

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання
ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
_____ Олена БОРИЧЕНКО
« ____ » _____ 2026 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма: Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології
на тему: «Аналіз енергоспоживання та розроблення енергоефективних рішень для приватного будинку»

Виконала:
студентка IV курсу, групи ОН-21
Макарова Єлизавета Іванівна
Керівник:
к.т.н., доц., Закладний Олег Олександрович

Консультанти:

<u>Теплова частина</u> (назва розділу)	<u>к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.</u> (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)	_____ (підпис)
<u>Охорона праці та пожежна безпека</u> (назва розділу)	<u>д.т.н., проф. Третькова Л.Д.</u> (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)	_____ (підпис)
<u>Нормоконтроль</u> (назва розділу)	<u>пров. інженер Прокопенко І.Д.</u> (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)	_____ (підпис)
<u>Рецензент</u>	_____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)	_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____

Київ – 2026 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма: Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.В. Боиченко

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студентці

Макарова Єлизавета Іванівна

1. **Тема проєкту** «Аналіз енергоспоживання та розроблення енергоефективних рішень для приватного будинку»,
керівник проєкту к.т.н., доц., Закладний Олег Олександрович, затверджені наказом по університету від «26» травня 2026 р. №1910-с
2. **Термін здачі студентом закінченого проєкту** “10 ” червня 2026 р.
3. **Вихідні дані до проєкту** результати проведеного енергетичного аудиту.
4. **Перелік розділів, які мають бути розроблені**
 - а) електрична частина: - Аналіз схеми електропостачання; повірочний розрахунок електричних навантажень; складання електричного балансу; розроблення типових заходів з енергоефективності.
 - б) теплова частина: - Визначення теплового навантаження будівлі; аналіз розрахункових і фактичних показників споживання теплової енергії; розроблення типових заходів для підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій та інженерних мереж.
 - в) охорона праці та пожежна безпека: Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів; розроблення вимог електробезпеки та вибір засобів

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

захисту; оцінка пожежної та вибухопожежної небезпеки приміщення; розрахунок системи вентиляції та вимог до приміщення; вибір засобів індивідуального і колективного захисту; розроблення організаційних заходів безпеки та дій у разі аварійних ситуацій

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1. План приватного житлового будинку та аналіз структури споживання енергоносіїв
2. Однолінійна схема електропостачання приватного житлового будинку
3. Схема системи опалення приватного житлового будинку
4. Схема енергоефективних рішень будівлі

6. Консультанти розділів проекту

Розділ (частина)	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<u>Теплова частина</u>	<i>к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.</i>		
<u>Охорона праці та пожежна безпека</u>	<i>д.т.н., проф. Третьякова Л.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання “ 22” травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

виконання дипломного проекту

студенткою Макарова Є.І.

(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту	Позначки керівника про виконання завдань
1	Розрахунок електричної частини	21.05.-26.05	
2	Розрахунок теплової частини	27.05.-01.06	
3	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки	02.06.-07.06	
4	Підготовка графічного матеріалу	07.06.-10.06.	
5	Захист дисертації	19.06.26	

Студент

Макарова Є.І.

Керівник проекту

Закладний О.О.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту складається із шести розділів і містить 151 сторінку основного тексту. Робота включає 44 ілюстрації, 48 таблиць та 52 джерела літератури за списком посилань.

Метою роботи є аналіз ефективності використання енергоресурсів у будівлі приватного житлового будинку. У межах проекту проведено оцінку рівня енергоспоживання, виявлено основні напрями нераціонального використання енергії, а також розроблено низку заходів, спрямованих на зниження енерговитрат і впровадження енергоефективних рішень. Окрему увагу приділено можливостям використання відновлюваних джерел енергії для забезпечення потреб приватного будинку.

Реалізація запропонованих у роботі заходів дозволить підвищити енергоефективність будівлі, зменшити витрати на енергоресурси та покращити умови проживання мешканців.

Ключові слова: енергоефективність, енергоспоживання, енергозбереження, втрати енергії, економія, приватний будинок, відновлювані джерела енергії.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		4

ABSTRACT

The explanatory report of the diploma project consists of six sections and includes 151 pages of main text. The work contains 44 illustrations, 48 tables, and 52 bibliographic references.

The aim of the project is to analyze the efficiency of energy use in a private residential house. The project evaluates the current level of energy consumption, identifies key areas of inefficient energy use, and proposes a range of measures aimed at reducing energy losses and implementing energy-saving solutions. Special attention is given to the potential use of renewable energy sources to meet the private house's needs.

Implementation of the proposed measures will improve the building's energy efficiency, reduce energy costs, and enhance living conditions for residents.

Keywords: energy efficiency, energy consumption, energy saving, energy losses, cost reduction, private house, renewable energy sources.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧНЬ, ТЕРМІНІВ

ГВП – гаряче водопостачання;

ТМ – трансформатор масляний;

LED – світлодіодні лампи;

ЕП – електроприймач;

ЗЕЕ – захід з енергоефективності;

ДСТУ – державний стандарт України;

ДБН – державні будівельні норми;

ДСН – державні санітарні норми.

IRR – внутрішня норма рентабельності

NPV – чистий дисконтований дохід

NPVq – коефіцієнт чистого дисконтованого доходу

ГВП – гаряче водопостачання

ДБН – Державні будівельні норми;

Д – дерев'яний

ДСТУ - Державна система стандартизації України

ЕЕ – енергетична ефективність

ЕіО – експлуатація і обслуговування

Зх – Захід

ККД – коефіцієнт корисної дії

КЛЛ – компактна люмінесцентна лампа

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

МП – металопластиковий;

М – металевий

ОП – опалювальний прилад

ОСВ - одиниця скорочення викидів

Пд – Південь

ПДВ - податок на додану вартість

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси

Пн – Північ

Сх – Схід

ТЕ – теплова енергія

α – коефіцієнт тепловіддачі;

δ – товщина;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

R – опір теплопередачі;

k – коефіцієнт теплопередачі;

F – площа;

Q – теплота.

ст – стіна;

в – вікно;

д –двері;

н – нормативний.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ.....	12
1.1 Загальні відомості об'єкту дослідження.....	12
1.2 Короткий опис інженерних мереж.....	17
1.3 Аналіз динаміки споживання паливно-енергетичних ресурсів приватного будинку за три роки.....	21
1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР.....	30
1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкту у сфері енергоефективності.....	42
Висновки до розділу 1.....	43
2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ	45
2.1. Схема електропостачання об'єкта та її аналіз.....	45
2.2 Основні споживачі електричної енергії.....	47
2.3 Енергетичний баланс електропостачання гуртожитку	48
2.4 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту у аналітичній формі.....	54
2.5 Розроблення типових заходів з енергоефективності для споживачів електричної енергії.....	57
Висновки до розділу 2.....	62
3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ	63
3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергетичної ефективності в будівлях.....	63
3.2 Визначення теплового навантаження будівлі.....	66
3.3 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій.....	85
Висновки до розділу 3.....	107
4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	109
4.1 Аналіз існуючого стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту на подібних об'єктах в Україні, в тому числі нормативно-правові вимоги	109

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

4.2 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів	111
4.3 Рекомендації щодо організаційно управлінських заході.....	114
Висновки до розділу 4.....	116
5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ’ЄКТІ.....	117
5.1 Оцінка кліматичних умов для використання ВДЕ.....	118
5.2 Аналіз рівня сонячного випромінювання для приватного житлового будинку в Донецькій області	121
5.3 Вибір та обґрунтування параметрів гібридної сонячної електростанції	125
5.4 Розрахунок прогнозованої генерації електроенергії сонячною електростанцією.....	129
5.5 Аналіз економічної доцільності та чутливості впровадження гібридної сонячної електростанції.....	132
Висновки до розділу 5.....	139
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ.....	141
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час експлуатації акумуляторної системи.....	141
6.2 Вимоги електробезпеки під час експлуатації акумуляторної системи ...	141
6.3 Оцінка пожежної та вибухопожежної безпеки приміщення встановлення акумуляторної системи.....	146
6.4 Вимоги до приміщення та систем вентиляції акумуляторної установки	146
6.5 Засоби індивідуального та колективного захисту під час обслуговування акумуляторної системи	147
6.6 Організаційні заходи безпеки та дії персоналу при аварійних ситуаціях	150
Висновки до розділу 6.....	152
ВИСНОВОК	156
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	157

ВСТУП

Рациональне використання енергетичних ресурсів є одним із ключових напрямів розвитку сучасної енергетики та важливою умовою забезпечення енергетичної безпеки держави. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв, необхідності скорочення викидів парникових газів та підвищення вимог до комфорту проживання населення особливої актуальності набувають питання підвищення енергоефективності житлових будівель. Ефективне використання теплової та електричної енергії дозволяє не лише зменшити експлуатаційні витрати, а й сприяє збереженню природних ресурсів та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

Одними з найбільш поширених об'єктів житлового фонду є приватні житлові будинки, які характеризуються індивідуальними умовами експлуатації, різноманітністю інженерних систем та значною часткою споживання енергетичних ресурсів. Рівень енергоефективності таких будівель значною мірою залежить від технічного стану огорожувальних конструкцій, ефективності систем опалення, гарячого водопостачання, освітлення та побутового обладнання. Недостатня теплова ізоляція, використання застарілого обладнання та нераціональне споживання енергії можуть призводити до значних енергетичних втрат і збільшення витрат на утримання будинку.

У зв'язку з цим виникає необхідність проведення комплексного аналізу енергоспоживання приватних житлових будинків, визначення основних джерел споживання та втрат теплової й електричної енергії, а також пошуку шляхів підвищення енергоефективності. Особливого значення набуває впровадження сучасних енергозберігаючих технологій і відновлюваних джерел енергії, які дозволяють зменшити залежність від традиційних енергоресурсів та підвищити економічну ефективність експлуатації будівель.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

У даній роботі проведено аналіз енергоспоживання приватного житлового будинку, досліджено особливості використання теплової та електричної енергії, визначено основні напрямки підвищення енергоефективності та розроблено комплекс технічних рішень щодо зменшення споживання енергетичних ресурсів. Запропоновані заходи спрямовані на скорочення енергетичних витрат, підвищення рівня комфорту проживання та покращення загальних показників енергоефективності будівлі.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ

1.1 Загальні відомості об'єкту дослідження

Об'єктом дослідження є приватний житловий будинок, розташований за адресою: Донецька область, Краматорський район, смт Олександрівка, вул. Космонавтів, 3. Будівля є одноповерховим індивідуальним житловим будинком садибного типу, побудованим у 1983 році. Зовнішній вигляд будинку та планувальні рішення наведені на рис.1.1 та 1.2.



Рисунок 1.1 – Приватний житловий будинок за адресою
вул.Космонавтів, 3

					ДП 2107.00.007							
Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	Загальний опис об'єкту	Літ			Аркуш		Аркушів	
Розроб.	Макарова Є.І								12		10	
Перевір.	Закладний О.О.											
Реценз.												
Н. Контр.	Прокопенко І.Д.											
Затвер.												

