

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

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**«ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З
ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ»**

Виконав: студент 4-го курсу

групи Ен-41 із спеціальності

141 „Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка”

(шифр і назва спеціальності)

Горечко Р. М.

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

Рецензент: _____

ДУБЛЯНИ 2025

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

" ____ " _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Горечку Роману Мирославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: "Обґрунтування параметрів гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики"

керівник роботи: к.т.н., доцент Коробка С. В.
(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького 123 к-с від 25.02.2025 р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 17.06.2025 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 гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

4.2. Розрахунок параметрів гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

4.3 Розробка гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

4.4. Охорона праці та довкілля

4.5. Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

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	Городецький І. М. к.т.н., доцент			

7. Дата видачі завдання: 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики	4.09.2024 – 22.01.2025	
2	Розрахунок параметрів гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики	23.01.2025 – 29.01.2025	
3	Розробка гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики	03.02.2025 – 13.02.2025	
4	Охорона праці та довкілля	17.02.2025 – 24.02.2025	
5	Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики	26.02.2025 – 14.03.2025	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	20.03.25 – 15.04.25	
7	Завершення роботи в цілому	01.05.25 – 30.05.25	

Студент _____ Горечко Р. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Коробка С. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Горечко Р. М. «Обґрунтування параметрів гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, 2025 р. 52 с. текстової частини, 15 таблиць, 16 рисунків, 25 джерел посилання.

***Метою** кваліфікаційної роботи є підвищення комфорту користувачів та розробка методів оптимізації параметрів гібридної системи енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання на базі відновлюваних джерел енергії.*

Для досягнення цієї мети було визначено наступні завдання: здійснити огляд гібридної системи енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання на базі відновлюваних джерел енергії; розробити оптимальну методику та системи управління для гібридної системи енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання на базі відновлюваних джерел енергії; проаналізувати техніко-економічне використання гібридної системи енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання на базі відновлюваних джерел енергії.

Дослідження спрямоване на підвищення ефективності функціонування гібридних електростанцій, які базуються на відновлюваних джерелах енергії, із використанням автономної енергетичної установки, адаптованої до умов західного регіону України. У роботі застосовувалися різні теоретичні методи наукового аналізу, зокрема аналіз, конкретизація, порівняння та узагальнення. Особлива увага приділяється обґрунтуванню доцільності впровадження гібридних електростанцій для акумулювання надлишкової електроенергії, що дозволяє ефективно згладжувати добові коливання у виробництві та споживанні енергії.

Ключові слова: житловий будинок, потреба в електроенергії, фотоелектричні панелі, гібридна енергетична система.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	8
1.1 Аналіз гібридної енергосистеми житлового будинку з використанням технологій відновлюваної енергетики.....	8
1.2 Огляд літератури гібридної енергосистеми житлового будинку з використанням технологій відновлюваної енергетики.....	9
1.3 Обґрунтування теми та мети роботи.....	10
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	11
2.1 Стабільна резервна енергосистема для житлового будинку на основі гібридного відновлюваного джерела енергії.....	11
2.2 Методологія розрахунків параметрів гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики.....	14
2.3 Моделювання розрахунку параметрів гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики в програмному середовищі Design- Builde.....	18
2.4 Проект малої сонячної електростанції на прибудинковій території.....	20
2.6 Розроблена модель у PVsyst.....	24
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	27

3.1	Базова модель гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики.....	27
3.2	Валідація моделі гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики.....	28
3.3	Сонячна енергетична установка гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики.....	30
	РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	37
4.1	Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....	37
4.2	Протипожежна безпека і грозозахист.....	38
	РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	39
5.1	Обґрунтування економічний та екологічний аналіз ефективності використання гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики.....	39
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	48
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ.....	50

ВСТУП

Основна мета цього дослідження полягає у розробці гібридної енергетичної системи, що поєднує використання вітрової та сонячної енергії для забезпечення енергетичних потреб сільського житлового будинку. Середнє щоденне споживання енергії в такому будинку варіюється від 19 до 36 кВт·год залежно від місяця. Розглянута система включає декілька підсистем: водопостачання, опалення приміщення, а також енергетичну складову, що складається з вітроенергетичної системи, системи накопичення та розподілу енергії.

Оптимальний дизайн системи було отримано шляхом аналізу переваг кожної з підсистем. Для забезпечення гарячого водопостачання використано сонячні плоскі колектори у поєднанні з вітровою установкою. Оптимальна система обігріву приміщення складається з трьох плоских колекторів, накопичувального теплообмінника з трьома змійовиками, які підключені до колекторів, системи теплої підлоги та енергопостачання від вітрової установки. Великі розміри будинку стали ключовим обмежувальним фактором при оцінці можливості використання сонячних систем для обігріву, а наявність великих вікон ускладнила та з дорожчала цей процес.

Методологія дослідження передбачає розробку імітаційної моделі функціонування енергосистеми житлового будинку, що базується на використанні вітроенергетичних установок. Модель, створена з використанням методів стохастичного моделювання, дозволяє визначити оптимальні параметри системи за критерієм мінімізації вартості.

Дослідження враховує природні та виробничі умови Самбірського району Львівської області. Для перевірки ефективності моделі проводилися комп'ютерні експерименти. Було визначено ключові функціональні показники системи, тенденції зміни вартості утилізованої енергії залежно від параметрів системи, а також обґрунтовано частку заміщення традиційних джерел енергії.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Аналіз гібридної енергосистеми житлового будинку з використанням технологій відновлюваної енергетики

Енергетичні потреби будь-якого житлового будинку можна вивчити, розглядаючи загальну потребу для гарячої води [1], опалення приміщень [2] та електроенергії для освітлення та роботи різних приладів [3, 4]. У міських будинках, як правило, для перших двох використовується природний газ, а для електромережі останній; обидва вони легко доступні.

Однак це не стосується сільської власності витрати на підключення до електромережі можуть зробити цей варіант непомірно високим, оскільки постачальник електроенергії має відповідальність за доведення послуги до межі власності, найближчої до мережі, тоді власник повинен нести витрати після цього. Таким чином, відновлювана енергія, тобто енергія, вироблена з сонця, вітру [5], біомаси [6] та/або гідро [7], може бути привабливою альтернативою для сільської власності [8]. Конструкція цієї гібридної системи залежить від оптимального використання сонячної енергії шляхом використання Ефективні панелі з конструкцією, що враховує максимально можливу енергію створені за допомогою цих панелей.

Багато дослідників працювали над розробкою багатьох методів вирощування ефективності цих панелей через процеси проектування, а також враховують використання високоякісних ККД електричних трансформаторів, щоб втрати потужності не збільшувалися [9-13]. Розвиток використання сонячної енергії також супроводжувався великим розвитком у використанні вітрових турбін і працювати над підвищенням їх ефективності до рівня, необхідного для генерації достатньо енергії. Багато дослідників і енергетичних центрів зосередили свою увагу на виборі відповідне місце науковими методами, а також оптимальна механічна конструкція вітрової турбіни і оптимальна

форма лопаті турбіни для генерації максимально можливої енергії та збільшення його ефективності і зниження втрат енергії [14-18].

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

Житлові будинки є одними з найбільших споживачів енергії в будівельному секторі. Оскільки будинки повинні функціонувати цілодобово і безперервно протягом усього року, стабільне енергопостачання є критично важливим [1, 2]. Енергозабезпечення житлових будинків має особливе значення, оскільки безпосередньо впливає на здоров'я людей, а також на проведення догляду [3]. Проте в багатьох існуючих житлових будинках питання енергетики не отримали належної уваги під час проектування [4].

Протягом останніх десятиліть житлові будинки зазвичай будувалися з акцентом на відповідність стандартам, часто нехтуючи екологічними наслідками їхніх енергосистем. Це було зумовлено низькою вартістю енергії, а також ігноруванням принципів економічної та екологічної стійкості людської діяльності [5].

Оскільки споживання електроенергії в житлових будинках значно вище, ніж у більшості інших будівель, використання відновлюваних джерел енергії є ефективним рішенням для задоволення їхніх енергетичних потреб [6]. Крім того, інтеграція таких ресурсів у енергетичну систему сектору охорони здоров'я сприяє сталому розвитку енергетики [7].

Зважаючи на високий потенціал сонячної енергії в багатьох регіонах України та стимули, які пропонує міністерство енергетики для використання сонячних установок у житлових будинках, впровадження сонячних енергетичних систем є доцільним рішенням для модернізації енергопостачання. До того ж, надлишкову сонячну енергію можна реалізовувати через продаж до центральної мережі. Правильний вибір розмірів системи та якісного

обладнання відповідно до кліматичних умов регіону має вирішальне значення для зниження ризику відмови системи [8].

1.3 Обґрунтування теми та мети роботи

Метою цього дослідження є підвищення комфорту користувачів та розробка методів оптимізації параметрів гібридної системи енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання на базі відновлюваних джерел енергії.

Відповідно до цієї мети було визначено наступні завдання:

- Здійснити огляд гібридної системи енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання на базі відновлюваних джерел енергії.
- Розробити оптимальну методику та системи управління для гібридної системи енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання на базі відновлюваних джерел енергії.
- Здійснити експериментальне дослідження ефективності роботи гібридної системи енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання на базі відновлюваних джерел енергії.
- Проаналізувати техніко-економічне використання гібридної системи енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання на базі відновлюваних джерел енергії.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

2.1 Стабільна резервна енергосистема для житлового будинку на основі гібридного відновлюваного джерела енергії

На сьогодні проведено чимало досліджень, які розглядають різні аспекти електропостачання житлових будинків. У роботі [5] вивчали можливість впровадження комбінованої системи виробництва тепла та електроенергії для житлових будинків. Запропонована система когенерації включала підключені до мережі фотоелектричні панелі, паливні елементи та акумулятори. Результати моделювання показали, що ця система забезпечує найнижчу сукупну чисту поточну вартість, оптимальну вартість енергії та мінімальні експлуатаційні витрати.

У роботі [6] провели техніко-економічний аналіз доцільності використання когенераційної системи в великій будинків, застосовуючи метод Energy Hub. Вони досліджували інтеграцію когенераційної системи на базі двигуна внутрішнього згоряння в багатофункціональну енергосистему будинку. Когенерація була визнана одним із найефективніших методів перетворення енергії, а розроблена модель виявилася корисним інструментом для оцінки потенційних енергетичних і економічних переваг, а також для проектування й оптимізації багатофункціональних енергетичних систем у будівлях.

У роботі [7] аналізували сценарії, що передбачають використання відновлюваних джерел енергії замість дизель-генераторів, а також систем зберігання енергії для підвищення стійкості мікромережі, яка забезпечує енергопостачання критичних приміщень лікарні. Їхня робота була спрямована на кількісну оцінку переваг підвищення енергетичної стійкості завдяки встановленню мікромереж, що працюють на основі відновлюваних джерел енергії [8].

Дослідження роботи [9] обговорюють можливість впровадження гібридних енергосистем на основі відновлюваних джерел для забезпечення енергетичних потреб житлових будинків, порівнюючи техніко-економічні й екологічні показники [1, 12].

У роботі [13] досліджували модель PV/WT/Grid для житлових будинків в Україні. Результати показали, що впровадження такої системи дозволило скоротити витрати на 2,7% та зменшити навантаження будинку в години пік. Запропонована модель демонструє компроміс між економічною ефективністю та задоволенням потреб мешканців.

