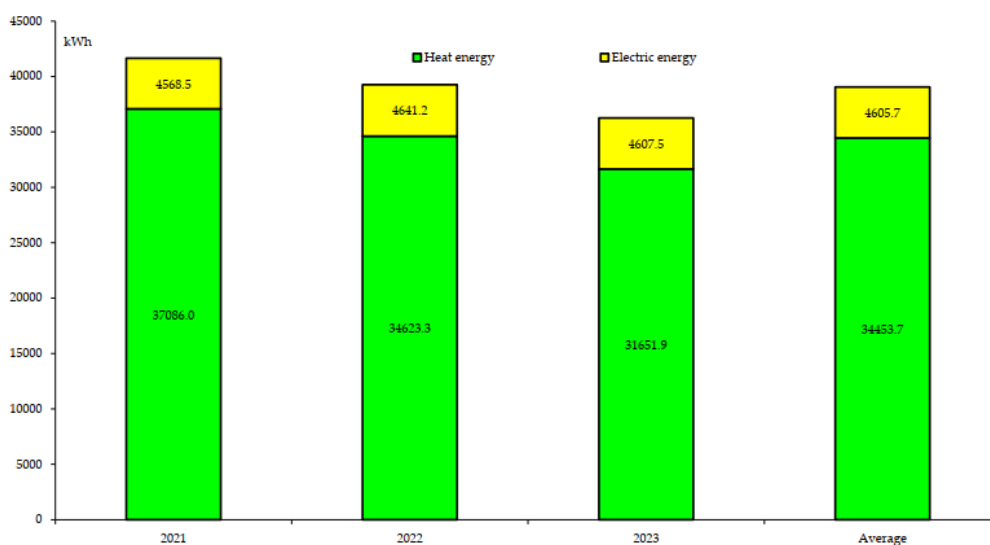


Рисунок 3.11 – Загальне споживання електроенергії та тепла будинком протягом трьох послідовних років 2021–2023.

Загальне споживання енергії на 1 м² становило в середньому 158 кВт·год/рік/м², а на одну особу – в середньому 6510 кВт·год/рік/особу (рис. 3.12).

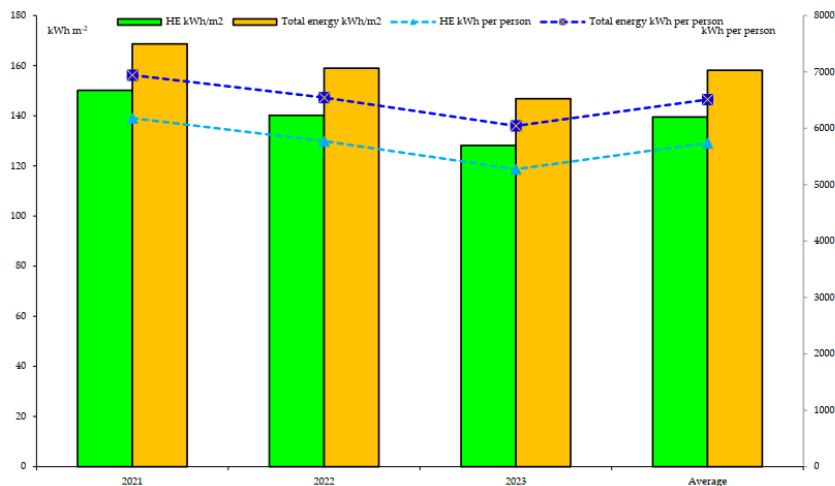


Рисунок 3.12 – Споживання електроенергії та тепла протягом трьох послідовних років 2021–2023 на 1 м² та на одну особу.

Дослідження показало, що адекватно підібрана PV-мікроустановка може забезпечити самодостатність сімейного будинку та стабільне постачання його відновлюваною енергією протягом року.

За умов Західної України, виробництво електроенергії на 1 кВт пік встановленої потужності PV-мікроустановки протягом трьох років становило в середньому 857,3 кВт·год. Середньорічне виробництво електроенергії PV-мікроустановкою становило 6481 кВт·год/рік.

Завдяки системі розрахунку “net-metering”, така кількість електроенергії достатньо забезпечувала постачання електроенергії будинку на річній основі на рівні в середньому 119,4 %.

Набагато більше енергії витрачалося на виробництво теплової енергії (для централізованого опалення та гарячої води). Середньорічне споживання пелет для виробництва тепла (6997 кг/рік) лінійно визначалося кількістю градусо-днів опалення (HDD = 3428), що відповідало середньорічному споживанню енергії 124 033 ГДж/рік (34 453,7 кВт·год/рік).