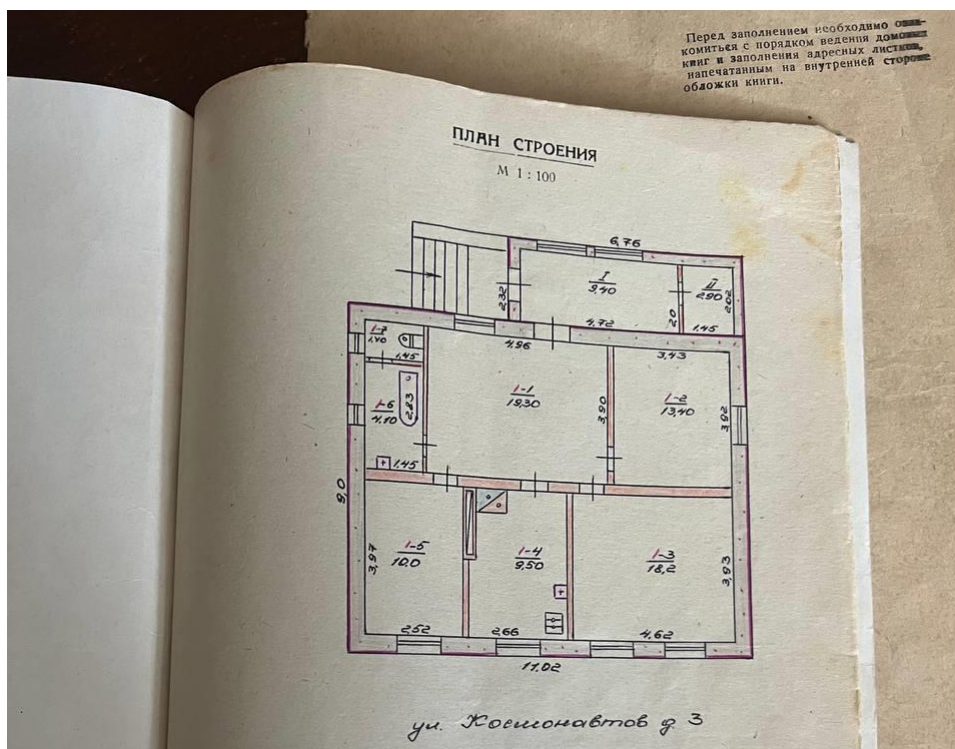


Рисунок 1.2 – План приватного житлового будинку

Будинок має компактну прямокутну форму з прибудованими допоміжними приміщеннями та верандою. Конструктивні рішення будівлі є типовими для приватної житлової забудови 1980-х років.

До складу будинку входять:

- чотири житлові кімнати;
- кухня;
- ванна кімната;
- санвузол;
- веранда;
- житлова прибудова.

Згідно з технічним паспортом загальна площа будинку становить 88,4 м², житлова площа — 61,1 м², площа допоміжних приміщень — 15,0 м². Площа веранди становить 9,4 м². Загальний будівельний об'єм будинку

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

складає близько 321–371 м³. Висота приміщень орієнтовно становить 2,7–2,8 м, що забезпечує задовільні умови проживання див рис.1.2.

Експлікація приміщень будинку:

- житлова кімната №1 — 19,5 м²;
- житлова кімната №2 — 13,6 м²;
- житлова кімната №3 — 18,0 м²;
- житлова кімната №4 — 10,0 м²;
- кухня — 9,4 м²;
- ванна кімната — 4,2 м²;
- санвузол — 1,4 м²;
- веранда — 9,4 м²;
- житлова прибудова — 2,9 м².

Форма № 6-а

На жилые дома, не имеющие встроенных помещений

Экспликация
внутренних площадей к плану жилого дома

литера А/ по улице (пер. площ.) Космонавтов № 5

1	2	3	4	5	6	7	8		9	10	11	12
							жилая	посл.обная				
1	1	Жилая			19,5	19,5	19,5					
	2	Жилая			13,6	13,6	13,6					
	3	Жилая			18,0	18,0	18,0					
	4	Кухня			9,4	9,4		9,4				
	5	Жилая			10,0	10,0	10,0					
	6	Ванная			4,2	4,2		4,2				
	7	Санузел			1,4	1,4		1,4				
	8	Веранда			9,4				9,4			
	9	Жилое пристр.			2,9					2,9		
				Итого:	88,4	76,1	61,1	18,0	13,3			

Рисунок 1.3 – Експлікація внутрішніх приміщень будинку

Будинок розташований на земельній ділянці площею 1140 м² див рис.1.4. На території ділянки також розміщені господарські споруди, дворові покриття та присадибна територія.

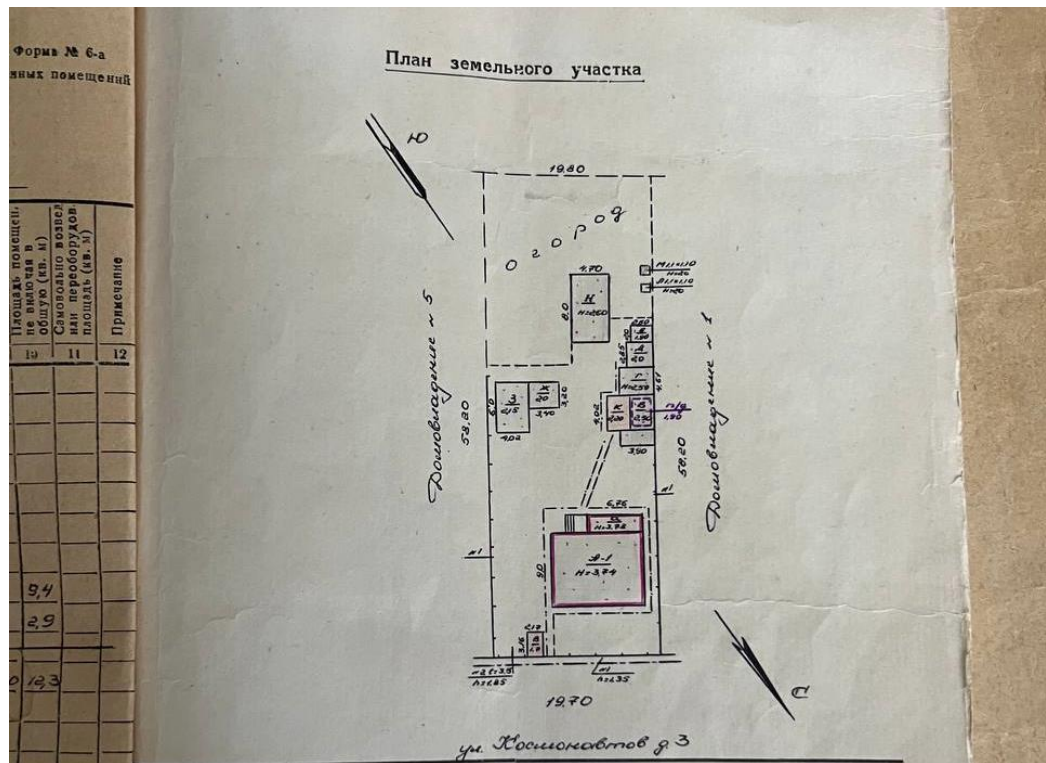


Рисунок 1.4 – План земельної ділянки

Орієнтація будівлі відносно сторін світу забезпечує природне освітлення житлових приміщень упродовж дня. Основний фасад будинку орієнтований у бік дороги, а житлові приміщення мають вікна з південної та східної сторін, що позитивно впливає на рівень природної інсоляції.

Розташований у Донецькій області приватний житловий будинок входить до I температурної зони України відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 [3]. Для даного району характерний помірно-континентальний клімат із холодними зимами, жарким літом та значними сезонними перепадами температур. Кліматичні умови регіону безпосередньо впливають на

тепловий режим будівлі, тривалість опалювального періоду та величину тепловтрат через зовнішні огорожувальні конструкції [2].

Основними кліматичними параметрами, які враховуються під час проведення енергетичного аналізу будівлі, є розрахункова температура зовнішнього повітря, середня температура за опалювальний період, тривалість опалювального періоду, а також середньомісячні температури зовнішнього повітря. Дані показники використовуються для оцінки теплотехнічних характеристик будівлі, визначення енергоспоживання та розробки заходів із підвищення енергоефективності.

Таблиця 1.1 – Кліматичні параметри регіону дослідження [19]

Фактична середня внутрішня температура за опалювальний період										20	°C
Розрахункова внутрішня температура за опалювальний період										20	
Розрахункова температура зовнішнього повітря										-22	
Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період										-0,5	
Тривалість опалювального періоду										176	дів
Переважаючий напрям вітру										Пн- Сх	-
Температурна зона регіону										I	
Середня місячна температура, °C											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-5,2	-4,4	0,7	9,4	15,4	19,0	21,2	19,8	14,9	8	1,8	-2,9

1.2 Короткий опис інженерних мереж

Особливості конструкції та зовнішнього оздоблення

Зовнішні стіни приватного житлового будинку виконані з цегляної кладки на цементно-піщаному розчині див рис.1.5. Орієнтовна товщина зовнішніх стін становить 510 мм. Додаткове утеплення фасаду відсутнє, що є характерним для житлових будинків 1980-х років. Зовнішні поверхні стін перебувають у задовільному технічному стані, значних тріщин або пошкоджень огорожувальних конструкцій не виявлено.

Покрівля будинку виконана із хвилястого азбестоцементного шиферу по дерев'яній кроквяній системі. Перекриття над житловими приміщеннями межує з неопалюваним горищем. Теплоізоляція горищного перекриття практично відсутня або виконана застарілими матеріалами з низькими теплоізоляційними характеристиками.

Світлопрозорі огорожувальні конструкції представлені металопластиковими вікнами з подвійним склінням. Частина вікон була замінена під час попередніх ремонтних робіт, однак загальний рівень теплозахисту будівлі залишається недостатнім.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд приватного житлового будинку

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Горище

Будівля має неопалюване горищне приміщення, яке використовується для розміщення елементів покрівельної конструкції та інженерних комунікацій рис.1.6. Перекриття виконане по дерев'яних балках із настилом та частковою засипкою утеплювальними матеріалами старого типу.

Через відсутність сучасної теплоізоляції горищне перекриття є одним із основних джерел тепловтрат у будинку під час опалювального періоду.



Рисунок 1.6 –Горище

Система опалення

Опалення будинку здійснюється за допомогою автономного твердопаливного котла, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 1.7 [20]. Як основне паливо використовуються дрова та тверде паливо побутового призначення. Система опалення водяна, з циркуляцією теплоносія через радіатори, встановлені у житлових приміщеннях будинку.

Існуюча система опалення має ряд недоліків:

- відсутність автоматичного регулювання температури;
- значна залежність ефективності роботи від ручного завантаження палива;
- відсутність погодного регулювання;
- нерівномірний розподіл тепла між окремими приміщеннями;

- підвищені тепловтрати через недостатню теплоізоляцію зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Використання твердопаливного котла потребує постійного контролю процесу горіння та регулярного обслуговування обладнання. Через відсутність сучасної автоматизації система працює з нижчим рівнем енергоефективності порівняно із сучасними конденсаційними або автоматизованими системами теплопостачання.