У іншому дослідженні, проведеному [14] у Швейцарії, було встановлено, що оптимальним рішенням для середніх і великих житлових будинків, особливо в умовах поза мережею, є гібридна конфігурація з відновлюваними джерелами енергії, акумуляторами та дизельними генераторами.

Таблиця 2.1 містить підсумок ключових досліджень із зазначенням основної тематики та результатів. Основна відмінність між попередніми дослідженнями та поточним полягає в акценті на точне моделювання енергетичної системи житлового будинку, як складної та масштабної структури. Це включає аналіз усіх аспектів будівлі, таких як планування, функціональний розподіл і специфікації енергосистеми. Наразі обмежена кількість досліджень присвячена моделюванню складних енергетичних систем будівлі, а також екологічним перевагам їх інтеграції з відновлюваними джерелами енергії.

Україна, як країна з численними приватними житловими будинками, здебільшого залежить від викопного палива для задоволення енергетичних потреб, що призводить до значного екологічного навантаження. Енергопостачання житлових будинків зазвичай здійснюється через основну мережу, а дизельні генератори використовуються, як резервні джерела енергії. Використання відновлюваних джерел енергії у системах електропостачання є доцільним вибором, який сприяє підвищенню якості енергосистеми та зменшенню рівня забруднення у будівлях.

Таблиця 2.1. Короткий аналіз літературних джерел

Літературне джерело	Тема	Аналіз результату	Різниця з поточним дослідженням
[9]	Можливість розробки системи комбінованого виробництва тепла та електроенергії для житлового будинку Швеції.	Запропонована система когенерації має найнижчу загальну чисту поточну вартість, вирівняну вартість енергії та експлуатаційні витрати.	Тип гібридної системи, запропонованої для житлового будинку, відрізняється від тієї, яка представлена в поточному дослідженні.
[10]	Техніко-економічне обґрунтування систем ТЕЦ у великих житлових будинках.	Запропонована модель була корисним інструментом для вивчення потенціалу енергозбереження та економії, проектування та оптимізації кожної мультиенергетичної системи.	Відновлювані джерела енергії для електропостачання будинку не розглядалися в цьому дослідженні.
[11]	Використання відновлюваних джерел енергії на додаток до дизель-генераторів і систем накопичення енергії разом із підвищенням стійкості мікромережі, що живить критичні об'єкти житлових будинків	З огляду на високі сонячні ресурси та вивчений тариф на електроенергію, додавання сонячної фотоелектричної енергії дає змогу підвищити стійкість мікромережі у разі відключення електроенергії.	Це дослідження було зосереджено на стійкості мікромереж. в даній статті розглядається техніко-економічна та екологічна оцінка гібридної системи.
[12-15]	Можливість впровадження гібридних систем відновлюваної енергії для забезпечення потреб у електроенергії для житлових будинків	З огляду на високі сонячні ресурси та вивчений тариф на електроенергію, додавання сонячної фотоелектричної енергії дає змогу підвищити стійкість мікромережі у разі відключення електроенергії.	Екологічне оцінювання та аналіз чутливості в цих дослідженнях не розглядалися.

Гібридизація системи з додаванням сонячних панелей та акумуляторів підвищує енергетичну безпеку. Для цього було запропоновано стратегію інтеграції сонячних електростанцій із підтримкою слабкої мережі. Енергетичну

систему житлових будинків спочатку змодельовали у програмному забезпеченні DesignBuilder (версія 6.1.0.006), що дозволило врахувати різні аспекти, такі як фізика будівлі (матеріали), архітектура, системи опалення, охолодження та освітлення [18].

Далі за допомогою програмного забезпечення PVsyst (версія 6.8.1) було змодельовано гібридну енергетичну систему, що складалася з фотоелектричних модулів та акумуляторів, які доповнили дизельний генератор, як резервне джерело енергії. Завершальним етапом стала техніко-економічна та екологічна оцінка запропонованої системи для підтвердження її доцільності. Для цього використовувалося програмне забезпечення HOMER Pro, а також виконано аналіз чутливості для оцінки впливу фінансових факторів на зміну вартості системи.

2.2 Методологія розрахунків параметрів гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

Загальний підхід. У цьому дослідженні енергетичну систему житлового будинку було змодельовано за допомогою програмного забезпечення DesignBuilder (версія 6.1.0.006), яке є ефективним інструментом для моделювання різних аспектів будівлі. Це програмне забезпечення дозволяє використовувати кліматичні дані різних міст для розрахунку енергоспоживання, витрат і втрат енергії у певному регіоні. Розрахунки виконуються на основі механізму моделювання EnergyPlus, розробленого Міністерством енергетики США, що вважається одним із найточніших і найнадійніших програмних продуктів для таких задач.

Системне моделювання в EnergyPlus базується на виконанні ряду математичних обчислень, деталі яких наведені в наступних розділах.

Інтеграція зони та повітряної системи. Інтеграція зони та повітряної системи ґрунтується на розрахунку енергетичного та вологісного балансу

повітря у зоні, який розв'язується за допомогою предикторно-коректорного підходу. Основні принципи цієї схеми наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Тепловий баланс у рівнянні повітряної зони для житлового будинку

Співвідношення теплового балансу повітряної зони житлового будинку	Номер рівняння №
$C_z \frac{dT_z}{dT} = \sum_{i=1}^{N_{s1}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zone}} m C_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + Q_{sys}$	(2.1)
$Q_{sys} = m_{sys} C_p (T_{sys} - T_z)$	(2.2)
$C_z \frac{dT_z}{dT}$ = енергія, накопичена в зоні ($C_z = \rho_{air} C_p CT$: ρ_{air} = зонна густини повітря: C_p = питома теплоємність повітряної зони: CT = коефіцієнт теплоємності)	
$\sum_{i=1}^{N_{s1}} Q_i$ = сума внутрішніх конвективних навантажень $\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ = конвективний теплообмін від поверхонь зони $\sum_{i=1}^{N_{zone}} m C_p (T_{zi} - T_z)$ = теплообмін за рахунок ітерзонного змішування $m_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ = передача тепла за рахунок інфільтрації ззовні Q_{sys} = вихід повітряних систем T_{sup} = температура	

Системи кондиціонування та вентиляції подають гаряче або холодне повітря до зон для задоволення потреб у нагріванні чи охолодженні. Енергія, яка надходить до зони, Q_{sys} , розраховується як різниця між ентальпією припливного та вихідного повітря, що описано у рівнянні (2.2). У цьому рівнянні передбачається, що масова витрата припливного повітря дорівнює сумі масових витрат повітря, яке виходить із зони через систему вентиляції, повертається у повітряні канали чи безпосередньо відводиться із зони.

Температура вихідного повітря розглядається, як середня зональна температура. Сумарне теплове навантаження зони та потужність повітряної системи відповідають зміні накопиченої енергії в зоні. Як правило, ємність C_z враховує тільки теплоємність повітря у зоні. Проте, якщо в зоні є матеріали з високою теплоємністю, вони також можуть бути включені до цього терміна. EnergyPlus надає три різні алгоритми для розв'язання рівнянь енергетичного та вологісного балансу зони повітря, що забезпечує гнучкість і точність у моделюванні.

Модуль передачі теплової провідності

Найпростішим підходом до вирішення задач часового ряду є використання коефіцієнтів відгуку, що описують зв'язок між тепловим потоком через одну поверхню конструктивного елемента. Детальний опис цього методу наведено в таблиці 2.3.

Коефіцієнти в рядах, які використовуються для розрахунків, часто сходяться занадто повільно, що робить метод мало практичним через велику кількість термінів, необхідних для точного обчислення коефіцієнта відгуку. Однак подібність членів вищого порядку дозволяє спрощувати вирази, замінюючи їх термінами, пов'язаними з історією потоків. Це призводить до нового підходу, який використовує функції передачі провідності (СТФ).

Основна форма розв'язку, побудованого на функціях передачі провідності, представлена рівняннями 2.4 і 2.5 у таблиці 2.3. Індекс після коми вказує змінну через часовий крок δ . Для спрощення обчислень перший член ряду (з індексом 0) виділяється окремо, що дозволяє враховувати поточну температуру в системі. Ці рівняння показують, що тепловий потік через будь-яку сторону поверхні конструктивного елемента лінійно залежить від поточних і попередніх температур на внутрішній та зовнішній поверхнях, а також від попередніх значень потоку на внутрішній поверхні.

Остаточна форма розв'язку СТФ демонструє його елегантність і ефективність. Теплопровідність через елемент можна обчислити за допомогою одного простого лінійного рівняння зі сталими коефіцієнтами. Ці коефіцієнти

визначаються лише один раз для кожного типу конструкції. Єдині дані, які необхідно зберігати, включають самі коефіцієнти СТФ, а також обмежену кількість температур і потоків. Ця формула підходить для будь-якого типу поверхні.

Таблиця 2.3 – Рівняння зміни та швидкості для анода та катода житловому будинку

Співвідношення теплового балансу повітряної зони житлового будинку	Номер рівняння №
$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{o,t-j\delta}$	(2.3)
$q''_{ki}(t) = -Z_0 T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + Y_j T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nz} \phi_j q''_{ki,t-j\delta}$	(2.4)
$q''_{ko}(t) = -Y_0 T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nz} \phi_j q''_{ko,t-j\delta}$	(2.5)
У рівнянні 2.3, «q» тепловий потік, Т температура, і всередині елемента будівлі, о зовні елемента будівлі, t поточний час крок, а Х і Y – коефіцієнти відгуку.	
У рівняннях 2.4 і 2.5 зовнішній тепловий потік: q''=q/A	
X _j = Зовнішній коефіцієнт СТФ, j= 0, 1, nz.	
Y _j = перехресний коефіцієнт СТФ, j= 0, 1, nz.	
Z _j = Внутрішній коефіцієнт СТФ, j= 0, 1, nz.	
Φ _j = Коефіцієнт СТФ потоку, j = 0, 1, nz.	
T _i = температура внутрішньої поверхні	
T _o = зовнішня температура	
q'' _{ko} = Тепловий потік провідності на зовнішній поверхні	
q'' _{ki} = Тепловий потік провідності на внутрішній поверхні	

Формула не вимагає обчислення чи збереження даних про внутрішні температури елемента. Додаткову інформацію про моделювання різних частин системи та використані формули можна знайти в джерелі [16].

2.3 Моделювання розрахунку параметрів гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики в програмному середовищі Design-Builder

Під час моделювання була створена тривимірна (3D) модель будівлі в програмному забезпеченні Design-Builder. 3D-модель була побудована на основі планів AutoCAD, які містять інформацію про будівлю, її орієнтацію, розташування дверей і вікон, а також поділ на різні зони поверхів. На рисунку 2.1 представлено план будівлі в Design-Builder.

Для дослідження було обрано житловий будинок, розташований в м. Хирів, Самбірського району Львівської області. Загальна площа лікарні становить 170 квадратних метрів.