Таким чином, теплова енергія домінувала у загальному річному споживанні енергії, становлячи 88,2 %, тоді як електроенергія — лише 11,8 %.

Саме тому необхідно постійно прагнути економити всі види енергії, покращуючи енергоефективність кожної будівлі.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля

Система управління охороною праці (СУОП) – це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових безпечних і високопродуктивних умов праці. За дану частину виробництва відповідає інженер з охорони праці. Головне завдання спеціаліста – створення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці, покращення виробничого побуту, запобігання травматизму і профзахворюванням.

Для забезпечення створення СУОП щорічно розробляються та затверджуються на підприємстві положення про організацію управління охорони праці; щорічно оформляються накази про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці на дільницях, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів, що працюють під тиском, газових та кисневих балонів, пестицидів); оформляються наказ про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізацій, керівників дільниць та інших службових осіб; щорічно проводиться паспортизація умов праці, технічних засобів безпеки і технічного стану робочих місць; складаються плани роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування; організовуються заходи матеріального і морального стимулювання щодо охорони праці; проводяться розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробляються заходи щодо їх застосування;

Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих дільницях, цехах та підприємства в цілому.

4.2 Протипожежна безпека і грозозахист

Блискавко захист – це комплекс захисних захистів від блискавки, які гарантують безпеку людей, збереження людей і споруд, обладнання та матеріалів від вибухів, загоряння й руйнування. Найпростішими і надійними засобами від блискавки є створення блискавковідводів. Схема блискавкозахисту будівлі показана на рис. 4.1.

Струмопровід виконується сталюю стрічкою перерізом 25...30 мм або дротом не менше 6 мм. Заземлення виконується кутовою сталлю, трубами на відстані від установки не менше 4,5 м. Опір розтікання не повинен перевищувати 15....20 Ом.

Приймаємо початкову висоту блискавковідводу 8 метрів. Визначаємо радіус конуса, в якому ймовірність попадання 95%, через висоту конуса h за формулою (4.1):

$$R_0 = 1.5 \cdot h, \text{ м. } R_0 = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ м.}$$

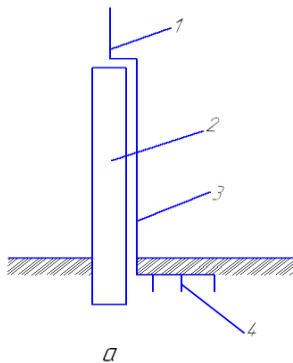


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції; 1 – блискавко приймач,

2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

Для будинку довжиною L кількість одиночних блискавковідводів визначаємо через радіус конуса R_0 в якому ймовірність попадання 95% за формулою:

$$Nb = \frac{L}{2R_0}, \text{ шт.}, \quad Nb = \frac{86}{2 \cdot 4} = 11 \text{ шт.}$$

Усі з'єднання в процесі монтажу системи блискавко захисту (Блискавко приймач – струмовідвід, струмовід – заземлювач) виконують за допомогою зварювання. Болтові з'єднання застосовують лише для тимчасових блискавко захисних пристроїв.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

5.1 Обґрунтування економічної ефективності використання системи енергозабезпечення приватного домогосподарства з використанням відновлювальних джерел енергії

У межах кваліфікаційної роботи було здійснено техніко-економічний аналіз доцільності використання сонячної електростанції для забезпечення електроенергією побутового об'єкта. Дослідження показало, що найбільш відчутна різниця між обсягом виробленої та фактично спожитої електроенергії спостерігається у літні місяці. Це пояснюється підвищеною інтенсивністю сонячного випромінювання в теплий період року, що забезпечує зростання коефіцієнта корисної дії фотоелектричних панелей і, відповідно, максимальну генерацію енергії.

Згідно з чинними нормативними положеннями, тариф на продаж електроенергії за «зеленим тарифом» для сонячних електростанцій, що були введені в експлуатацію після 1 січня 2020 року, становить 0,1 долара США за 1 кВт·год, що еквівалентно 3,78 грн. Такий розмір тарифу можна вважати економічно привабливим, оскільки він забезпечує строк окупності інвестицій у проєкт на рівні приблизно 2,2 року. Для порівняння, тариф на споживання електроенергії для індивідуальних побутових споживачів складає 2,64 грн за 1 кВт·год, що є суттєво нижчим від ставки «зеленого тарифу».

Розрахунки річного балансу показали, що середньорічне електроспоживання побутового приміщення дорівнює 1095,8 кВт·год. Водночас річна генерація сонячної енергетичної установки сягає 1619 кВт·год. Це свідчить про те, що вироблений обсяг енергії перевищує потреби споживача приблизно у 1,5 рази. У грошовому еквіваленті витрати на оплату

електроенергії, спожитої з централізованої електромережі, склали б 2892,91 грн на рік. У той же час реалізація надлишкової енергії за «зеленим тарифом» забезпечує дохід у розмірі 6163,65 грн, що підтверджує економічну доцільність використання СЕС.