Рисунок 1.7 – Твердопаливний котел системи опалення житлового будинку

Електропостачання та освітлення

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Електропостачання будинку здійснюється від централізованої селищної електричної мережі. На зовнішній стіні будівлі встановлений електролічильник та вузол підключення до мережі, що наведено на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Вузол електропостачання житлового будинку

Система освітлення будинку є комбінованою та включає сучасні світлодіодні світильники, точкове LED-освітлення та декоративні люстри. Частина встановлених освітлювальних приладів показана на рис. 1.9–1.11.



Рисунок 1.9 – Світлодіодне освітлення житлових приміщень

Використання світлодіодних джерел світла дозволяє зменшити споживання електричної енергії порівняно з традиційними лампами

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

розжарювання. У житлових кімнатах також застосовані декоративні багаторівневі стелі, які наведені на рис. 1.10.



Рисунок 1.10 – Внутрішнє освітлення та декоративне оздоблення стелі



Рисунок 1.11 – Декоративне освітлення житлової кімнати

1.3 Аналіз динаміки споживання паливно-енергетичних ресурсів приватного будинку за три роки

Для забезпечення ефективного управління енергоспоживанням приватного житлового будинку необхідно здійснити аналіз динаміки використання основних паливно-енергетичних ресурсів протягом останніх

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

років. До основних енергоресурсів будинку належать електрична енергія, тепла енергія на опалення та холодне водопостачання, які забезпечують комфортні умови проживання мешканців.

Обсяги споживання енергоресурсів змінюються залежно від сезону, температури зовнішнього повітря, режиму експлуатації будівлі, кількості мешканців та використання побутового обладнання. Для аналізу використано дані споживання електричної енергії та водопостачання за 2023–2025 роки.

Річне споживання електричної енергії у 2023–2025 роках

Таблиця 1.2 – Динаміка зміни обсягів споживання електричної енергії

Місяць	Споживання ел.ен., кВт·год	Споживання ел.ен., кВт·год	Споживання ел.ен., кВт·год	Споживання ел.ен., кВт·год
	2023	2024	2025	Середнє за 2023–2025
Січень	720	740	760	663,33
Лютий	700	720	740	623,33
Березень	650	670	690	593,33
Квітень	600	620	640	530,00
Травень	580	600	620	500,00
Червень	620	640	660	580,00
Липень	680	700	720	710,00
Серпень	670	690	710	686,67
Вересень	600	620	640	556,67
Жовтень	640	660	680	600,00
Листопад	680	700	720	650,00
Грудень	730	750	770	740,00
Σ	7870	8110	8350	7433,33

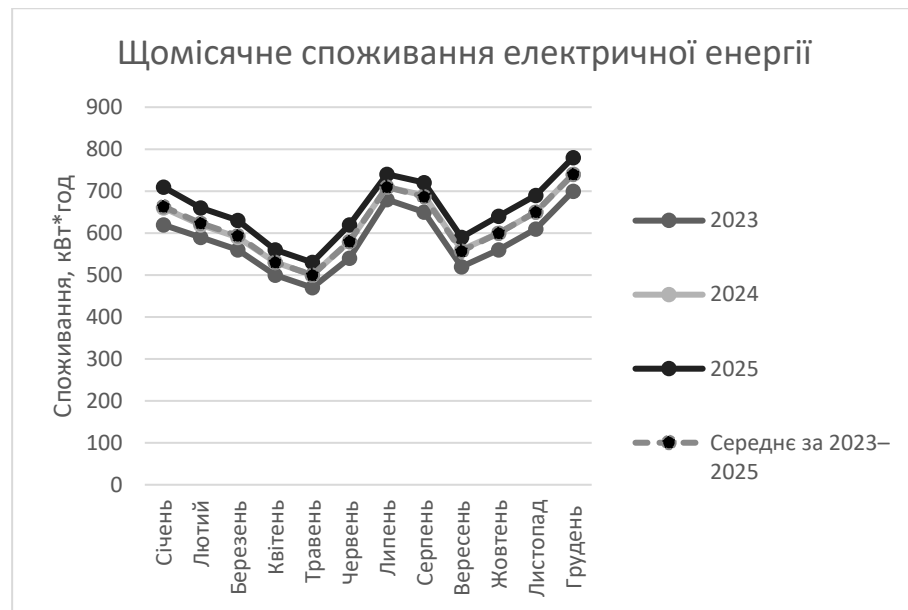


Рисунок 1.12 – Щомісячне споживання електричної енергії за 2023–2025 роки

Як видно з таблиці 1.2 та рис. 1.12, споживання електричної енергії є нерівномірним протягом року. Найбільше споживання спостерігається у зимовий період, зокрема у грудні та січні. Це пояснюється збільшенням тривалості роботи систем освітлення, використанням побутових електроприладів та роботою допоміжного обладнання системи опалення.

У літній період також спостерігається незначне збільшення електроспоживання, що пов'язано з використанням кондиціонера та вентиляційного обладнання. Найменше споживання електроенергії характерне для весняного та осіннього періодів, коли потреба у додатковому освітленні та кондиціонуванні є меншою.

Річне споживання електричної енергії поступово зростає: у 2023 році воно становило 7870 кВт·год, у 2024 році — 8110 кВт·год, а у 2025 році — 8350 кВт·год, що наведено на рис. 1.13. Це може бути пов'язано зі збільшенням кількості побутового обладнання та підвищенням рівня комфортності проживання.

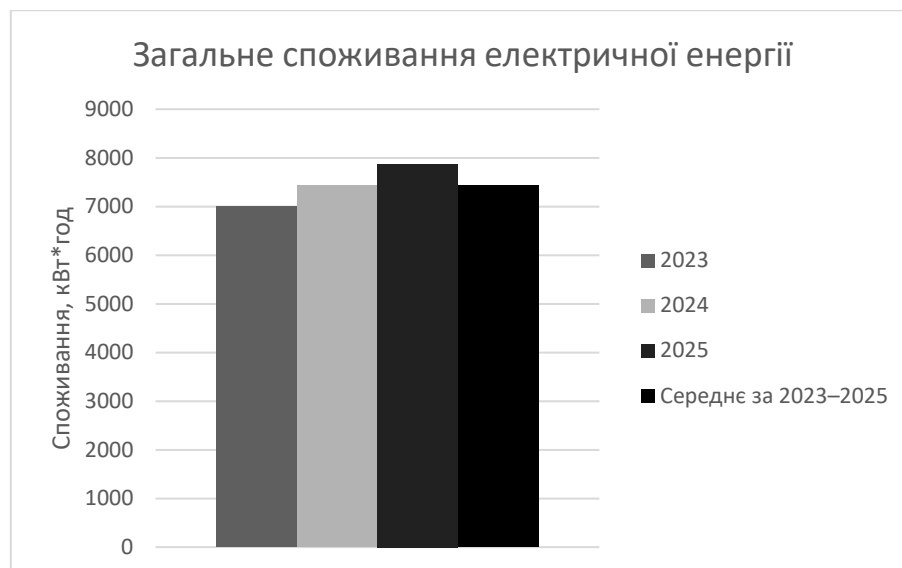


Рисунок 1.13 – Річне споживання електричної енергії за 2023–2025 роки

Річне споживання теплової енергії в 2023 – 2025 роках

Оскільки приватний житловий будинок обладнаний автономною системою опалення на базі твердопаливного котла та не має вузла комерційного обліку теплової енергії, фактичні показники споживання тепла лічильником не фіксуються. Тому в роботі тепла енергія розглядається як розрахункова потреба будинку на опалення, визначена на основі теплового навантаження будівлі, тривалості опалювального періоду та режиму експлуатації системи опалення.

Таблиця 1.3 – Річне споживання теплової енергії (автономне опалення)

Місяць	Споживання					
	кВт·год (2023)	Гкал (2023)	кВт·год (2024)	Гкал (2024)	кВт·год (2025)	Гкал (2025)
1	2	3	4	5	6	7
Січень	4100	3,53	4350	3,74	4580	3,94
Лютий	3900	3,35	4100	3,53	4320	3,72
Березень	3000	2,58	3250	2,79	3470	2,98
1	2	3	4	5	6	7
Квітень	1800	1,55	1950	1,68	2100	1,81
Травень	500	0,43	550	0,47	600	0,52
Червень	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Липень	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Серпень	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Вересень	450	0,39	520	0,45	580	0,50
Жовтень	2100	1,81	2350	2,02	2520	2,17
Листопад	3400	2,92	3650	3,14	3890	3,35
Грудень	4300	3,70	4550	3,91	4790	4,12
Всього	23550	20,26	25270	21,73	26850	23,10

Наведені значення не є показаннями теплового лічильника, а використовуються для подальшої оцінки тепловтрат будівлі, порівняння варіантів енергоефективних заходів та визначення орієнтовної економії теплової енергії.

Результати аналізу річного споживання теплової енергії приватного житлового будинку наведено у таблиці 1.3. Основним джерелом теплопостачання будівлі є автономна система опалення на базі твердопаливного котла, зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 1.8. Опалення використовується переважно в осінньо-зимовий період, що безпосередньо впливає на сезонний характер енергоспоживання.

Найбільші обсяги споживання теплової енергії спостерігаються у грудні, як видно з рис. 1.14, січні та лютому, що пов’язано зі зниженням температури зовнішнього повітря та необхідністю підтримання комфортного температурного режиму в приміщеннях. Зокрема, у січні 2025 року споживання становило 4580 кВт·год або 3,94 Гкал. Мінімальне споживання зафіксоване у травні та вересні, коли система опалення використовується лише частково.

У літній період система опалення не функціонує, тому споживання теплової енергії дорівнює нулю. Такий режим роботи є типовим для приватних житлових будинків з автономним твердопаливним опаленням.



Рисунок 1.14 – Щомісячне споживання теплової енергії за 2023–2025 роки

Аналіз динаміки споживання , наведеної на рис. 1.15, показує поступове збільшення використання теплової енергії у 2024–2025 роках. Це може бути пов’язано зі зміною тривалості опалювального сезону, температурними

умовами та збільшенням потреб у тепловому комфорті мешканців. Водночас будинок не має зовнішнього утеплення стін та сучасної автоматизованої системи регулювання тепlopостачання, що призводить до додаткових тепловтрат через огорожувальні конструкції.

Вартість споживання теплової енергії розрахована за умовним тарифом 1654,41 грн/Гкал. Загальні витрати на тепlopостачання у 2025 році склали 38204,5 грн, що є найбільшим показником за досліджуваний період. Це свідчить про необхідність впровадження заходів з підвищення енергоефективності будівлі, зокрема утеплення зовнішніх стін, модернізації покрівлі та встановлення систем автоматичного регулювання температури.