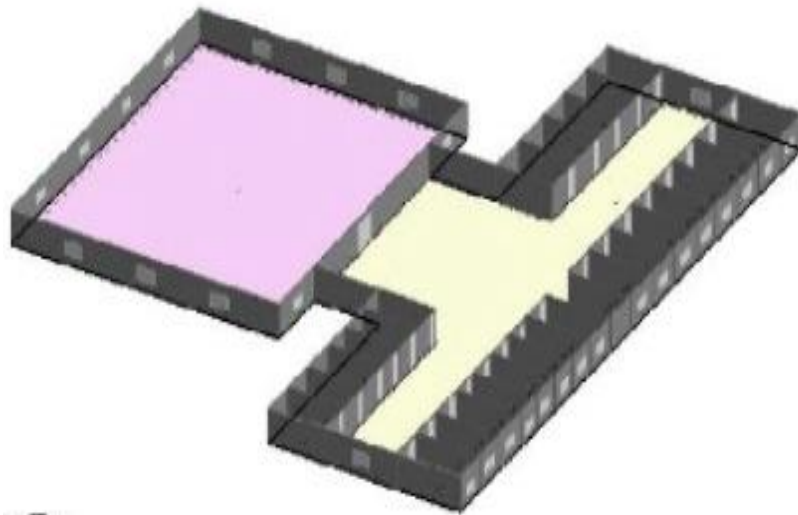


Рисунок 2.1 – План поверхні житлового будинку

На рисунку 2.2 зображено аерофотознімок житлового будинку. З огляду на потенціал використання сонячної енергії в місті Хирів, Самбірського району Львівської області, дах госпіталю площею приблизно 90 квадратних метрів є придатним місцем для встановлення сонячних батарей. Після створення плану будівлі дані енергетичної системи та інформація про встановлення були введені в програмне забезпечення. Деякі з цих даних наведено в таблиці 2.4.



Рисунок 2.2 – Аерофотознімок житлового будинку (створено на основі карти, розробленої в програмному забезпеченні Design-Builder).

Таблиця 2.4 – Вхідні дані в Design-Builder

Вхідні дані	Дані введення в Design-Builder
Географічне розташування житлового будинку	м. Хирів, Самбірського району Львівської області.
Широта і довгота	50.03.29° пн.ш., 23.58°, 31 сх.д.
План будівлі	3D-дизайн створюється шляхом імпорту файлу DXF
Розташування дверей, вікон і будівельних приміщень	На основі планів забудови
Будівельне використання	Вводиться використання кожного приміщення (наприклад, лабораторія, палата, клініка тощо)
Частота присутності мешканців у кожному приміщенні	Він визначається відповідно до використання кожного простору
Комфортна температура взимку	22-25 °C
Комфортна температура літом	25-28 °C
Споживання гарячої води	Він визначається відповідно до використання кожного простору
Витрати енергії на комп'ютери, офісне приладдя тощо.	Визначається відповідно до використання кожного простору та розкладу часу
Енергія, необхідна для приготування їжі	Необхідна енергія та її джерело визначаються для приміщення для приготування їжі (20 кВт)

Будівельні стінові матеріали та їх товщина	Цегляні стіни товщиною 40 см (виходячи з передбачуваних будівельних особливостей)
Фасад будівлі	Цементний фасад товщиною 5 см
Якість герметизації	Середній
Тип вікна	Прозорі та склопакети
Тип ламп	Низький стандарт (15 Вт)
Тип системи кондиціонування	Фанкойл (4 труби). Чиллер з повітряним охолодженням
КС системи охолодження	2
КС системи опалення	0,85
Система гарячого водопостачання	Котел з ККД 85%
Джерело енергії системи охолодження	Електрика
Джерело енергії системи опалення	Природний газ
Джерело енергії гарячого водопостачання	Природний газ
Джерело енергії для приготування їжі	Природний газ

2.4 Проект малої сонячної електростанції на прибудинковій території

Нинішня енергетична система житлового будинку працює на основі викопного палива. Електроенергія забезпечується від основної мережі, а резервну функцію виконують дизель-генератори. Зважаючи на високий потенціал сонячної енергії в Україні [17], рекомендується інтегрувати систему сонячної енергетики в енергетичну інфраструктуру житлового будинку.

Україна, розташований розташована в Північній (між 52°22' та 44°23' паралелями) та Східній півкулях (між 22°10' та 40°13' меридіанами), на континенті Європа (західна частина материка Євразія). Середня інтенсивність сонячної радіації в країні перевищує світовий середній показник, причому понад 110 сонячних днів фіксуються на більш ніж 40% території України [18].

На рисунку 2.3 представлено середньомісячну інтенсивність сонячного випромінювання м. Хирів, Самбірського району Львівської області.

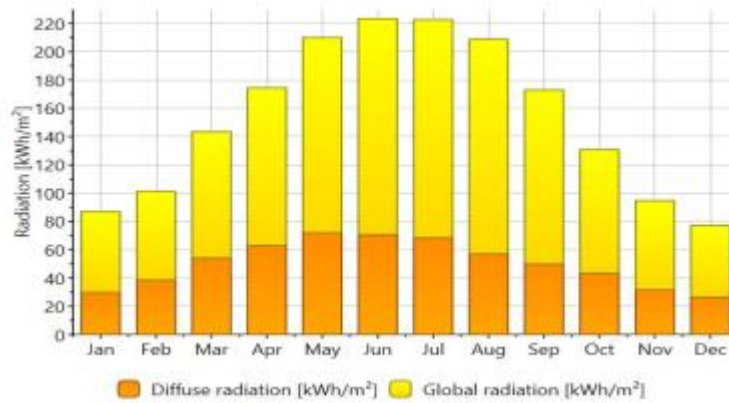


Рисунок 2.3 – Місячна дифузна та глобальна радіація в м. Хирів, Самбірського району Львівської області (вихід Meteonorm)

Для виробництва сонячної енергії можна використовувати вікна, фасади будівель і дахи. Однак заміна фасаду на спеціальне скло та матеріали є дорогим і малодоступним варіантом. Найбільш простим і доступним рішенням є встановлення фотоелектричних (PV) панелей на даху житлового будинку.

Процес встановлення PV-панелей моделювався за допомогою програмного забезпечення PVsyst (версія 6.8.1). У програмі оцінювали параметри конструкції, такі як орієнтація модулів, затінення та відстань між рядами. PVsyst є універсальним інструментом для проектування сонячних електростанцій, що дозволяє точно симулювати їхню роботу, використовуючи вбудовані бібліотеки обладнання та налаштовуючи систему для досягнення максимальної ефективності. Користувач також може додавати нове обладнання до бази даних програми та оцінювати вплив різних параметрів на роботу станції.

Аналіз затінення є ключовим етапом при проектуванні системи. Затінення, спричинене об'єктами чи рослинністю, може негативно впливати на роботу сонячних панелей, викликаючи утворення гарячих точок і знижуючи ефективність. У цьому дослідженні аналіз затінення проводився у PVsyst, що дозволило звести до мінімуму його вплив.

Дах житлового будинку має площу 90 м², і на ньому було запроєктовано встановлення 80-кіловатної сонячної системи з використанням 250-ватних панелей Sharp. Масив панелей складається з комірок, з'єднаних послідовно-

паралельно для забезпечення необхідної потужності. Для компенсації аварійних ситуацій та дефіциту енергії запропоновано стратегії Weak Grid та Islanding у PVsyst.

Національна електромережа зазвичай задовольняє потреби житлового будинку в електроенергії, однак у разі збоїв потрібні додаткові джерела енергії. Надійність мережі оцінювалася за трьома параметрами: середньою частотою відключень, середнім часом ремонту та варіабельністю часу ремонту. Дані про відключення та ремонти збиралися на основі польових досліджень і статистики житлового будинку за рік. Ці параметри використовувалися для створення моделі відключень, яка показала, що більшість перебоїв відбувається вдень через високий попит на потужність.

Національна електромережа здатна задовольняти більшу частину попиту лікарень на електроенергію. Однак у разі збоїв у мережі для забезпечення стабільності системи необхідні альтернативні джерела енергії. Надійність електромережі оцінюється за трьома ключовими параметрами: середньою частотою відключень, середньою тривалістю ремонту та варіативністю часу ремонту, що представлені в таблиці 5. Ці аспекти аналізуються з огляду на надійність електропостачання, вивчену в дослідженні.

Профіль відключень електроенергії в лікарні сформовано на основі даних польових досліджень, включаючи відвідування лікарні та звіти технічного персоналу про кількість відключень електроенергії протягом року. Тривалість та частота цих відключень визначаються на основі статистичних даних лікарні за один рік. Ці параметри використовуються для створення випадкової діаграми відключень електроенергії протягом року, що генерується спеціалізованим програмним забезпеченням (рис. 2.4).

Більшість відключень фіксується в денний час через підвищений попит на потужність, який додатково ускладнюється перевантаженням мережі в ці години.

Стратегія Weak Grid використовує ресурси акумуляторів для запобігання дефіциту електроенергії. У цьому випадку батареї забезпечують покриття навантаження на власне споживання. Однак розряд батарей обмежується певним порогом, який дозволяє зберегти енергопрофіль у безпечній зоні на випадок можливих перебоїв. У разі виникнення перебою дозволяється перевищити цей поріг і повністю використати запас енергії в акумуляторі.

Для реалізації цього підходу обрано акумулятор Tesla з номінальною ємністю 268 А·год. Навантаження на власне споживання визначено на рівні 10 кВт, чого достатньо для забезпечення електроенергією коридорів екстреної допомоги лікарні. Надійне електропостачання цих коридорів критично важливе для функціонування лікарні в умовах надзвичайних ситуацій.

На рисунку 2.5 представлено принципову схему запропонованої системи.

Таблиця 2.5 – Параметри надійності мережі

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Середня частота відключень	1/рік	60
Середній час ремонту	год	0,5
Змінність часу ремонту	%	30

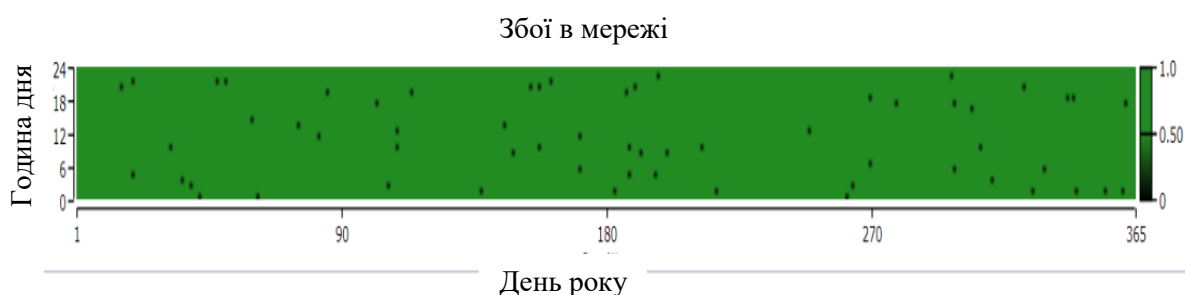


Рисунок 2.4 – Випадковий графік відключень мережі протягом року

У разі збою мережі передбачається використання механічного перемикача для фізичного відключення мережі від системи. У такому стані система працюватиме автономно, а інвертор акумулятора забезпечуватиме всі потреби в енергії. У режимі підключення до мережі контур змінного струму

безпосередньо підключений до мережі, що дозволяє передавати надлишкову сонячну енергію, хоча це може обмежуватися правилами адміністратора мережі.