Таблиця 5.1 – Вартість та кількість обладнання для СЕС

№	Найменування обладнання	Кількість	Вартість, грн
1	Акумулятори 18650 TerraE 30E, 3200 mAh	4 шт.	107
2	Корпус та елементи допоміжного керування	1 шт.	350
3	Провід монтажний UL1007 22AWG (17×0,16 мм)	1,3 м	13 грн/м ^{пог.}
4	Мікроконтролер Arduino Nano ATmega328P	1 шт.	248
5	Контролер керування зарядним пристроєм	1 шт.	237
6	Сонячна панель C&T Solar CT60275-P	1 шт.	5928
	Загальна вартість		7208

Оцінка терміну окупності інвестицій здійснюється на основі класичної методики, де розрахунок проводиться за формулою:

Термін окупності знайдемо за формулою:

$$T = \frac{B_{уст.}}{B_{зе} - B_{сп.}} = \frac{7208}{6163,65 - 2892,91} = 2,2 \text{ роки,}$$

- де $B_{уст.}$ – загальна вартість придбання та монтажу сонячної установки;
- $B_{зе}$ – вартість електроенергії, згенерованої фотоелектричною станцією протягом року;
- $B_{сп.}$ – вартість електроенергії, що споживається побутовим об'єктом.

Таблиця 5.2 – Баланс споживання та генерації електроенергії по місяцях

№	Місяць	Споживання, кВт·год	Генерація СЕС, кВт·год	Вартість спожитої ел. енергії, грн	Вартість згенерованої ел. енергії, грн	Різниця по потужності, кВт·год	Різниця по вартості, грн
1	Січень	104,9	112,2	276,94	467,96	+7,3	+191,02
2	Лютий	108,1	110,8	285,38	418,82	+2,7	+133,44
3	Березень	95,3	111,9	251,59	422,98	+16,6	+171,39
4	Квітень	90,5	130,8	238,92	494,42	+40,3	+255,50
5	Травень	88,7	140,8	234,17	532,22	+52,1	+298,05
6	Червень	80,2	170,6	211,73	644,87	+90,4	+433,14
7	Липень	80,3	178,9	211,99	676,24	+98,6	+464,25
8	Серпень	79,8	175,1	210,67	661,88	+95,3	+451,21
9	Вересень	83,5	130,2	220,44	492,16	+46,7	+271,72
10	Жовтень	87,6	125,3	231,26	473,63	+37,7	+242,37
11	Листопад	93,2	121,9	246,05	460,78	+28,7	+214,73
12	Грудень	103,7	110,5	273,77	417,69	+6,8	+143,92
	Разом за рік	1095,8	1619,0	2892,91	6163,65	+523,2	+3270,74

Таким чином, виконані розрахунки доводять, що використання сонячної електростанції є економічно ефективним рішенням, яке дозволяє не лише забезпечити енергетичні потреби об'єкта, а й отримати додатковий фінансовий прибуток завдяки продажу надлишкової енергії.

Проведені розрахунки підтверджують, що встановлення сонячної електроустановки дозволяє забезпечити побутовий об'єкт електроенергією з відновлюваних джерел, досягнувши при цьому енергетичної незалежності, а термін окупності інвестицій становить близько 2,2 року. Зі збільшенням кількості користувачів, які зможуть автономно виробляти електроенергію за допомогою таких сонячних систем, зменшуватиметься потреба в експлуатації традиційних невідновлюваних джерел енергії, таких як газ, вугілля та рідке паливо, що зазвичай застосовуються на теплових електростанціях. Це, у свою чергу, сприятиме зниженню забруднення навколишнього середовища та зменшенню негативного впливу на екосистему.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Дослідження підтвердило, що приватний будинок може значною мірою забезпечувати себе відновлюваною енергією завдяки PV-системі, вітровій турбіні та біомасному опаленню. Водночас головними проблемами залишаються велика потреба в тепловій енергії, нерівномірність виробництва та обмежені можливості накопичення енергії. Найефективнішим виявився комбінований підхід із використанням відновлюваних джерел, акумуляторів та резервного генератора. Проте для повної автономності потрібні або значні надлишки генерації, або дуже великі системи накопичення, що робить такі рішення економічно та екологічно складними. Тому, відновлювані джерела здатні повністю покривати потреби будинку, але без удосконалення технологій зберігання енергії та підвищення енергоефективності будівель досягти справжньої автономності важко.