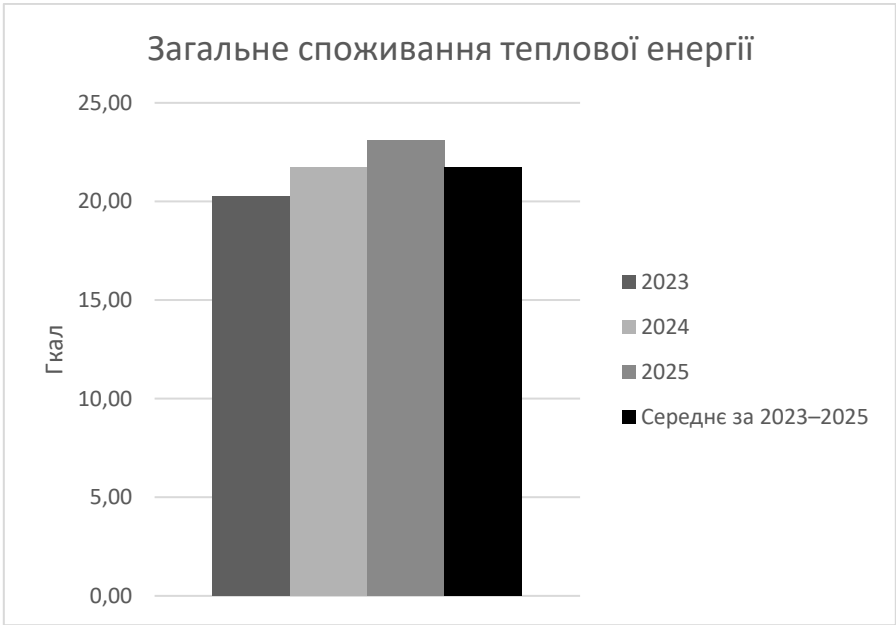


Рисунок 1.15 – Річне споживання теплової енергії за 2023–2025 роки

Річне споживання води в 2023–2025 роках

Таблиця 1.4 – Динаміка зміни обсягів споживання холодного водопостачання

Місяць	Споживання води, м³	Споживання води, м³	Споживання води, м³	Середнє за 2023–2025
	2023	2024	2025	
Січень	13	13,5	14	13,5
Лютий	12	12,5	13	12,5
Березень	13	13,5	14	13,5
Квітень	14	14,5	15	14,5
Травень	14	14,5	15	14,5
Червень	13	13,5	14	13,5
Липень	14	14,5	15	14,5
Серпень	14	14,5	15	14,5
Вересень	12	12,5	13	12,5
Жовтень	13	13,5	14	13,5
Листопад	12	12,5	13	12,5
Грудень	12	12,5	13	12,5
Σ	156	162	168	162

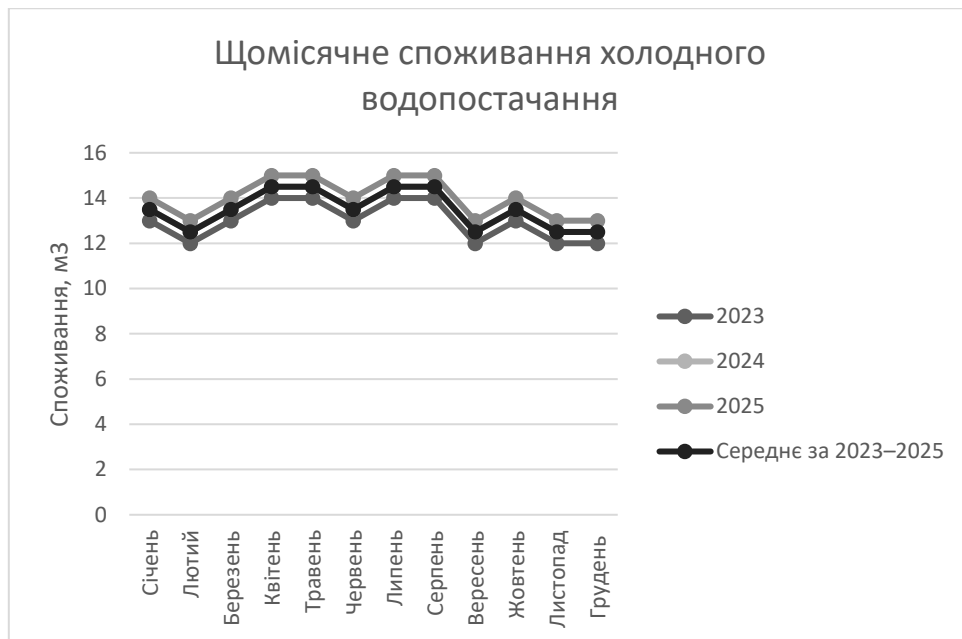


Рисунок 1.16 – Щомісячне споживання води за 2023–2025 роки

Таблиця 1.4 показує відносно стабільний характер щомісячного споживання холодної води у приватному житловому будинку протягом 2023–2025 років. Основними споживачами води є побутові потреби мешканців: приготування їжі, санітарно-гігієнічні процедури, прання та господарські роботи.

Як видно з рис. 1.16, найбільше споживання води спостерігається у весняно-літній період, зокрема у квітні, травні, липні та серпні. Це пов'язано зі збільшенням побутового використання води, підвищенням температури зовнішнього повітря та сезонними господарськими потребами.

У зимовий період обсяги водоспоживання дещо зменшуються. Найнижчі показники характерні для лютого, листопада та грудня, коли середній обсяг споживання становить близько 12–13 м³ на місяць.

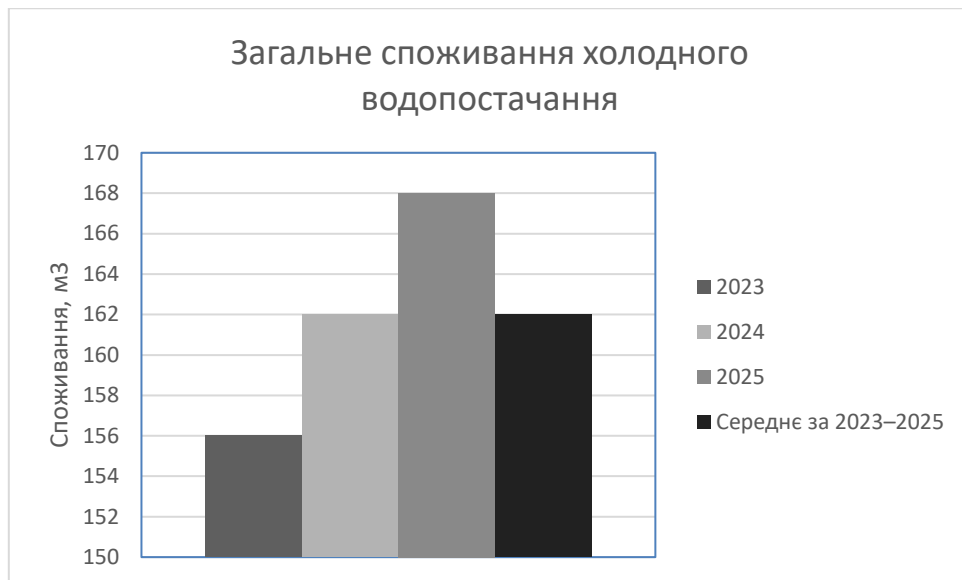


Рисунок 1.17 – Річне споживання води за 2023–2025 роки

Загальний річний обсяг водоспоживання, представлений на рис. 1.17, демонструє поступове зростання протягом досліджуваного періоду. У 2023 році споживання становило 156 м³, у 2024 році — 162 м³, а у 2025 році — 168 м³. Зростання водоспоживання пояснюється підвищенням рівня комфорту проживання, використанням сучасної побутової техніки та збільшенням побутових потреб мешканців будинку.

1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР

Оцінка енергетичних витрат приватного житлового будинку передбачає аналіз тарифів на основні енергоносії, які використовуються для забезпечення комфортних умов проживання мешканців. Основними видами енергоресурсів у будинку є електрична енергія, теплова енергія для автономного опалення та холодне водопостачання.

Вартість спожитих ресурсів безпосередньо залежить від обсягів споживання, сезонних факторів та діючих тарифів для населення. Аналіз тарифної політики дозволяє оцінити структуру витрат на енергоресурси та визначити найбільш витратні напрямки споживання.

Тарифи на електроенергію

Протягом 2023–2025 років для населення України діяли тарифи на електричну енергію, встановлені відповідно до чинного законодавства та постанов НКРЕКП . Вартість споживання електроенергії для приватного житлового будинку наведена у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Тарифи на електроенергію та вартість споживання

Місяць	Тариф на спожиту е/е за 2023 рік			Тариф на спожиту е/е за 2024 рік			Тариф на спожиту е/е за 2025 рік		
	без ПДВ	з ПДВ	Вартість споживання ел.ен, тис.грн	без ПДВ	з ПДВ	Вартість споживання ел.ен, тис.грн	без ПДВ	з ПДВ	Вартість споживання ел.ен, тис.грн
січень	1,4	2,64	1636,8	2,2	2,64	1742,4	3,6	4,32	3067,2
лютий	1,4	2,64	1557,6	2,2	2,64	1636,8	3,6	4,32	2851,2
березень	1,4	2,64	1478,4	2,2	2,64	1557,6	3,6	4,32	2721,6
квітень	1,4	2,64	1320	2,2	2,64	1399,2	3,6	4,32	2419,2
травень	1,4	2,64	1240,8	2,2	2,64	1320	3,6	4,32	2289,6
червень	1,9	2,64	1425,6	3,6	4,32	2505,6	3,6	4,32	2678,4
липень	2,2	2,64	1795,2	3,6	4,32	3067,2	3,6	4,32	3196,8
серпень	2,2	2,64	1716	3,6	4,32	2980,8	3,6	4,32	3110,4
вересень	2,2	2,64	1372,8	3,6	4,32	2419,2	3,6	4,32	2548,8
жовтень	2,2	2,64	1478,4	3,6	4,32	2592	3,6	4,32	2764,8
листопад	2,2	2,64	1610,4	3,6	4,32	2808	3,6	4,32	2980,8
грудень	2,2	2,64	1848	3,6	4,32	3196,8	3,6	4,32	3369,6
Σ			18480			27225,6			33998,4