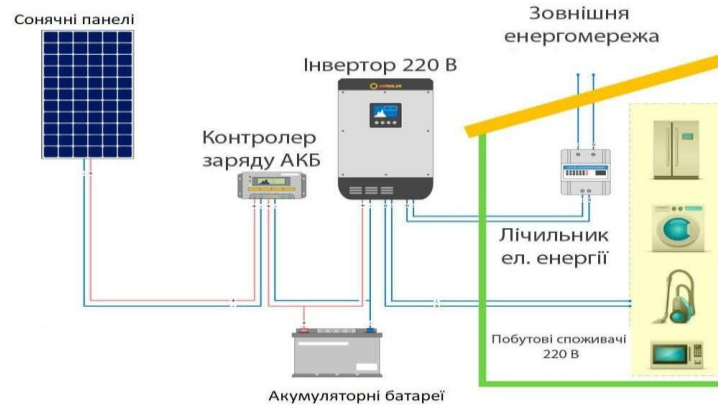


Рисунок 2.5 – Запропонована конфігурація для підтримки мережі житлового будинку за рахунок малої сонячної електростанції на прибудинковій території

2.6. Розроблена модель у PVsyst

Система складається із 92 сонячних панелей загальною площею 90 м². У моделі, створеній у PVsyst, передбачено підключення 12 панелей послідовно та 27 модулів паралельно. Панелі встановлені у фіксованому положенні під кутом 50° до горизонту. Для перетворення сонячної енергії використано 9 інверторів бренду SMA. Додаткову інформацію про установку наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вхідні дані для моделі PVsyst

Тип системи	Наземні навіси
Кут нахилу: 50°	Азимут: 0°
Кількість навісів: 27	Відстань між навісами: 6,7 м
Ширина колектора: 3,36 м	Коефіцієнт покриття ґрунту (GCR): 50,1%%
Стратегія заряджання	Коли є надлишок сонячної енергії
Стратегія розряджання	Як тільки виникає потреба в енергії

У таблиці 2.7 представлені технічні характеристики сонячних панелей та інверторів, а в таблиці 2.8 наведено параметри акумуляторів. Таблиця 2.9 містить інформацію про місце будівництва електростанції. На рис. 2.6 зображено конфігурацію встановлених панелей на прибудинковій території житлового будинку. Керування потоками енергії здійснюється через відповідний контролер, який функціонує постійно.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики панелі та інвертора

Характеристики	Інвертор	Панель
Бренд	SMA	Sharp
Ємність	7,7 кВт	250 Вт
Напруга	300-480 В	26 В
Технологія виробництва	LF-TR	Si-Poly
Модель	Sunny boy 8000 U-240	ND-RC250
Рік виробництва	2023	2023

Таблиця 2.8 – Характеристики акумуляторної батареї

Тип	Літій-іонний
Бренд	Tesla
Модель	Powerwall 2
Напруга	50,4 В
Номинальна ємність	268 АІІ
Накопичена енергія (DOD SO %)	10,8 кВт·год
Вага	125 кг
Загальна накопичена енергія за термін служби батареї	10186 МВт·год
Загальна ємність	804 А·год

Таблиця 2.9 – Географічне положення сонячної електростанції

Країна	Україна
Географічне розташування	м. Хирів, Самбірського району Львівської області
Широта	50,3° N
Довгота	23,58° E
Висота над рівнем моря	270 м
Альбедо	0,2

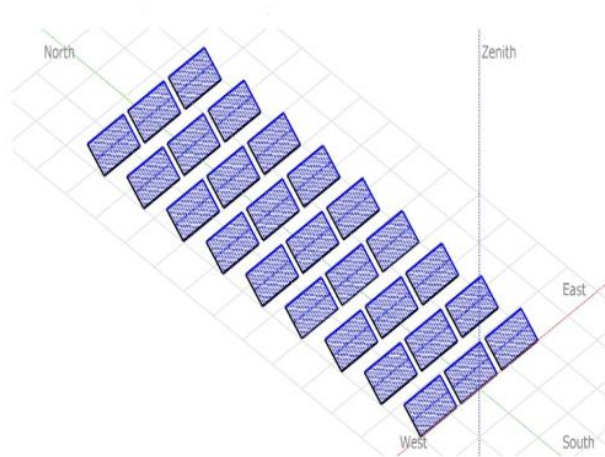


Рисунок 2.6 – Розташування панелей на прибудинковій території житлового будинку

Система передбачає кілька сценаріїв роботи. Якщо сонячної енергії достатньо для потреб користувача, надлишок спрямовується на заряджання акумуляторів. У разі повного заряду батарей залишкова енергія передається до електромережі. Коли сонячної енергії недостатньо або вночі, потреба в енергії покривається акумуляторами. Резервною системою в цій моделі виступає дизельний генератор потужністю 1000 кВт.

$$\begin{cases}
 P_{Gi} - P_{Li} - U_i \sum_{j=1}^N U_j (G_{ij} \cdot \cos \Theta_{ij} + B_{ij} \cdot \sin \Theta_{ij}) = 0 \\
 Q_{Gi} - Q_{Li} - U_i \sum_{j=1}^N U_j (G_{ij} \cdot \sin \Theta_{ij} + B_{ij} \cdot \cos \Theta_{ij}) = 0 \\
 P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \\
 Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \\
 U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max} \\
 I_i^{\min} \leq I_i \leq I_i^{\max} \\
 \omega^T l = 1
 \end{cases} \quad (2.6)$$

У процесі моделювання за допомогою програмного забезпечення DesignBuilder N – кількість вузлів: Q_{Gi} , Q_{Li} – реактивна потужність генератора та навантаження, кВт; U_i – амплітуда напруги i -го вузла, кВт; θ_{ij} — різниця фазових кутів між двома вузлами, рад; G_{ij} , B_{ij} – дійсна та уявна частини пропускної здатності вузла, с; ω^1 – ймовірністю зв'язки різних режимів роботи, l – вектор для всіх стовпців 1.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

3.1 Базова модель гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

Результати моделювання енергетичної системи для лікарні Ghiasi протягом одного року 1 моделювання в Design-Builder як впливає. Річне споживання електроенергії становить 3,08 кВт·год річне споживання газу становить 4,23 кВт·год. Природний газ і на електроенергію припадає 58 % і 42 % річної споживчий кошик відповідно (рис. 3.1).

Рисунок 3.2 показує річна потужність, необхідна для систем охолодження та опалення, гаряча виробництво води, освітлення, електрообладнання та пристрої, і приготування їжі. Система опалення будівлі та електрика, обладнання з енергоспоживанням 1,91 кВт·год і 0,86 кВт·год, мають найвищий і найменший внесок відповідно.

Рисунок 3.3 ілюструє внесок кожного окремого споживача в річне енергоспоживання в житловому будинку. Річне опалення на 26 % необхідної енергії є найвищим річним споживання.



Рисунок 3.1 – Кругова діаграма, що ілюструє частку газу та електроенергії у річному споживанні енергії (згенеровано за допомогою Design-Builder).

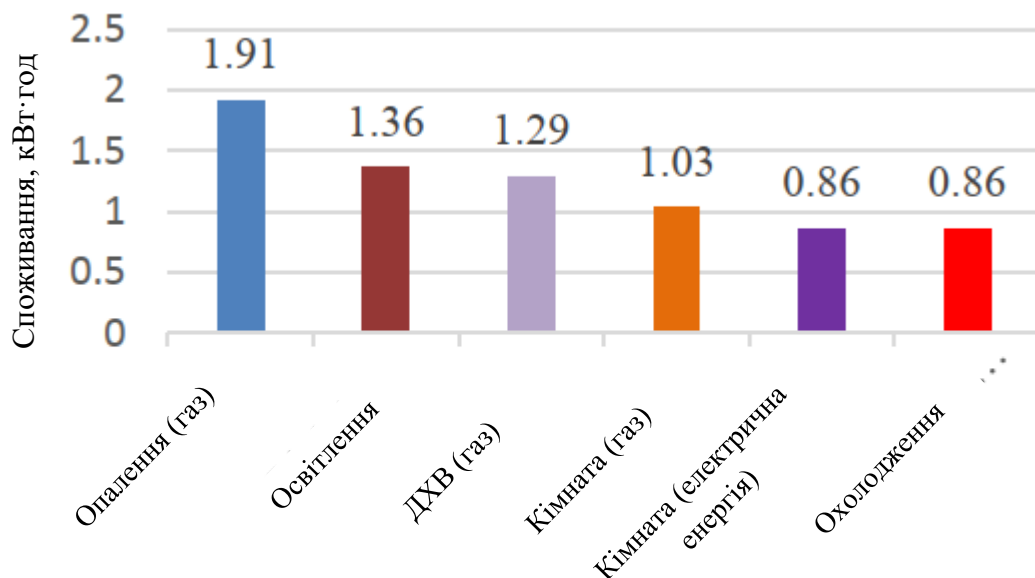


Рисунок 3.2 – Споживання енергії в житловому будинку (отримано за допомогою Design-BUILDER).

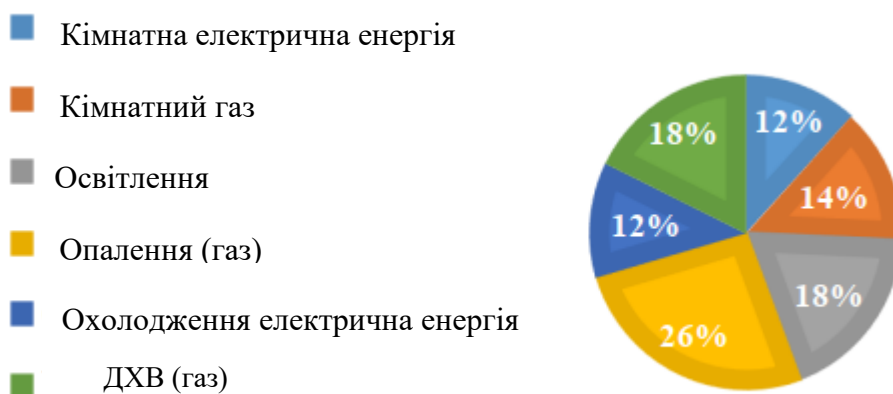


Рисунок 3.3 – Внесок різних споживачів у річне споживання енергії (DHW означає централізоване гаряче водопостачання).

3.2. Валідація моделі гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

Для перевірки отриманих результатів і порівняння їх з енергетичними показниками лікарні, вихідні дані подано в помісячному форматі відповідно до дат комунальних рахунків лікарні. Це дозволяє легко зіставити споживання газу та електроенергії за моделлю з існуючою системою. Інтенсивність споживання

електроенергії, розрахована моделлю, має незначні відхилення від даних комунальних рахунків лікарні, а похибка моделювання становить менше 10 %, що підтверджує точність проведеного моделювання.

Споживання електроенергії

У таблиці 3.1 наведено дані про рахунки за електроенергію житлового будинку за 2024 рік та обсяги споживання електроенергії за результатами моделювання. Згідно з цією таблицею, споживання електроенергії за окремі періоди, отримане за моделлю, трохи відрізняється від фактичних даних рахунків (рис. 3.4). Похибка моделювання була зафіксована для кожного інтервалу вимірювання. За даними таблиці, обсяг споживання електроенергії за моделлю становить 3,045 кВт·год протягом періоду симуляції, тоді як фактичне споживання, за даними рахунків, дорівнює близько 3,012 кВт·год. Таким чином, похибка моделювання становить лише 1 %, що є прийнятним значенням і підтверджує точність моделювання.