Дане дослідження показало, що правильно підібрана фотоелектрична (PV) мікроустановка та автоматична система опалення на пелетах можуть забезпечити щорічну енергетичну самодостатність житлового будинку за рахунок відновлюваних джерел енергії. В умовах Західного регіону України виробіток електроенергії на 1 кВт встановленої потужності PV-мікроустановки за три роки становив у середньому 857,3 кВт·год. Річне виробництво електроенергії від мікроустановки в середньому дорівнювало 6481 кВт·год⁻¹. Завдяки системі розрахунків «нет-метеринг» цієї кількості вистачало, щоб забезпечити річне електропостачання будинку на рівні 119,4% у середньому.

Набагато більше енергії витрачалося на виробництво теплової енергії (центральне опалення та гаряча вода). Середнє річне споживання пелет для виробництва теплової енергії (6997 кг·рік⁻¹) лінійно залежало від кількості градусо-днів опалювального сезону (HDDs = 3428), що відповідало середньому річному споживанню енергії 124,033 ГДж·рік⁻¹ (34 453,7 кВт·год·рік⁻¹). Отже, тепла енергія домінувала у загальному річному енергоспоживанні – 88,2%, тоді як електроенергія становила лише 11,8%.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: Вид-во ЛНАУ, 2008. 135 с.
2. Гальчак В. П., Дмитрів Г. М. Розрахунок енергетичних параметрів гібридної системи теплопостачання фермерського будинку. Метод. вказівки до виконання курсового проекту. Львів, ЛДАУ, 2005. 36 с.
3. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. Львів: "Магнолія 2006", 2008. 188 с.
4. Жуковський С. С., Лабай В. Й. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд: Навч. пос. для ВЗО. Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2000. 259 с.
5. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 984 с.
6. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К.: НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
7. Малярєнко В. А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження. Підручник. 2-е видання. Х.: Видавництво САГА, 2010. 484 с.
8. Малярєнко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс. Х.: В-во САГША, 2008. 320 с.
9. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 236 с.
10. <https://uniclimate.com.ua/products/teplovi-nasosy-dlya-pryvatnogo-budynku/cooperhunter-unitherm-3-all-in-one-ch-hp12wtsirk3/>
11. <https://uniclimate.com.ua/wp-content/uploads/2023/02/instrukciya-unitherm3-aio-ua.pdf>

12. https://cooperhunteraircon.com/?gclid=Cj0KCQjw7aqkBhDPArisAKGa0oLWwriPnZqdYFkAdTEGwILGKZiUW6zYhudeqKqlb11QuAZmcjiDyL0aAqmlEALw_wcB
13. R. K. Sarojini, K. Palanisamy and E. De Tuglie, “A fuzzy logic- based emulated inertia control to a supercapacitor system to improve inertia in a low inertia grid with renewables,” *Energies*, Vol. 15, no. 4, Article ID 1333, 2022.
14. O. Abdel-Rahim and E. Abdelhameed, “Ultimate transformerless boost DC-DC converter for renewable energy applications,” *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, Vol. 2, no. 2, pp. 63–69, 2021.
15. J. B. Holm-Nielsen, and D. Almakhlles, “A hybrid PV-battery system for ON-grid and OFF-grid applications-controller in loop simulation validation,” *Energies*, Vol. 13, No. 3, P. 755, 2020.
16. V. Burlaka, S. Gulakov, S. Podnebennaya, E. Kudinova, and O. Savenko, “Bidirectional single stage isolated DC-AC converter,” in *Proceedings of the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, PP. 343–346, IEEE, Kharkiv, Ukraine, 2020, October.
17. S. Deshmukh, A. R. Thorat, and I. Korachagaon, “Modelling and analysis of PV standalone system with energy management scheme,” in *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, PP. 1–5, IEEE, Bangalore, India, 2020, July.
18. K. Amer, M. Fakher, S. Ahmad, M. Irhouma, S. Altafbao and E. Salem, “Performance of domestic solar heating system with thermal storage using phase change materials,” *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 16, no. 9, PP. 01–11, 2020.
19. E. S. Harsha, R. K. Nema, S. Nema, and R. D. Kulkarni, “Design & Simulation of high gain ratio Bidirectional converter for energy storage applications,” in *Proceedings of the 2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)*, pp. 1–6, IEEE, Keonjhar, India, 2020, July.

20. Y. Nassar, S. Alsadi, K. Amer, A. Yousef, and M. Fakher, “Numerical analysis and optimization of area contribution of the PV cells in the PV/T flat-plate solar air heating collector,” *Solar Energy Research Update*, Vol. 6, PP. 43–50, 2019.