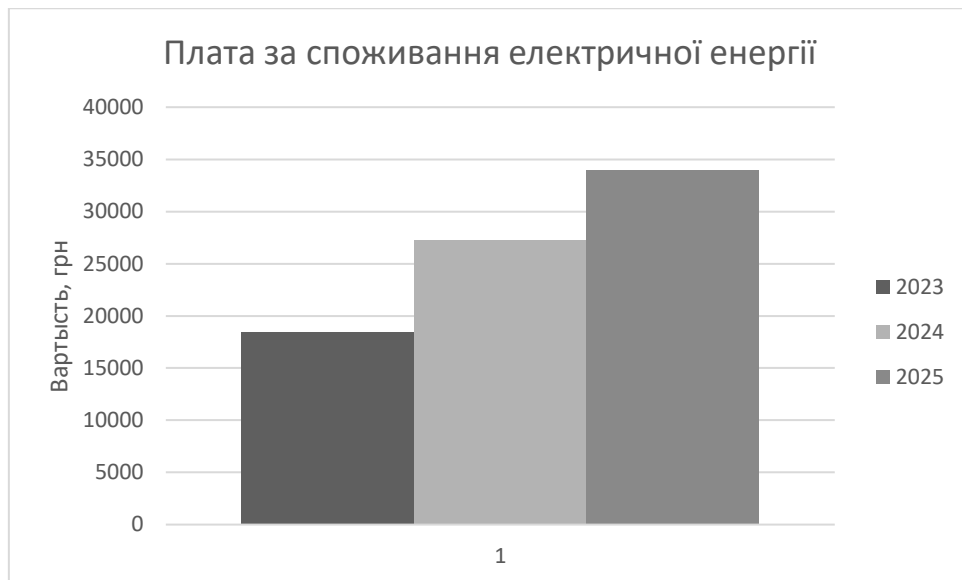


Рисунок 1.18 – Плата за річне споживання електроенергії за 2023–2025 роки

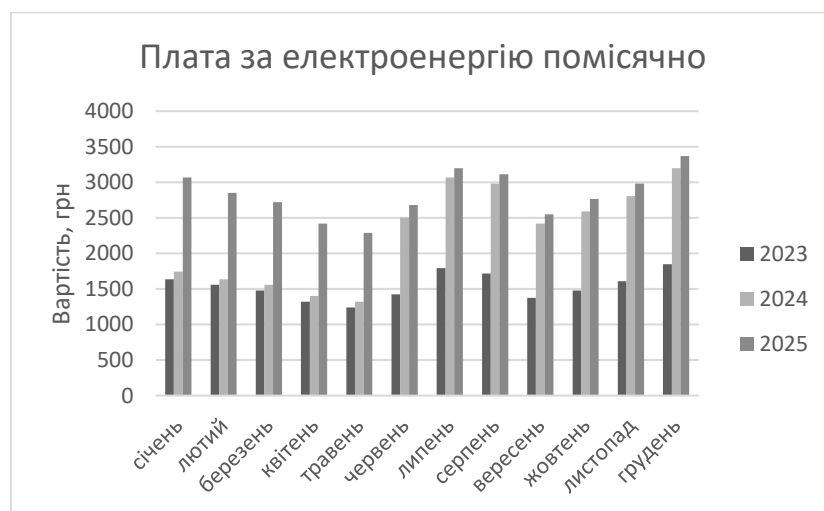


Рисунок 1.19 – Помісячна плата за електроенергію у 2023–2025 роках

Аналіз вартості електроенергії, наведеної на рис. 1.18 та рис. 1.19, показує поступове збільшення витрат на електропостачання будинку протягом досліджуваного періоду. Найбільші витрати спостерігаються у зимові місяці та в літній період підвищених температур.

Збільшення споживання електроенергії у літній період пов'язане з використанням кондиціонера, а взимку — з роботою систем освітлення, циркуляційного насоса системи опалення та побутового електрообладнання.

Електроенергія використовується не лише для освітлення приміщень, а й для роботи побутової техніки, кухонного обладнання, систем вентиляції та забезпечення комфортних умов проживання мешканців будинку. Саме тому витрати на електроенергію є важливою складовою загальних енергетичних витрат приватного житлового будинку.

Тарифи на теплову енергію

Для опалення приватного житлового будинку використовується автономна система теплопостачання на базі твердопаливного котла. Для оцінки вартості теплової енергії у розрахунках використано умовний тариф 1654,41 грн/Гкал, що дозволяє провести порівняльний аналіз витрат на теплопостачання протягом 2023–2025 років.

Вартість споживання теплової енергії наведена у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Тарифи на теплову енергію

Місяць	Тариф, грн/Гкал	Вартість споживання теп.ен., грн (2023)	Тариф, грн/Гкал	Вартість споживання теп.ен., грн (2024)	Тариф, грн/Гкал	Вартість споживання теп.ен., грн (2025)
1	2	3	4	5	6	7
	2023		2024		2025	
Січень	1654,4	5840,0	1654,4	6187,5	1654,4	6518,0
Лютий	1654,4	5542,5	1654,4	5840,0	1654,4	6153,0
Березень	1654,4	4268,0	1654,4	4615,5	1654,4	4928,5

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6	7
Травень	1654,4	712,0	1654,4	783,0	1654,4	854,0
Червень	1654,4	0,0	1654,4	0,0	1654,4	0,0
Липень	1654,4	0,0	1654,4	0,0	1654,4	0,0
Серпень	1654,4	0,0	1654,4	0,0	1654,4	0,0
Вересень	1654,4	641,0	1654,4	740,0	1654,4	825,0
Жовтень	1654,4	2991,0	1654,4	3347,5	1654,4	3590,0
Листопад	1654,4	4830,0	1654,4	5190,0	1654,4	5530,0
Грудень	1654,4	6117,0	1654,4	6473,5	1654,4	6815,0
Σ		33504,5		35954,5		38204,5

Зважаючи на запроваджений в Україні мораторій на підвищення тарифів на теплову енергію для населення в умовах воєнного стану, фактичні тарифи наразі не відображають повною мірою реальної вартості виробництва, транспортування та постачання теплової енергії. Водночас економічно обґрунтований тариф, який враховує ринкову вартість енергоресурсів, експлуатаційні витрати, витрати на ремонт і модернізацію обладнання, є суттєво вищим за діючий тариф для населення.



Рисунок 1.20 – Плата за річне споживання теплової енергії за 2023–2025 роки

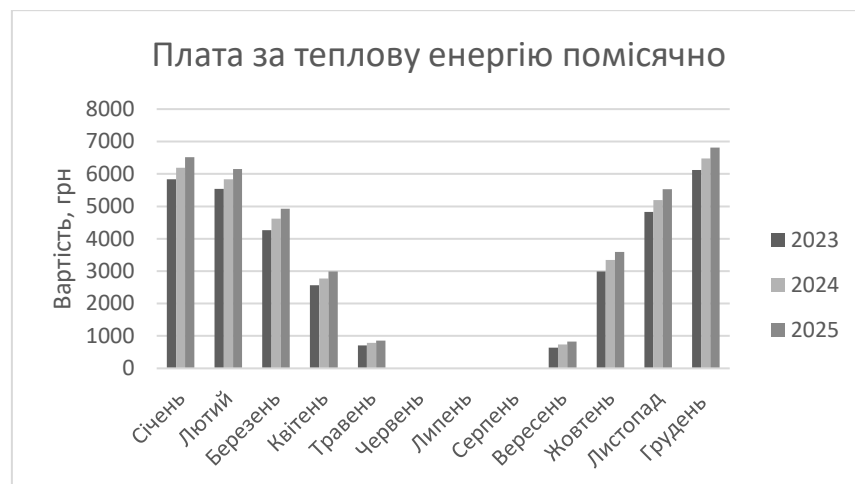


Рисунок 1.21 – Помісячна плата за теплову енергію у 2023–2025 роках

Оскільки основна частина теплової енергії використовується для опалення житлових приміщень, ефективність використання теплової енергії має критично важливе значення для зниження експлуатаційних витрат будинку.

Найбільші витрати на теплопостачання спостерігаються у зимовий період — грудні, січні та лютому, коли зовнішня температура повітря є найнижчою, а система опалення працює з максимальним навантаженням. У

літній період система автономного опалення не експлуатується, тому витрати на теплову енергію відсутні.

Аналіз даних, наведених на рис. 1.20 та рис. 1.21, показує поступове збільшення витрат на теплопостачання протягом 2023–2025 років. Це пов'язано зі збільшенням споживання теплової енергії та сезонними коливаннями температур зовнішнього повітря.

Тарифи на воду

Для забезпечення побутових потреб приватного житлового будинку використовується централізоване холодне водопостачання. Вартість послуг водопостачання для населення визначається відповідно до діючих тарифів комунальних підприємств.

Тарифи на водопостачання та вартість споживання води протягом 2023–2025 років наведені у таблиці 1.7.

Аналіз витрат на водопостачання показує відносно стабільний характер споживання води протягом року. Незначне збільшення витрат у весняно-літній період пояснюється підвищенням побутового використання води та сезонними господарськими потребами.

Найбільші витрати на водопостачання спостерігаються у квітні, травні, липні та серпні, коли середній обсяг водоспоживання є максимальним. У зимовий період витрати дещо зменшуються через зниження інтенсивності використання води.

Таблиця 1.7 – Тарифи на воду

Місяць	Тариф на спожиту воду	Вартість споживання води тис.грн	Тариф на спожиту воду	Вартість споживання води тис.грн	Тариф на спожиту воду	Вартість споживання води тис.грн
	2023		2024		2025	
Січень	33,456	434,928	33,456	451,656	33,456	468,384
Лютий	33,456	401,472	33,456	418,2	33,456	434,928
Березень	33,456	434,928	33,456	451,656	33,456	468,384
Квітень	33,456	468,384	33,456	485,112	33,456	501,84
Травень	33,456	468,384	33,456	485,112	33,456	501,84
Червень	33,456	434,928	33,456	451,656	33,456	468,384
Липень	33,456	468,384	33,456	485,112	33,456	501,84
Серпень	33,456	468,384	33,456	485,112	33,456	501,84
Вересень	33,456	401,472	33,456	418,2	33,456	434,928
Жовтень	33,456	434,928	33,456	451,656	33,456	468,384
Листопад	33,456	401,472	33,456	418,2	33,456	434,928
Грудень	33,456	401,472	33,456	418,2	33,456	434,928
Σ		5219,136		5419,872		5620,61

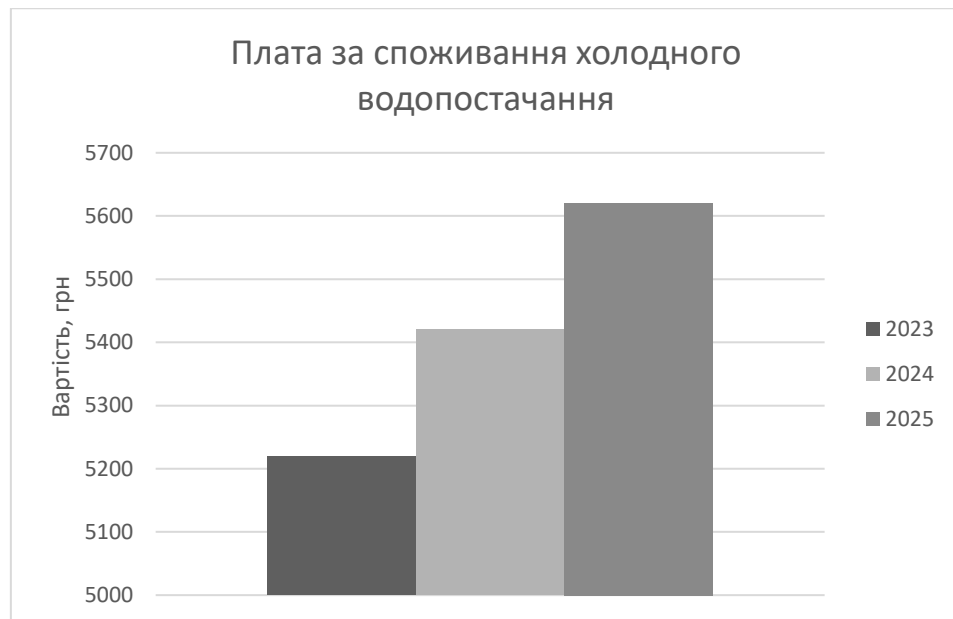


Рисунок 1.22 – Плата за річне споживання води за 2023–2025 роки

Як видно з рис. 1.22, річна вартість споживання води поступово збільшується: у 2023 році вона становила 4739,9 грн, у 2024 році — 4922,2 грн, а у 2025 році — 5104,5 грн. Основними причинами збільшення витрат є зростання обсягів водоспоживання та підвищення рівня комфортності проживання.