Таблиця 3.1 – Дані рахунків за електроенергію та порівняння з результатами моделі

Номер періоду	Тривалість платіжного циклу (дата)	Тривалість	Фактичне споживання (кВт·год)	Споживання моделі (кВт·год)	Відносна похибка (%)
1	13 лютого – 9 квітня	55	379,2	344	9
2	9 квітня – 8 травня	29	192	181	5
3	9 червня – 12 липня	32	352	376	6
4	12 липня – 6 серпня	33	448	455	i
5	6 серпня – 6 вересня	25	374,4	386	3
6	6 вересня – 4 жовтня.	31	427,2	450	5
7	4 жовтня – 3 листопада	28	353	380	7
8	3 листопада – 7 грудня	30	245,4	263	3
Всього		297	3012,8	3054	1

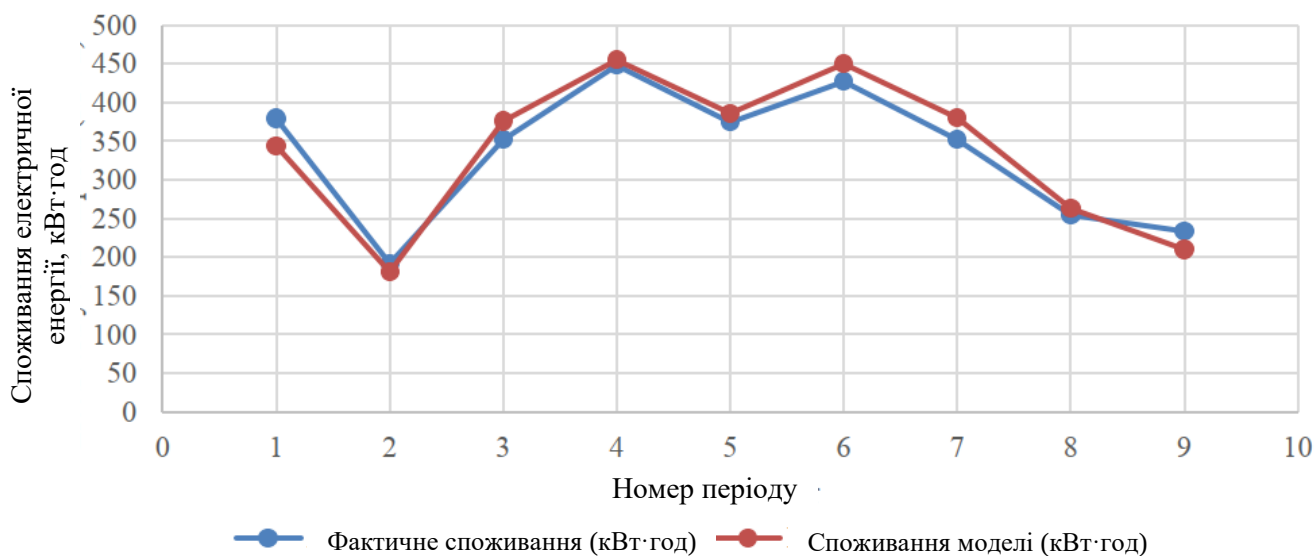


Рисунок 3.4 – Споживання електроенергії за вказані періоди згідно з результатами моделювання та енергетичним рахунком.

3.3 Сонячна енергетична установка гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

Після введення необхідних даних у програму PVsyst і проведення симуляції, отримано наступні результати. Таблиця 3.2 показує місячне та річне виробництво енергії панелями. Згідно з таблицею 2.7 (див. розділ 2), панелі можуть виробляти 137,7 кВт·год на рік, з яких 87,6 кВт·год споживається для забезпечення постійного електропостачання, визначеного в програмі (частина освітлення в коридорах лікарні). Решта енергії або зберігається в акумуляторі, або продається в мережу. Згідно з таблицею, щорічно 85,56 кВт·год сонячної електроенергії продається в мережу. Рисунок 3.5 показує місячне виробництво сонячної енергії порівняно з електроенергією, що подається в мережу. Різниця між цими двома діаграмами показує кількість сонячної енергії, спожитої в системі. Як видно з рис. 3.5, влітку виробництво енергії досягає свого максимуму через більшу інтенсивність сонячного світла в ці місяці.

Вихідні струми виробленої енергії на поверхні панелей відображаються на діаграмі Sanki (Рисунок 3.5). Рисунок 3.6 також показує місячне

виробництво сонячної енергії порівняно з електроенергією, що подається в мережу. Різниця між цими двома діаграмами показує кількість сонячної енергії, спожитої в системі. Як показано на рисунку, виробництво енергії влітку досягає максимального значення через більшу інтенсивність сонячного світла в ці місяці.

Таблиця 3.2 – Місячна інформація про сонячну радіацію та виробництво (баланси та результати з PVsyst)

	GlobHor (kWh/m ²)	DiffHor (kWh/m ²)	T_Amb (°C)	GlobInc (kWh/m ²)	GlobEff (kWh/m ²)	EArray (kWh)	E_user (kWh)	E_Gnd (kWh)	EFrGnd (kWh)	E_Miss (kWh)
January	85.5	24.76	4.30	142.5	135.0	8.82	7.44	6.805	4.804	0.10
February	99.1	37.37	7.33	138.3	131.8	9.79	6.720	6.745	4.100	0.05
March	140.8	49.27	12.99	172.0	163.9	11.81	7.44	7.995	4.282	0.00
April	171.4	73.05	17.67	180.9	170.4	12.14	7.20	8.280	3.753	0.14
May	207.1	68.06	23.31	196.8	185.5	12.77	7.44	8.633	3.759	0.13
June	221.7	69.55	28.38	201.2	189.6	12.70	7.20	8.639	3.611	0.03
July	220.2	75.92	31.32	205.0	193.0	12.75	7.44	8.185	3.729	0.02
August	206.3	68.04	30.82	211.1	199.7	13.19	4.44	9.118	3.862	0.02
September	170.8	52.81	26.08	199.4	189.8	12.76	7.20	8.649	3.546	0.11
October	125.7	40.58	20.45	171.3	163.7	11.31	7.44	7.44	4.404	0.05
November	93.9	30.69	11.73	148.7	141.0	10.11	7.20	6.795	4.426	0.09
December	76.1	25.56	6.05	128.4	121.0	8.43	7.44	5.558	5.021	0.06
Year	1820.9	615.69	18.43	2095.5	1954.5	137.57	87.600	92.849	49.598	0.560
GlobHor	Глобальна горизонтальна радіація				EArray	Ефективна енергія на виході масиву				
DiffHor	Дифузна горизонтальна радіація				E_User	житлового будинку				
T_amb	Температура навколишнього середовища				E_Grid	Енергія, що постачається споживачу				
GlobInc	Глобальна падаюча радіація на колекторну поверхню				EFrGrid	Енергія, що подається в мережу				
GlobEff	Ефективна глобальна радіація, коригована для LAM та затемнення				E_Miss	Енергія з мережі, відсутня енергія				

Рисунок 3.7 показує коефіцієнт ефективності сонячної електростанції в різні місяці року. Коефіцієнт ефективності електростанції визначається як відношення фактичної потужності модулів на поверхні панелей до їх номінальної потужності. Коефіцієнт ефективності є індексом якості фотоелектричної станції, тому часто його описують як фактор якості. Коефіцієнт ефективності (PR) виражається у відсотках і описує співвідношення між фактичним та теоретичним енергетичним виробництвом фотоелектричної

станції. Рисунок 3.7 показує вплив підвищеної температури на поверхню панелей. Річна середня величина PR становить 0,766.

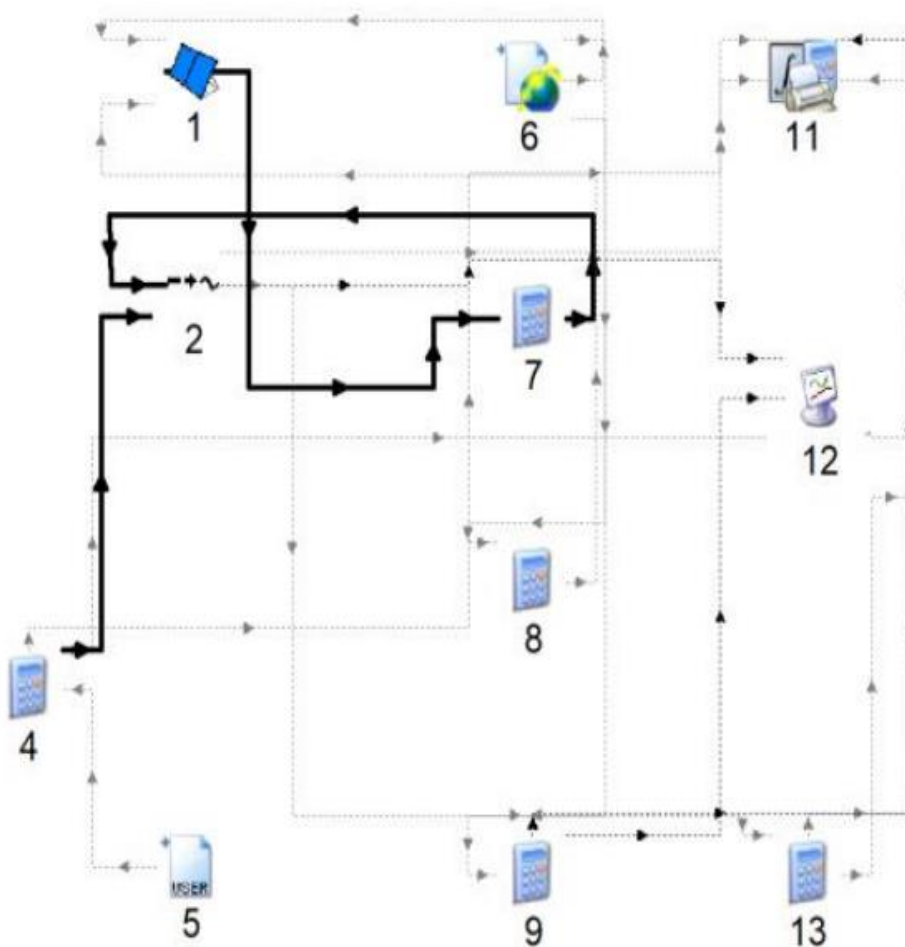


Рисунок 3.5 – Діаграма обмеження потужності в роботі СЕС, а саме електричного струму, що генерується колекторами:

1	Масив ФЕМ	Type 94a
2	Контролер заряду та стеження за ТММ	Type 48с
4,7,8,9,13	Модуль проміжних обчислень	Type Ециа
5	Модуль введення даних про навантаження	Type 9a
6	Модуль введення кліматичних даних	Type 15-6
12	Модуль графічної візуалізації	Type 65(1
11	Модуль обробки результатів та виведення в текстовий файл	Type 28Ь

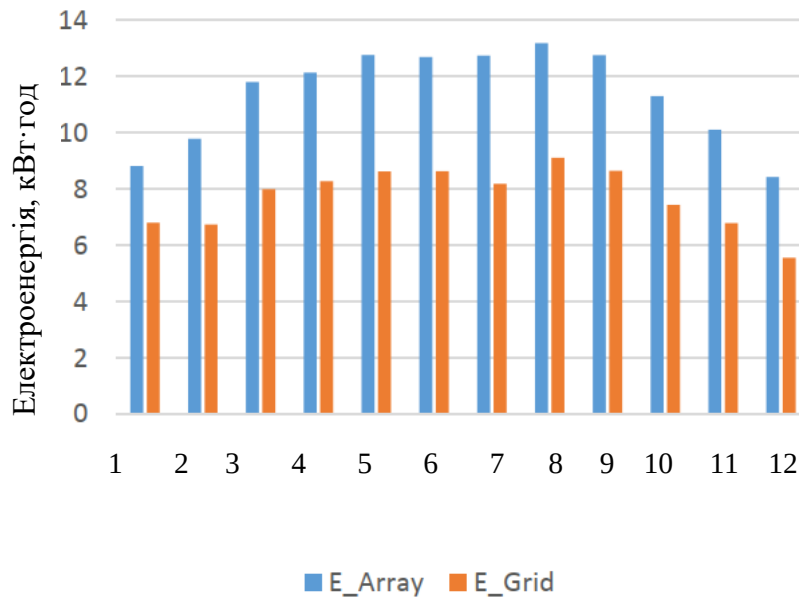


Рисунок 3.6 – Щомісячне виробництво сонячної енергії (E_Array – Ефективна енергія на виході масиву житлового будинку) у порівнянні з енергією, поданою в мережу (E_Grid – Енергія, що подається в мережу), цифри 1;2 ... 12 – порядковий номер місяця впродовж року

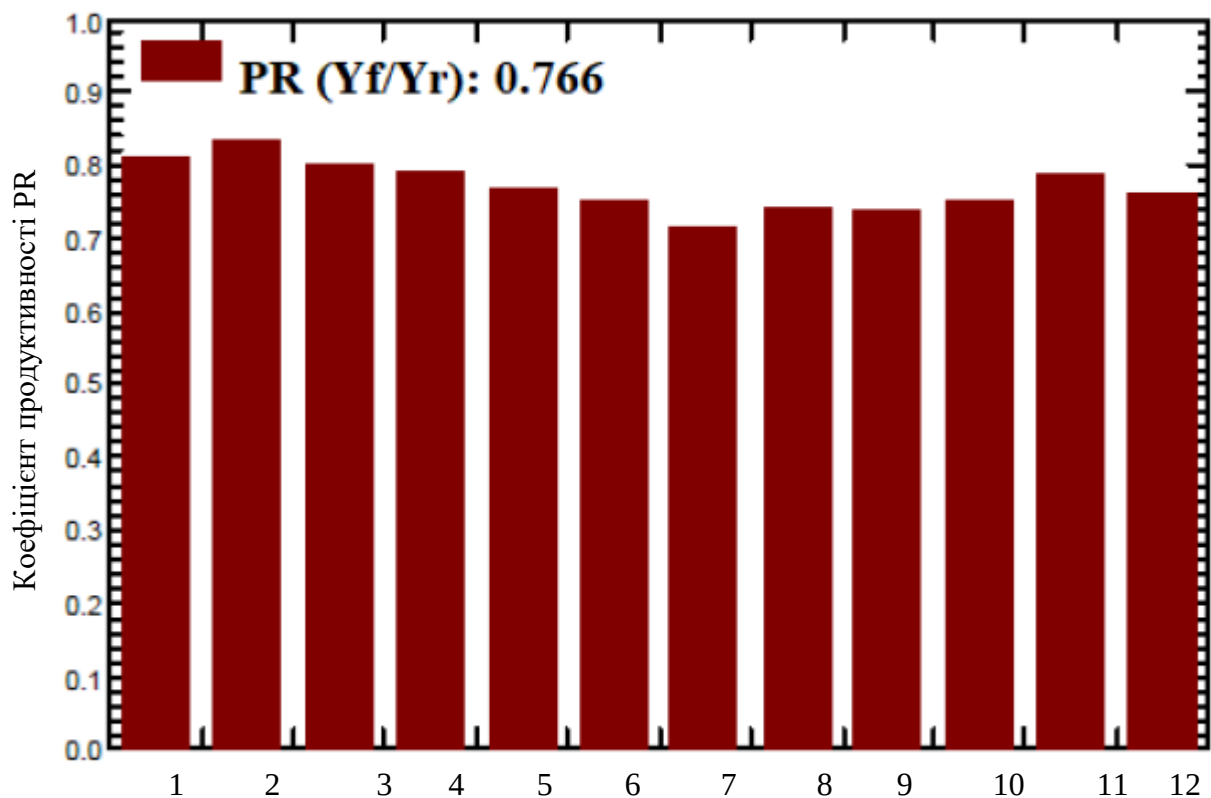


Рисунок 3.7 – Коефіцієнт продуктивності сонячної електростанції в різні місяці.

Рисунок 3.9 показує діаграму втрат енергії сонячної електростанції. Як видно, із 1958 кВт·год енергії сонячного випромінювання, що падає на

квадратний метр панелей з ефективністю 15,9 % (в умовах стандартних тестових умов (STC)), лише 160,5 кВт·год може бути вироблено в номінальних умовах (STC) на поверхні масиву. 38 % з генерованої енергії втрачається через втрати випромінювання, пов'язані з рівнем освітленості. Ці втрати виникають через внутрішні особливості роботи фотомодулів, оскільки певна кількість сонячного випромінювання не поглинається вранці та ввечері через недостатню відстань між двома сусідніми рядами сонячних елементів, що призводить до втрат випромінювання.

Другим фактором втрат енергії є температура. Ефективність елементів зменшується зі збільшенням їхньої температури, що спричиняє втрату 10 % з генерованої енергії у модулі. Інші фактори втрат енергії мають менший внесок, як показано на рисунку. У результаті після вирахування всіх можливих втрат на рівні панелей генерується 137,7 кВт·год, з яких 3,91 % втрачається при проходженні через інвертор, і 132,3 кВт·год досягається на виході інвертора. Ця енергія використовується для заряджання акумулятора, само споживання за постійними профілями та подачі в основну мережу.

Під час заряджання акумулятора 0,67 % з генерованої енергії розсіюється, тоді як 0,96 % втрачається, коли акумулятор заповнений як невикористана енергія. У підсумку 44,6 МВт·год використовується для забезпечення постійного профілю електропостачання, а 85,6 кВт·год продається в мережу.

Рисунок 3.10 показує горизонт Meteonorm для місця розташування електростанції. Сині лінії позначають тангенціальні межі площини (тобто коли сонячні промені паралельні площині). Сонячне випромінювання та вихід потужності фотомодулів змінюватимуться, якщо місцеві пагорби або гори затіняють сонце в певні періоди дня; таким чином, профіль горизонту допомагає отримати точні вихідні дані. Профіль горизонту може бути визначений вручну набором точок (Азимут/Висота) у градусах. Ці дані можуть бути отримані з польових вимірювань (за допомогою інструментів геодезистів, таких як компас і клімометр). Вони також можуть бути імпортовані з кількох

джерел. У цьому проєкті програмне забезпечення Meteonorm створює профілі горизонту, які імпортуються в PVsyst.

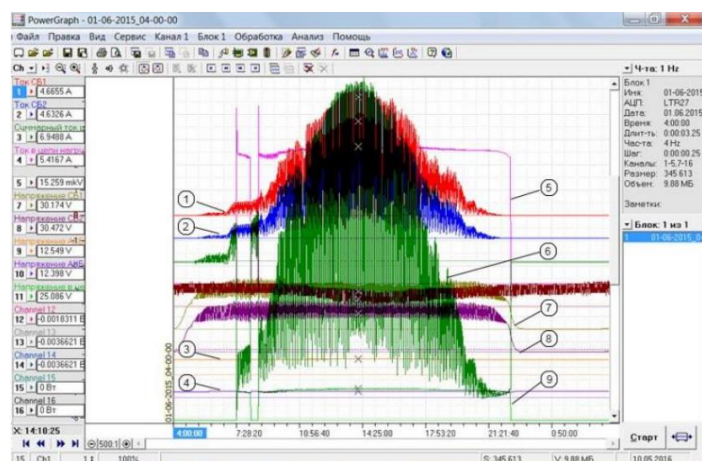


Рисунок 3.8 – Діаграма втрат енергії (вивід PVsyst)



а)

б)



в)

Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд експериментальної ФЕУ: а – фотоелектричні модулі на опорній конструкції з лицьового боку та піранометр, розміщений у площині модуля (ліворуч); б – ФЕМ з тильної сторони, в – НЕЕ

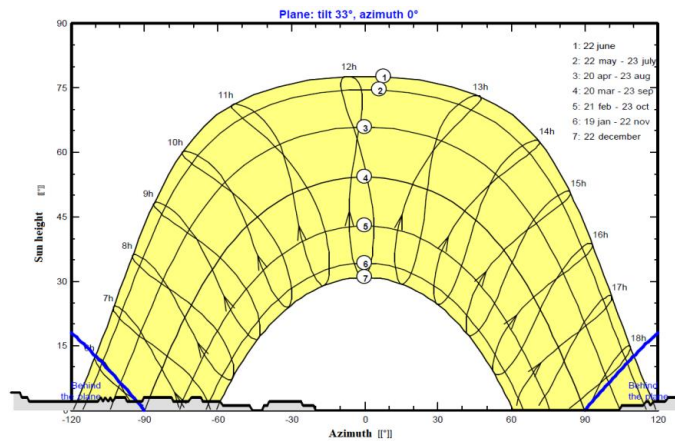


Рисунок 3.10 – Діаграма горизонту Meteonorm для місця розташування електростанції.

Енергетична система житлового будинку була змодельована за детальною інформацією, як велика та складна структура в цьому дослідженні. В м. Хирів, Самбірського району Львівської області розташована на південному заході Львівської області і енергетична система цього житлового будинку була змодельована за допомогою програмного забезпечення Design-Builder. Отримані результати були перевірені за допомогою точних даних про енергоспоживання житлового будинку на основі рахунків за енергію. На наступному етапі була спроектована мала одиниця сонячної генерації електричної енергії на даху житлового будинку з можливістю продажу надлишкової енергії в мережу за допомогою програмного забезпечення PVsyst.

Дослідження показало, що гібридна система відновлюваних джерел енергії є відповідним вибором для житлового будинку. З результатів можна зробити висновок, що відновлювальні джерела енергії є цінним інструментом для покращення якості енергопостачання в житлового будинку. Отримані результати цього дослідження можна адаптувати до інших житлового будинку з урахуванням кожного клімату та погодних умов. Застосування відновлювальних енергетичних систем житлового будинку, може стимулювати громаду до використання нових відновлювальних технологій замість традиційних.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

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. Головні 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):

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

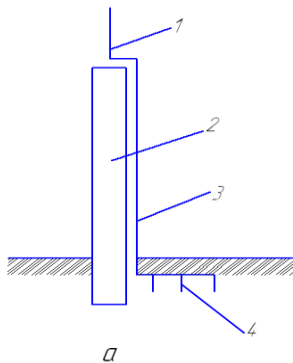


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції; 1 – блискавко приймач,
2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

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 ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

5.1 Обґрунтування економічний та екологічний аналіз ефективності використання гібридної системи електропостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

Економічний та екологічний аналіз запропонованої системи було виконано за допомогою програмного забезпечення HOMER Pro. HOMER відомий, як універсальне програмне забезпечення для дослідження та розробки гібридних джерел енергії. Це програмне забезпечення створено та розроблено Національною лабораторією відновлюваної енергії США (NREL) [15].

Назва HOMER розшифровується, як **Hybrid Optimization Model for Electrical Renewable** (Гібридна оптимізаційна модель для електричних відновлювальних джерел енергії). Це програмне забезпечення (версія 3.14.2) здатне визначати найбільш економічно вигідну систему для заданого навантаження, враховуючи сонячну радіацію, профіль електричного попиту та характеристики обладнання.

Попит житлового будинку на енергетичне навантаження отримано з результатів програмного забезпечення Design-Builder. Таким чином, щомісячний і щоденний вихід електроенергії з Design-Builder використовується як вхідні дані для програмного забезпечення HOMER Pro. На рис. 5.1 показано середнє щомісячне навантаження житлового будинку.