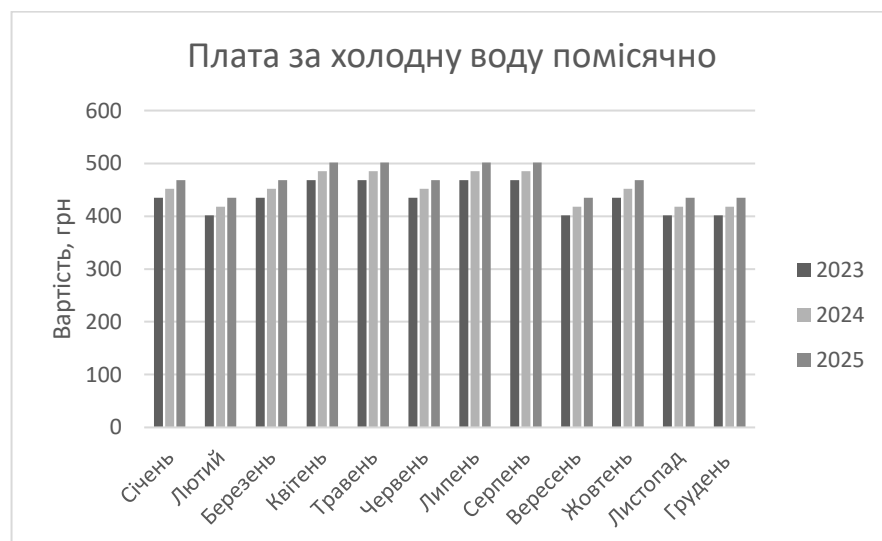


Рисунок 1.23 – Помісячна плата за холодне водопостачання у 2023–2025 роках

З рис. 1.23 видно, що помісячні витрати на холодне водопостачання змінюються залежно від обсягів споживання води протягом року.

Оптимізація водоспоживання, встановлення водозберігаючих пристроїв та своєчасне усунення можливих витоків води дозволять зменшити витрати на водопостачання та підвищити загальну енергоефективність будинку.

Профіль використання енергії

Для аналізу енергетичного балансу приватного житлового будинку було проведено оцінку споживання енергоресурсів та фінансових витрат протягом 2023–2025 років. Основними енергоресурсами будинку є електрична енергія, теплова енергія для автономного опалення та холодне водопостачання.

Електрична енергія використовується для освітлення приміщень, роботи побутових електроприладів, кондиціонера, кухонного обладнання та допоміжного обладнання системи опалення. Теплова енергія використовується для забезпечення комфортного температурного режиму у будинку в опалювальний період. Холодна вода використовується для побутових та санітарно-гігієнічних потреб мешканців.

Таблиця 1.8 – Структура споживання і оплати енергоносіїв

2023 рік

Енергоресурс	Електроенергія	Холодна вода	Теплова енергія
Одиниці вимірювання	кВт·год	м³	кВт·год
Обсяг споживання	8450	156	23550
Частка, %	26,4	-	73,6
Вартість за рік, грн	30242,4	5219,136	33504,5
Частка вартості, %	44,1	6,9	49,0

2024 рік

Енергоресурс	Електроенергія	Холодна вода	Теплова енергія
Одиниці вимірювання	кВт·год	м³	кВт·год
Обсяг споживання	8900	162	25270
Частка, %	26,0	-	74,0
Вартість за рік, грн	32098,4	5419,872	35954,5
Частка вартості, %	43,9	6,7	49,4

2025 рік

Енергоресурс	Електроенергія	Холодна вода	Теплова енергія
Одиниці вимірювання	кВт·год	м³	кВт·год
Обсяг споживання	9350	168	26850
Частка, %	25,8	-	74,2
Вартість за рік, грн	33998,4	5620,608	38204,5
Частка вартості, %	44,0	6,6	49,4

Таблиця 1.8 показує структуру споживання енергоресурсів приватного житлового будинку та частку кожного виду енергії у загальному обсязі споживання і фінансових витрат.



Рисунок 1.23 – Структура споживання енергоносіїв у 2023 році



Рисунок 1.24 – Структура споживання енергоносіїв у 2024 році



Рисунок 1.25 – Структура витрат на енергоносії у 2025 році

Аналіз структури споживання енергоносіїв , наведеної на рис. 1.23–1.25, показує, що найбільшу частку у загальному енергоспоживанні займає теплова енергія. Це пояснюється значними витратами енергії на опалення будинку в осінньо-зимовий період через відсутність зовнішнього утеплення стін та недостатню теплоізоляцію покрівлі.

Частка електричної енергії також є суттєвою, оскільки електроенергія використовується для освітлення, роботи побутової техніки, кондиціонування повітря та забезпечення роботи допоміжного обладнання системи опалення.

Витрати на холодне водопостачання займають найменшу частку у загальній структурі витрат, однак їх обсяг поступово зростає протягом досліджуваного періоду.

Отримані результати свідчать про необхідність впровадження заходів з підвищення енергоефективності будинку, насамперед:

- утеплення зовнішніх стін;
- утеплення горищного перекриття;
- модернізації системи опалення;
- автоматизації регулювання температури;

оптимізації споживання електроенергії.

1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкту у сфері енергоефективності

Згідно з результатами проведеного обстеження та опитування власників будинку встановлено, що комплексна термомодернізація будівлі раніше не проводилася. Однак протягом останніх років були реалізовані окремі локальні заходи, спрямовані на підвищення рівня енергоефективності будинку.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Зокрема, у будинку було виконано заміну старих дерев'яних вікон на сучасні металопластикові конструкції з покращеними теплоізоляційними характеристиками. Це дозволило частково зменшити тепловтрати через світлопрозорі огорожувальні конструкції та покращити комфортні умови проживання.

Крім того, частково модернізовано систему освітлення. У житлових приміщеннях встановлено світлодіодні лампи та LED-світильники, що дозволило знизити споживання електричної енергії порівняно з використанням традиційних ламп розжарювання.

Незважаючи на виконані локальні заходи, значна частина конструктивних елементів будівлі не відповідає сучасним вимогам енергоефективності. Зовнішні стіни будинку не мають додаткового утеплення, а горищне перекриття характеризується недостатнім рівнем теплоізоляції. Автономна система опалення працює без автоматичного регулювання температури та погодної компенсації.

Також у будинку відсутня сучасна система моніторингу енергоспоживання та автоматизованого обліку ресурсів. Контроль споживання електроенергії, води та теплової енергії здійснюється за допомогою стандартних побутових приладів обліку.

Таким чином, будинок має значний потенціал для впровадження комплексних енергоефективних заходів, які дозволять знизити тепловтрати, скоротити витрати на енергоресурси та покращити комфортність проживання мешканців.

Висновки до розділу 1.

У першому розділі було проведено аналіз технічного стану приватного житлового будинку та досліджено особливості його енергоспоживання. Під час аналізу було встановлено, що будівля має недостатній рівень

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

енергоефективності, що характерно для житлових будинків старої забудови.

Було проаналізовано конструктивні характеристики будинку, інженерні мережі, систему опалення, електропостачання та водопостачання. Встановлено, що основними причинами підвищених енергетичних витрат є відсутність зовнішнього утеплення стін, недостатня теплоізоляція покрівлі та відсутність автоматичного регулювання системи опалення.

Також у роботі було виконано аналіз споживання електроенергії, теплової енергії та води за 2023–2025 роки. За результатами дослідження встановлено, що найбільшу частку в загальному енергоспоживанні займає тепла енергія, оскільки значні витрати припадають саме на опалення будинку в холодний період року. Крім того, спостерігається поступове збільшення споживання електроенергії, що пов'язано з використанням побутової техніки та кондиціонування повітря.

Проведений аналіз показав, що будинок має значний потенціал для впровадження енергоефективних заходів. Основними напрямками підвищення енергоефективності є утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій, модернізація системи опалення та зменшення тепловтрат будівлі.

Отже, впровадження комплексу заходів з термомодернізації дозволить знизити витрати на енергоресурси, покращити умови проживання мешканців та підвищити загальну енергоефективність будинку.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

2.1. Схема електропостачання об'єкта та її аналіз

Система електропостачання приватного житлового будинку є складовою інженерного забезпечення об'єкта та призначена для безперебійного постачання електричної енергії побутовим, освітлювальним та допоміжним електроспоживачам. Від надійності роботи системи електропостачання залежить комфорт проживання мешканців, функціонування побутового обладнання, систем водопостачання та освітлення.

Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), приватний житловий будинок належить до споживачів III категорії надійності електропостачання, оскільки перерва в електропостачанні не призводить до виникнення загрози життю людей, значних матеріальних збитків або порушення складних технологічних процесів [4].

Система електропостачання будинку складається з ввідного пристрою, внутрішньої розподільчої мережі, групових щитків, системи освітлення та силових електроприймачів. До основних електроспоживачів належать електроплита, пральна машина, холодильник, комп'ютерна техніка, насосне обладнання для водопостачання, електрочайник та освітлювальні прилади.

Електропостачання будинку здійснюється від розподільчої мережі населеного пункту через трансформаторну підстанцію напругою 10/0,4 кВ. Електрична енергія надходить до ввідно-розподільчого пристрою будинку, після чого розподіляється між окремими групами споживачів через автоматичні вимикачі та внутрішню мережу електропостачання.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ		
Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Макарова Є.І			АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ	Літ	Аркуш
Перевір.		Закладний О.О.					Аркушів
Реценз.							45
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.				НН ІЕЕ, кафелра ЕП	
Затвер.							

Для електропостачання об'єкта використовується комплектна трансформаторна підстанція з такими паспортними характеристиками:

- номінальна потужність трансформатора – $S_n = 400$ кВА;
- номінальна напруга високої сторони – $U_{n1} = 10$ кВ;
- номінальна напруга низької сторони – $U_{n2} = 0,4$ кВ;
- втрати холостого ходу – $P_{х.х.} = 0,83$ кВт;
- втрати короткого замикання – $P_{к.з.} = 5,5$ кВт.

Схема електропостачання будинку є радіальною та передбачає живлення всіх споживачів від одного вводу. Така схема є найбільш поширеною для приватних житлових будинків завдяки простоті експлуатації, невисокій вартості реалізації та достатньому рівню надійності для об'єктів III категорії електропостачання.

На рис. 2.1 наведено однолінійну схему електропостачання приватного житлового будинку.

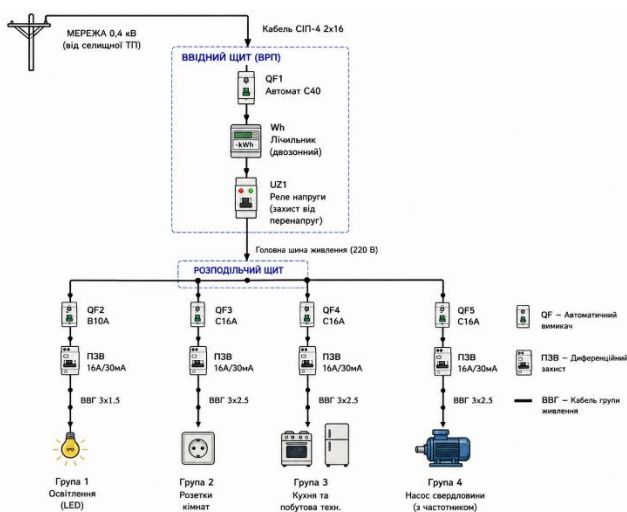


Рисунок 2.1 – Однолінійна схема електропостачання приватного житлового будинку

Проведений аналіз системи електропостачання показав, що існуюча схема забезпечує нормальну роботу всіх електроспоживачів будинку. Водночас значну частку електроспоживання формують побутові електроприлади та насосне обладнання, що обумовлює доцільність

подальшого аналізу структури електроспоживання та розроблення заходів з підвищення енергоефективності об'єкта.