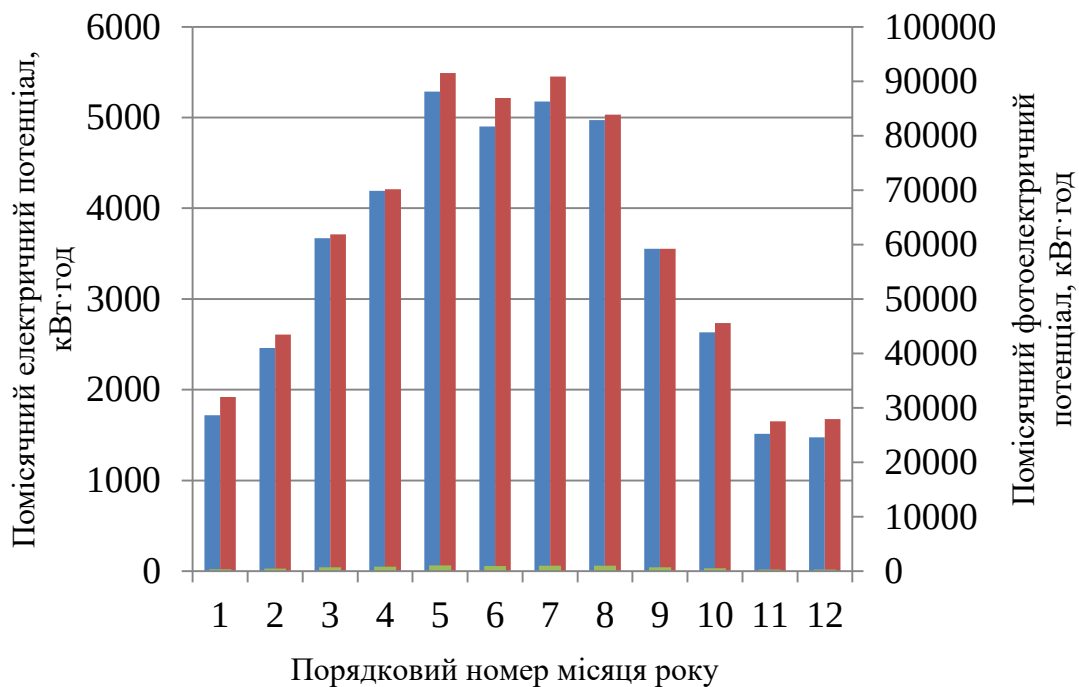


Рисунок 5.1 – Середній щомісячний профіль навантаження житлового будинку

Розрахунок вартості системи. Система, спроектована в PVsyst, включає фотогальванічні панелі та акумулятор у режимі підключення до мережі. Також до системи енергопостачання підключений дизельний генератор потужністю 30 кВт для підтримки електропостачання у разі надзвичайної ситуації. Таким чином, система складається з фотогальванічних панелей (Sharp ND-250QCS), інвертора, акумулятора (Tesla Powerball 2) та дизельного генератора (Generic Medium Genset).

Для розрахунку загальної вартості системи техніко-економічні характеристики компонентів мають бути введені в програмне забезпечення HOMER. У таблицях 5.1 – 5.4 наведені технічні параметри та припущення щодо вартості компонентів системи.

Таблиця 5.1 – Технічні параметри сонячної фотоелектричної системи та її вартість.

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Номінальна макс. потужність	Вт	5000
Капітальні витрати	грн/кВт	1000
Витрати на заміну	грн/кВт	1000
Витрати на експлуатацію та обслуговування	грн/кВт/рік	10
Тривалість служби	Роки	20
ККД	%	15.3

Таблиця 5.2 – Технічні параметри вартості акумулятора.

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Номінальна напруга	Вольт	220
Номінальна ємність	Ах	60
Максимальний струм заряду	А	31.8
Ефективність циклу	%	90
Капітальні витрати	грн	65000
Витрати на заміну	грн	65000
Витрати на експлуатацію та обслуговування	грн/рік	600
Загальна кількість енергії за час служби	кВт·год	67500
Тривалість служби	Роки	10

Таблиця 5.3 – Техніко-економічні параметри перетворювача.

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Капітальні витрати	грн/кВт	500
Витрати на заміну	грн/ кВт	500
Витрати на експлуатацію та обслуговування	грн/ кВт /рік	10
Тривалість служби	Рік	20
ККД інвертора	%	95
ККД випрямляча	%	85

Таблиця 5.4 – Технічні параметри та вартість дизельного генератора.

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Капітальні витрати	грн/кВт	900
Витрати на заміну	грн /кВт	700
Витрати на експлуатацію та обслуговування	грн /кВт/рік	0.02
Тривалість служби	Години	15000
Номінальна потужність	кВт	1000

Економічні фактори, які включають рівень інфляції, дисконтну ставку, тривалість проєкту та ціну дизельного палива, є основними вхідними даними для економічної оптимізації. Ці фактори наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Фінансові вхідні фактори для моделювання гібридних енергетичних систем.

Вхідний фактор	Значення
Рівень інфляції (%)	15
Дисконтна ставка (%)	18
Тривалість проєкту (років) ε	20
Ціна дизельного палива (грн/л)	55

	Чинний тариф на розподіл, з 01.01.2022р, грн/МВт-год		Тариф на розподіл, з I квартал 2023-го року, грн/МВт-год		Зміна, %	
	1 клас	2 клас	1 клас	2 клас	1 клас	2 клас
ПАТ "Вінницяобленерго"	199,47	1 257,26	219,48	1 345,30	10%	7%
ПрАТ "Волиньобленерго"	144,47	1 102,19	161,26	1 179,36	12%	7%
АТ "ДТЕК Дніпровські електромережі"	114,90	783,32	132,62	864,98	15%	10%
АТ "Житомиробленерго"	247,28	1 333,43	271,70	1 432,11	10%	7%
ПрАТ "Закарпаттяобленерго"	326,79	1 480,39	340,06	1 535,89	4%	4%
ПрАТ "ДТЕК Київські електромережі"	103,75	438,72	117,12	489,39	13%	12%
ПрАТ "ДТЕК Київські регіональні електромережі"	214,91	878,60	242,38	978,84	13%	11%
ПрАТ "Кіровоградобленерго"	284,99	1 295,31	319,62	1 395,08	12%	8%
ПрАТ "Львівобленерго"	175,04	1 038,18	194,70	1 111,53	11%	7%
АТ "Миколаївобленерго"	212,46	1 055,58	248,69	1 216,53	17%	15%
АТ "ДТЕК Одеські електромережі"	168,47	1 026,95	187,34	1 136,56	11%	11%
ПАТ "Полтаваобленерго"	132,79	1 058,27	152,12	1 172,33	15%	11%
АТ "Прикарпаттяобленерго"	208,20	1 372,37	228,11	1 453,23	10%	6%
ПрАТ "Рівнеобленерго"	169,12	1 045,71	190,27	1 131,66	13%	8%
АТ "Сумиобленерго"	190,03	1 288,61	211,09	1 418,80	11%	10%
ВАТ "Тернопільобленерго"	217,99	1 312,21	243,43	1 412,14	12%	8%
АТ "Харківобленерго"	218,41	919,98	250,84	1 051,02	15%	14%
АТ "Хмельницькобленерго"	237,47	1 264,42	262,92	1 350,06	11%	7%
ПАТ "Черкасиобленерго"	127,66	1 013,49	146,76	1 124,15	15%	11%
АТ "Чернівціобленерго"	140,04	1 141,53	152,37	1 225,28	9%	7%
АТ "Чернігівобленерго"	244,61	1 345,70	274,35	1 477,96	12%	10%
ПРАТ "ПЕЕМ "ЦЕК"	101,08	821,57	113,20	908,67	12%	11%
ДПЕМ ПрАТ "Атомсервіс"	21,73	1 305,43	24,80	1 403,03	14%	7%
ПрАТ "ДТЕК ПЕМ-Енерговугілля"	28,16	295,66	31,95	327,94	13%	11%
АТ "Укрзалізниця"	194,60	889,59	235,80	1 061,19	21%	19%
ТОВ "Нафтогаз тепло"	232,92	847,29	232,23	920,84	0%	9%
ТОВ "Нафтогаз тепло" (Новий Розділ)	178,80	1 020,52	205,53	1 123,68	15%	10%

Рисунок 5.2 – Річні тарифи на електроенергію в мережі в Україні [21]

Річна загальна вартість системи залежить від двох основних економічних факторів: NPC та COE. NPC визначає чисту теперішню вартість системи, в той час як COE описує вартість енергії моделі. NPC включає річну вартість компонентів, що складаються з капітальних витрат, витрат на експлуатацію та обслуговування (O&M), а також витрат на заміну, за винятком будь-яких інших витрат, таких як викиди CO₂ [22, 23]. COE – це вартість енергії системи, що означає кількість витрат, які накладаються на систему для виробництва кожного кіловата енергії. Насправді, NPC має математичне значення, в той час як COE є більш умовним [23]. Тому термін окупності NPC є більш надійним економічним параметром і розраховується за допомогою наступного рівняння:

$$NPC = \frac{C_T}{CRF_{(i,n)}} \quad (5.1)$$

$$C_T = C_{acap} + \sum_{j=1}^m C_{OM,j} + C_f + \sum_{j=1}^m C_{R,j} \quad (5.2)$$

$$C_{acap} = C_{cap} \cdot CRF \quad (5.3)$$

$$CRF_{(i,n)} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (5.4)$$

У рівнянні (5.1) C_T – це загальна річна вартість (грн/рік), i – річна реальна процентна ставка (%), n – тривалість проєкту, а CRF — коефіцієнт відновлення капіталу.

У рівнянні (5.2) C_{acap} – це річна капіталізована вартість кожного компонента, а C_{cap} – початкова капітальна вартість компонента, що визначається як загальна встановлена вартість цього компонента на початку проєкту.

m – кількість усіх пристроїв у системі.

$C_{OM,j}$ – річні витрати на експлуатацію та обслуговування (O&M) для j -го компонента системи.

C_f – загальні річні витрати на паливо.

$C_{R,j}$ – річні витрати на заміну для j -го компонента системи.

Оцінка впливу на навколишнє середовище. Під час аналізу впливу на навколишнє середовище запропонованої системи необхідно визначити кількість викидів парникових газів. Врахування штрафів за викиди для різних галузей є звичною політикою, яка допомагає зменшити та контролювати шкідливі викиди. Тому за кожну тонну викидів власники підприємств повинні сплачувати штраф уряду. Кількість значних викидів для електростанцій України наведена в табл. 5.6. CO_2 з викидами 660,65 г/кВт·год має найбільший внесок. Тому вищі значення штрафів пов'язані з більш шкідливими викидами, що призводять до не безпечніших умов для навколишнього середовища та здоров'я людей. Оскільки частинки (PM) мають найбільший вплив на навколишнє середовище, вони мають найвищу вартість штрафу (1228,60 грн/т) [20].

Таблиця 5.6 – Викиди електростанцій в Україні [20]

Тип викидів	Значення (г/кВт·год)	Штраф за викиди (грн/т)
Вуглекислий газ (CO ₂)	660,65	2,86
Окис вуглецю (CO)	0,62	54
Невипаровані вуглеводні	180,18	60
Окис азоту (NO _x)	2,38	171,5
Діоксид сірки (SO ₂)	1,66	521,5
Тверді частинки (PM)	0,12	1228,6

Економічна оцінка. Враховуючи 20-річний термін служби проекту та вводячи в програму параметри вартості використовуваних компонентів, а також ставку дисконту і річну інфляцію, програмне забезпечення Homer може бути використане для розрахунку чистої поточної вартості моделі та вартості енергії. Таблиця 5.7 показує результати проведення економічної оптимізації за допомогою програмного забезпечення HOMER Pro.

У цій таблиці наведені технічні та економічні дані поточної системи (ДГ (1000 кВт)) порівняно з запропонованою конфігурацією (ДГ (1000 кВт)/ФС (80 кВт)/Батарея) в режимі підключення до мережі.