2.2 Основні споживачі електричної енергії

Електрична енергія в приватному житловому будинку використовується для забезпечення побутових потреб мешканців, роботи систем освітлення та допоміжного інженерного обладнання. Основними споживачами електричної енергії є побутові електроприлади, комп'ютерна техніка, насосне обладнання та освітлювальні прилади.

Для проведення аналізу електроспоживання було визначено перелік основних електроприймачів, які експлуатуються в будинку. До складу електричного обладнання входять електроплита, пральна машина, холодильник, електрочайник, комп'ютерна техніка, насос системи водопостачання та система освітлення. Технічні характеристики обладнання наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік основного електричного обладнання

№	Найменування обладнання	Потужність, кВт	Кількість, шт.
1	Електроплита	7,0	1
2	Пральна машина	2,0	1
3	Холодильник	0,3	1
4	Комп'ютер / ноутбук	0,45	3
5	Насос системи водопостачання	1,0	1
6	Електрочайник	2,0	1
7	Освітлення	0,2	18

Як видно з таблиці 2.1, найбільшу встановлену потужність серед електроспоживачів має електроплита потужністю 7,0 кВт, яка використовується для приготування їжі. Значну частку електроспоживання також формують пральна машина та електрочайник потужністю по 2,0 кВт кожний.

До категорії побутового обладнання належать електроплита, пральна машина, холодильник та електрочайник. Ці електроприймачі забезпечують повсякденні потреби мешканців будинку та характеризуються нерівномірним режимом роботи протягом доби.

Окрему групу споживачів складає комп'ютерна техніка, яка використовується для роботи, навчання та доступу до мережі Інтернет. У будинку експлуатується три комп'ютери (ноутбуки) загальною встановленою потужністю 1,35 кВт.

Для забезпечення водопостачання використовується насос потужністю 1,0 кВт, який працює періодично залежно від потреб мешканців та режиму водоспоживання.

Система освітлення будинку представлена вісімнадцятьма світильниками сумарною встановленою потужністю 3,6 кВт. Освітлювальні прилади забезпечують необхідний рівень освітленості житлових та допоміжних приміщень відповідно до чинних нормативних вимог [8].

Проведений аналіз показує, що найбільший вплив на загальне споживання електричної енергії мають електроплита, насосне обладнання та система освітлення. Саме ці групи споживачів є найбільш перспективними з точки зору впровадження енергоефективних заходів та зменшення витрат електричної енергії.

2.3 Енергетичний баланс електропостачання гуртожитку

Визначення розрахункових електричних навантажень приватного житлового будинку виконано відповідно до методу упорядкованих діаграм показників графіків навантаження [5]. Цей підхід є базовим під час проєктування та аудиту систем електропостачання об'єктів цивільного та житлового сектору, оскільки дозволяє врахувати нерівномірність увімкнення електроприймачів (ЕП). Для систематизації аналізу все наявне електрообладнання будівлі диференційовано за чотирма функціональними

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

групами: побутова техніка, офісне устаткування, інженерно-технічні установки (водозабірний вузол) та внутрішні й зовнішні системи освітлення.

Розрахунок сумарної номінальної потужності для кожної групи однотипних електроприймачів здійснюється за залежністю:

$$P_{H,j} = p_{ni} \cdot n_i, \quad (2.1)$$

де p_{ni} — номінальна активна потужність одиничного електроприймача, кВт;

n_i — кількість електроприймачів у досліджуваній групі, шт.

Для групи комп'ютерної та офісної техніки, на основі вихідних параметрів об'єкта, значення становить:

$$P_{H.офіс} = 0,45 \cdot 3 = 1,35 \text{ кВт}$$

Загальна встановлена потужність усіх зафіксованих споживачів житлового будинку визначається як сума номінальних потужностей окремих груп:

$$P_H = 7,0 + 2,0 + 0,3 + 1,35 + 1,0 + 2,0 + 0,2 = 15,85 \text{ кВт}$$

З урахуванням дрібних побутових споживачів нерегулярного використання, сумарне інтегральне значення встановленої потужності об'єкта приймається на рівні $P_{вст} = 16,1 \text{ кВт}$.

Проміжна активна потужність окремих технологічних груп визначається з урахуванням індивідуальних коефіцієнтів використання (K_v), які відображають середню долю завантаження обладнання протягом робочого циклу:

$$P_{pi} = P_H \sum_i \cdot K_{vi}, \quad (2.2)$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

На основі інтеграції вихідних даних отримано такі значення проміжних активних потужностей:

- побутова техніка: $R_{п.побут} = 12,1 \cdot 0,45 = 5,45$ кВт;
- офісне устаткування: $R_{п.офіс} = 1,35 \cdot 0,60 = 0,81$ кВт;
- інженерно-технічні установки: $R_{п.насос} = 1,0 \cdot 0,75 = 0,75$ кВт;
- освітлювальне навантаження: $R_{п.осв} = 0,18 \cdot 1,0 = 0,18$ кВт.

Проміжна сумарна активна потужність усього об'єкта дослідження становить:

$$R_{п} = 5,45 + 0,81 + 0,75 + 0,18 = 7,19 \text{ кВт}$$

Величина проміжної реактивної потужності для кожної виділеної групи визначається через відповідний коефіцієнт реактивної потужності ($\text{tg}\varphi$), що характеризує рівень електромагнітного навантаження мережі:

$$Q_{пi} = R_{пi} \cdot \text{tg}\varphi_i, \quad (2.3)$$

На основі паспортних та довідкових даних [3] визначено проміжні значення реактивної потужності груп:

- побутова техніка (при $\text{tg}\varphi = 0,62$):

$$Q_{п.побут} = 5,45 \cdot 0,62 = 3,37 \text{ квар};$$

- офісне устаткування (при $\text{tg}\varphi = 0,62$):

$$Q_{п.офіс} = 0,81 \cdot 0,62 = 0,50 \text{ квар};$$

- інженерно-технічні установки (при $\text{tg}\varphi = 1,02$):

$$Q_{п.насос} = 0,75 \cdot 1,02 = 0,76 \text{ квар};$$

- освітлювальне навантаження (при $\text{tg}\varphi = 0,75$):

$$Q_{п.осв} = 0,18 \cdot 0,75 = 0,14 \text{ квар}.$$

Інтегральна проміжна реактивна потужність об'єкта становить:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		50

$$Q_{\Pi} = 3,37 + 0,50 + 0,76 + 0,14 = 4,77 \text{ квар.}$$

Для реалізації алгоритму методу упорядкованих діаграм визначаються граничні значення одиничної потужності електроприймачів у межах будівлі: максимальне значення становить $P_{H.\max} = 7,0$ кВт (кухонна електроплита), мінімальне значення — $P_{H.\min} = 0,01$ кВт (енергоефективне LED-джерело світла).

Показник розсіювання номінальних потужностей приймачів групи обчислюється за формулою:

$$m = \frac{P_{H.\max}}{P_{H.\min}} = \frac{7,0}{0,01} = 700 > 3.$$

Зважаючи на те, що $m > 3$, розрахунок ефективного (еквівалентного) числа споживачів ($n_{p.e}$) для загального масиву ЕП (при умові $n > 10$) реалізується за аналітичним виразом:

$$n_{p.e} = \frac{2 \sum P_H}{P_{H.\max}} = \frac{2 \cdot 16,1}{7,0} = 4,6 \approx 5.$$

Оскільки еквівалентна кількість електроприймачів є малою $n_e \leq 10$, розрахунковий коефіцієнт активного навантаження K_p визначається шляхом двомірної інтерполяції нормативних табличних значень залежно від отриманого групового коефіцієнта використання $K_v = 0,442$ [6].

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		51

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів розрахункового навантаження K_p для шин НН цехових трансформаторів і магістральних шинопроводів напругою до 1 кВ.

n_e	Коефіцієнт використання K_e							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 і більше
1	8	5,33	4	2,67	2	1,6	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1	0,98	0,96	0,94	0,93
6-8	1,2	1	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9-10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10-25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25-50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,85	0,85
Більше 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8

Максимальне розрахункове активне навантаження на ввідно-розподільчому пристрої (ВРП) житлового будинку визначається за виразом:

$$P_p = K_p \cdot \Sigma P_{pi}, \quad (2.4)$$

Для результуючого вузла при $n_e \approx 5$ та середньозваженому груповому коефіцієнті використання $K_v = 0,442$, інтегральний коефіцієнт K_p становить 1,12. З урахуванням коефіцієнта одночасності, що регламентується нормами проектування житлового сектору [4], підсумкове розрахункове активне навантаження становить:

$$P_p = 16,1 \cdot 0,5 = 8,05 \text{ кВт}$$

Розрахункова реактивна потужність (Q_p) для об'єктів з розгалуженою внутрішньою мережею (загальна кількість точок підключення $n > 10$) приймається рівною сумарній проміжній реактивній потужності з урахуванням коефіцієнта одночасності навантажень:

$$Q_p = 8,05 \cdot 1,02 = 8,21 \text{ квар}$$

Повне розрахункове навантаження об'єкта, що визначає параметри вибору живильних кабельних ліній та потужність ТП, розраховується як:

$$Sp = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.5)$$

$$Sp = \sqrt{8,05^2 + 8,21^2} = 11,5 \text{ кВА.}$$

Отримані значення є базою для перевірки пропускної здатності захисно-комутаційної апаратури та оцінки ефективності систем електропостачання. З метою підвищення загального рівня енергоефективності, мінімізації втрат напруги в мережі та створення умов для часткової енергонезалежності, в наступних розділах обґрунтовано заходи з комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій будівлі [4] та доцільність інтеграції відновлюваних джерел енергії на базі дахових фотоелектричних систем [7].

Результати математичного моделювання та інженерних розрахунків для всіх внутрішніх груп розподільчої мережі приватного будинку систематизовано і зведено в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 — Зведена матриця розрахункових електричних навантажень внутрішньобудинкової мережі об'єкта

Найм. ЕП	п, од	P _{н.Σ} , кВт	P _{н.мах} , кВт	P _{н.мін} , кВт	m	Кв	cosφ	P _п , кВт	Q _п , квар	P _р , кВт	Q _р , квар	Sp, кВА
Побутова техніка	8	12,10	7,00	0,30	23,33	0,45	0,85	5,45	3,37	5,45	3,37	6,40
Офісна техніка	3	1,35	0,45	0,45	1,00	0,60	0,85	0,81	0,50	0,81	0,50	0,95
Насос (свердловина)	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,70	0,75	0,76	0,75	0,76	1,07
Освітлення	18	0,18	0,06	0,01	6,00	1,00	0,80	0,18	0,14	0,18	0,14	0,23
Загалом по будинку	30	16,10	7,00	0,01	700,0	0,442	0,70	7,19	4,77	8,05	8,21	11,50

2.4 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту у аналітичній формі

Для отримання повного уявлення про структуру електроспоживання об'єкта проведено поетапний розрахунок кожного з основних компонентів, які складають загальне річне навантаження приватного житлового будинку. Такий метод дозволяє оцінити вплив різних груп приладів і обладнання на енергетичний баланс, визначити основні аспекти енергоємності та сформувати базу для впровадження наступних енергоефективних заходів.