Таблиця 5.7 – Технічні та економічні дані поточних конфігурацій

Сценарій	COE1 (грн/кВт·год)	NPC (тис., грн./ рік)	Операційна вартість (грн)	Електрика, куплена з мережі (кВт·год/рік)
Базова модель	0,0241	3,22	150,063	248,023
Запропонована система	0,0235	3,17	139,825	202,773

Інформація, отримана в результаті економічної оцінки проекту, показує, що чиста поточна вартість та вартість енергії запропонованої системи є нижчими, ніж у поточної системи. Таким чином, реалізація цього проекту є економічно обґрунтованою. З іншого боку, експлуатаційні витрати та витрати на оплату електроенергії з мережі у запропонованій конфігурації на 7% та 18% нижчі, ніж у поточній системі, відповідно.

Екологічна оцінка. У таблиці 5.8 представлено короткий огляд викидів, що утворюються поточною системою, порівняно з запропонованою конфігурацією. Використовуючи цю конфігурацію, викиди діоксиду вуглецю,

оксиду вуглецю, незгорілих вуглеводнів (UHC), пилу (PM) та діоксиду сірки зменшуються порівняно з поточною системою. Водночас зниження незгорілих вуглеводнів (UHC) є значним, зменшуючись на 17% порівняно з базовою моделлю. Інформація в таблиці 5.8 підтверджує, що впровадження запропонованої моделі також є екологічно виправданим.

Таблиця 5.8 – Викиди поточної енергосистеми порівняно з викидами гібридної конфігурації

Кількість (кг/рік)	Поточна модель	Запропонована конфігурація
CO ₂	6,348,930	6,336,802
CO	42,406	42,148
UHC	46,388	38,246
PM	198	194
SO ₂	15,567	15,539
NO _x	3,950	3,865

Згідно з економічними теоріями, існує позитивний зв'язок між процентною ставкою та інфляцією в багатьох країнах, причому значення процентної ставки відображає тенденцію інфляції. Позитивний зв'язок між процентною ставкою та очікуваною інфляцією є класичною теорією.

З іншого боку, підвищення цін на енергетичні ресурси значно збільшує рівень інфляції. Тому підвищення цін на паливо (як одна з загальних політик України) розглядається разом з підвищенням рівня інфляції.

Враховуючи вище зазначене до запропонованої системи застосовується аналіз чутливості для дослідження впливу варіацій у рівні інфляції, ставці дисконтування та ціні дизельного пального на NPC і COE.

Ефекти змінення ставки дисконтування, рівня інфляції та ціни пального на COE та NPC системи показані на рис. 5.3. Вартість дизельного пального варіюється від 0,1 грн/л до 0,4 грн/л, ставка дисконтування змінюється в межах від 16 % до 20 %, а рівень інфляції коливається від 13 до 17 відсотків. Згідно з результатами, зростання ставки дисконтування та ціни пального призводить до збільшення COE системи. Мінімальне значення COE (0,0240 грн/кВт·год) спостерігається, коли ціна дизеля становить 0,1 грн/л, ставка дисконтування – 16 %, а рівень інфляції – 13 %.

З іншого боку, найвищі значення COE (0,102 грн/кВт·год) відповідають ціною дизельного пального 0,4 грн/л, ставці дисконтування 20 % і рівню інфляції 17 %.

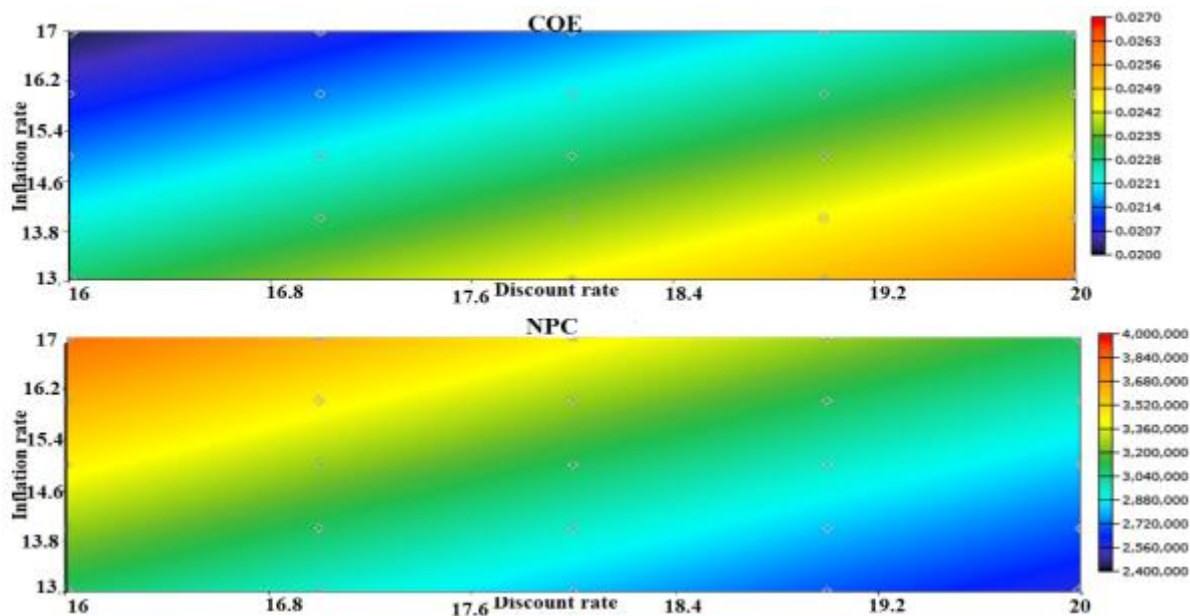


Рисунок 5.3 – Вплив номінальної ставки дисконтування та рівня інфляції на NPC та COE системи

Отже, вплив номінальної ставки дисконтування та інфляційної ставки на чисту теперішню вартість (NPC) та вартість енергії (COE) системи:

1. Ставка дисконтування:

- Збільшення ставки дисконтування призводить до зростання NPC та COE, оскільки майбутні витрати оцінюються з меншою вагою, що робить систему дорожчою у теперішньому значенні.
- Зниження ставки дисконтування знижує теперішню вартість майбутніх витрат, що призводить до зниження NPC та COE.
- Ставка дисконтування відображає вартість капіталу і висока ставка свідчить про високу вартість фінансування або високу віддачу від альтернативних інвестицій.

2. Інфляційна ставка:

- Зі збільшенням інфляції зростають майбутні витрати на експлуатацію, обслуговування та паливо, що веде до збільшення NPC та COE.

- Інфляція впливає на довгострокові витрати на виробництво енергії, оскільки вона змінює ціни на паливо, матеріали та робочу силу з часом.
- Вища інфляція може також змінити загальну структуру витрат системи, що призводить до зростання реальної вартості енергії.

Вплив на NPC:

- Вища ставка дисконтування: Збільшує NPC, оскільки майбутні витрати знижуються менше, що робить їх важливішими в теперішньому значенні.
- Вища інфляція: Збільшує NPC через зростання витрат на експлуатацію та обслуговування.

Вплив на COE:

- Вища ставка дисконтування: Призводить до підвищення COE, оскільки середня зважена вартість виробництва енергії збільшується через зростання майбутніх витрат.
- Вища інфляція: Збільшує COE, оскільки витрати на виробництво енергії ростуть через інфляційний тиск на паливо та інші операційні витрати.
- Номінальна ставка дисконтування: Збільшення призводить до зростання NPC та COE через збільшення теперішньої вартості майбутніх витрат.
- Інфляційна ставка: Збільшення призводить до зростання NPC та COE через збільшення витрат на експлуатацію і обслуговування.

Цей вплив часто ілюструється у вигляді графіків на рис. 5.3, що показують прямий зв'язок між змінами ставки дисконтування та інфляційної ставки і економічними показниками NPC та COE.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Енергетична система житлового будинку була змодельована з детальною інформацією як велика та складна структура в цьому дослідженні. В м. Хирів Самбірського р-н, Львівської обл. і енергетична система житлового будинку була змодельована за допомогою програмного забезпечення Design-Builder. Отримані результати були перевірені за допомогою точних даних про енергоспоживання житлового будинку на основі рахунків за енергію.

На наступному етапі була спроектована мала одиниця сонячної генерації електричної енергії на даху житлового будинку з можливістю продажу надлишкової енергії в мережу за допомогою програмного забезпечення PVsyst. Оцінювались такі параметри проєкту, як орієнтація модулів, затінення та відстань між рядами. Потім було проведено економічне обґрунтування запропонованої системи за допомогою програмного забезпечення HOMER Pro. Також була проведена екологічна оцінка та аналіз чутливості для гібридної моделі. У підсумку, технічна, економічна та екологічна доцільність проєкту була доведена.

Найважливіші результати цього дослідження підсумовуються наступним чином:

- Річний попит на електроенергію житлового будинку становить 308 кВт·год.
- Електростанція може генерувати 132 кВт·год сонячної електроенергії щорічно.
- Ця система може подавати 85,6 кВт·год своєї річної енергії в мережу.
- Чиста теперішня вартість запропонованої моделі була розрахована на рівні 3,17 тис. грн, вартість енергії системи складає 0,0235 грн/кВт·год.
- Збільшення дисконтної ставки та вартості палива призводить до зростання вартості енергії (збільшення дисконтної ставки на 4 % спричиняє зростання вартості енергії на 14 %).

Дослідження показало, що гібридна система відновлюваних джерел енергії є відповідним вибором для житлового будинку. З результатів можна

зробити висновок, що відновлювальні джерела енергії є цінним інструментом для покращення якості енергопостачання в житловому будинку. Отримані результати цього дослідження можна адаптувати до інших житлових будинків по всьому світу з урахуванням кожного клімату та погодних умов. Застосування відновлювальних енергетичних систем у соціальних сферах, в м. Хирів Самбірського р-н, Львівської області, може стимулювати громаду до використання нових відновлювальних технологій замість традиційних. Це дослідження показує, що гібридні відновлювальні енергетичні системи можуть компенсувати слабкості дизельних генераторів, як резервного джерела енергії та покращити загальну надійність енергетичної системи, а також знизити загальні викиди.

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://cooperhunter-aircon.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. Altaibao 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.
21. M. Schroeder and J. Jaeger, "Advanced energy flow control concept of an MMC for unrestricted operation as a multiport device," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 34, №. 11, PP. 11–496, 2019.
22. M. S. Chinthavali, J. Sun, P. R. V. Marthi, S. Chinthavali, S. Lee and M. Elizondo, *Models and Methods for Assessing the Value of Hvdc And Mvdc Technologies in Modern Power Grids*, Pacific Northwest National Lab, United States, May 2019.
23. S. Yassin Alsadi and Y. Fathi Nassar, "A general expression for the shadow geometry for fixed mode horizontal, step-like structure and inclined solar fields," *Solar Energy*, Vol. 181, PP. 53–69, 2019.
- A. Hafez, Y. Nassar, M. Hammdan, and S. Alsadi, "Technical and economic feasibility of utility-scale solar energy conversion systems in Saudi arabia," *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Electrical Engineering*, Vol. 44, PP. 213–225, 2020.
24. H. Bayat and A. Yazdani, "A hybrid MMC-based photovoltaic and battery energy storage system," *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, Vol. 6, №. 1, PP. 32–40, 2019.
25. M. Kumar, "Solar PV based DC microgrid under partial shading condition with battery- Part 2: energy management system," in *Proceedings of the 2018 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, PP. 1–6, IEEE, Jaipur, India, 2018, December.