Річне споживання електричної енергії для кожної групи однотипного обладнання розраховується за аналітичною залежністю:

$$W_i = P_{\text{вст}} \cdot n \cdot k_{\text{в}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (2.6)$$

де $P_{\text{вст}}$ — встановлена потужність одиниці обладнання (кВт),

n — кількість приладів (шт.),

$k_{\text{в}}$ — коефіцієнт використання,

$T_{\text{р}}$ — тривалість роботи обладнання протягом року (год).

Математичне інтегрування вихідних даних побутової техніки, що включає кухонну електроплиту, пральну машину, холодильник та електрочайник, дозволило визначити її сумарне річне споживання на рівні:

$$W_{\text{побут.сум}} = 1383,2 + 197,6 + 1422,7 + 197,6 = 3201,1 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

До групи офісного устаткування віднесено комп'ютери та ноутбуки для дистанційної роботи й навчання. Інтегральне енергоспоживання цієї групи за рік становить:

$$W_{\text{офіс.сум}} = 0,4 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 1729 = 1244,9 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Група технічних установок представлена інженерним обладнанням життєзабезпечення будинку, а саме насосом для свердловини. Обсяг його споживання за аналогічною методикою розрахунку дорівнює:

$$W_{\text{насос}} = 1,0 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 2717 = 2037,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Система освітлення приватного будинку виконана комбінованою і включає як сучасні енергоощадні LED-лампи, так і залишені в окремих зонах лампи розжарювання. Сумарні річні витрати на освітлення становлять:

$$W_{\text{осв.сум}} = 219,0 + 700,8 = 919,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Підсумкове розрахункове річне споживання електричної енергії всім житловим будинком ($W_{\text{заг}}$) визначається як сума річних витрат енергії за всіма чотирма технологічними групами:

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{побут.сум}} + W_{\text{офіс.сум}} + W_{\text{насос}} + W_{\text{осв.сум}}, \quad (2.7)$$

$$W_{\text{заг}} = 3201,1 + 1244,9 + 2037,8 + 919,8 = 7403,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Отримані результати розрахунків для всіх типів електроспоживачів систематизовано та наведено в таблиці 2.5.

Порівнюючи отримане розрахункове значення з фактичними обсягами електроспоживання згідно з даними лічильника (8350 кВт·год/рік), можна констатувати наявність розбіжності (похибки) на рівні близько 11%. Це об'єктивно пояснюється наявністю додаткових технічних втрат у внутрішній кабельної мережі будинку (в контактах та пускових режимах двигуна насоса й пральної машини), які зазвичай становлять до 7%.

Таблиця 2.5 — Розрахункові значення споживання електричної енергії приватного будинку за рік

№	Найменування обладнання	Потужність, кВт	К-сть, шт	Коеф. використання	Тривалість роботи, год	Споживання, кВт·год
Система освітлення						
1	LED-освітлення	0,010	19	1,000	1001	219,0
2	Лампи розжарювання	0,060	8	1,000	1460	700,8
Всього освітлення						919,8
Побутове обладнання						
3	Електроплита	7,000	1	0,400	494	1383,2
4	Пральна машина	2,000	1	0,400	247	197,6
5	Холодильник	0,350	1	0,800	5928	1422,7
6	Електрочайник	2,000	1	0,400	247	197,6
Всього побутова техніка						3201,1
Офісне обладнання						
7	Комп'ютери / ноутбуки	0,400	3	0,600	1729	1244,9
Всього офісна техніка						1244,9
Силове обладнання						
8	Насос (свердловина)	1,000	1	0,750	2717	2037,8
Всього технічні установки						2037,8
ВСЬОГО ЗА РІК						7403,6

Крім того, у фактичному балансі враховано пікові літні навантаження від системи кондиціонування повітря та роботу дрібних періодичних споживачів (фен, мікрохвильова піч, витяжка, роутер), точний повний облік часу роботи яких у постійному режимі не ведеться, що й створює додаткову різницю між теоретичними та реальними даними лічильника.

Для унаочнення структури та візуалізації отриманих результатів

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

розподілу часток електроспоживання приватного будинку було побудовано кругову діаграму (рисунок 2.2). Її аналіз свідчить про те, що найбільшу частку займає побутове обладнання — 43% від загального обсягу. Технічні установки (насос) становлять 28%, на офісну техніку припадає 17%, а на систему освітлення — 12% від загального річного обсягу енергоспоживання.

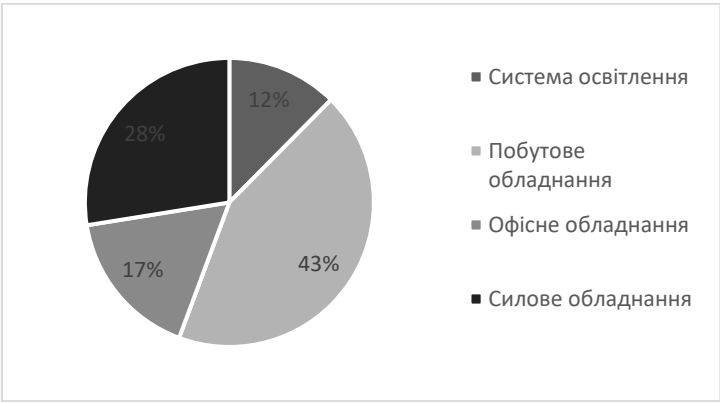


Рисунок 2.2 – Результат розрахунку балансу споживання електричної енергії (кругова діаграма)

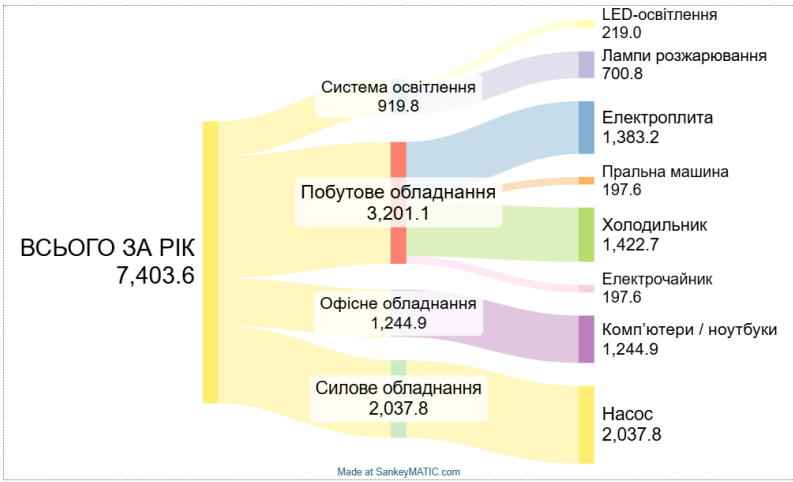


Рисунок 2.3 – Результат розрахунку балансу споживання електричної енергії (діаграма Санкея)

2.5 Розроблення типових заходів з енергоефективності для споживачів електричної енергії

За результатами аналізу структури електроспоживання приватного будинку встановлено, що найбільший потенціал для підвищення

енергоефективності без значних капітальних витрат мають система освітлення та інженерні системи життєзабезпечення.

Незважаючи на те, що частина світильників уже оснащена світлодіодними лампами, у будинку все ще залишаються точки освітлення з лампами розжарювання, які характеризуються низькою енергоефективністю та значними втратами електроенергії. Окрім цього, насосне обладнання системи водопостачання працює у нерегульованому режимі, без адаптації до фактичного водоспоживання, що призводить до надлишкового споживання електроенергії.

З метою підвищення ефективності використання електроенергії пропонується впровадити такі типові енергоефективні заходи:

1. Заміна ламп розжарювання на сучасні світлодіодні (LED) джерела світла;
2. Модернізація системи водопостачання шляхом встановлення енергоефективного насоса з частотним регулюванням.

Реалізація цих заходів дозволить зменшити споживання електроенергії, підвищити надійність обладнання та покращити загальні умови експлуатації інженерних систем будинку.

Захід №1 – Заміна ламп розжарювання на світлодіодні (LED)

Суть даного заходу полягає у заміні існуючих ламп розжарювання (8 одиниць) на сучасні світлодіодні лампи з аналогічним рівнем світлового потоку.

Світлодіодні джерела світла є більш ефективними завдяки значно нижчому споживанню електроенергії при однаковій освітленості. У середньому LED-лампи споживають у 7–8 разів менше електроенергії порівняно з лампами розжарювання. Крім того, вони мають значно довший термін служби, що зменшує витрати на їх обслуговування та заміну.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		58

Додатковою перевагою є екологічна безпечність, оскільки LED-лампи не містять ртуті та інших токсичних речовин, а також забезпечують стабільний світловий потік без мерехтіння і затримок увімкнення.

Для розрахунку прийнято такі технічні характеристики нових ламп:

- тип світла: нейтральний білий;
- температура світла: 4100 K;
- світловий потік: 800 лм;
- потужність: 8 Вт;
- термін служби: 30 000 год;
- вартість: 120 грн/шт.

Річна економія електроенергії визначається за формулою:

$$\Delta W_p = (P_1 - P_2) \cdot N \cdot K_v \cdot T_p, \quad (2.8)$$

де $N = 8$ – кількість світильників;

$P_1 = 0,06$ кВт – потужність лампи розжарювання;

$P_2 = 0,008$ кВт – потужність LED-лампи;

$K_v = 1,0$;

$T_p = 1460$ год/рік.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$\Delta W_p = (0,06 - 0,008) \cdot 8 \cdot 1,0 \cdot 1460 = 607,36 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Грошова економія становитиме:

$$E = \Delta W_p \cdot P_e, \quad (2.9)$$

$$E = 607,36 \cdot 4,32 = 2623,79 \text{ грн} / \text{рік}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Витрати на впровадження заходу:

$$B_{\Pi} = N \cdot p, \quad (2.10)$$

$$B_{\Pi} = 8 \cdot 120 = 960 \text{ грн}$$

Оскільки монтаж виконується самостійно, додаткові витрати відсутні.

Термін окупності:

$$T = \frac{B_{\Pi}}{E}, \quad (2.11)$$

$$T = \frac{960}{2623,79} = 0,36 \text{ року}$$

Отже, заміна ламп розжарювання на LED-освітлення є економічно доцільним заходом з коротким терміном окупності (близько 4 місяців), що дозволяє суттєво зменшити електроспоживання без втрати якості освітлення.

Захід №2 – Модернізація системи водопостачання із заміною свердловинного насоса

Другим заходом є модернізація системи водопостачання шляхом заміни існуючого нерегульованого свердловинного насоса на сучасний енергоефективний насосний агрегат із частотним перетворювачем (наприклад, типу Grundfos або аналогічний).

Такий насос дозволяє автоматично регулювати частоту обертання двигуна залежно від поточного водоспоживання, що забезпечує оптимальний режим роботи системи. Додатково реалізуються функції захисту від сухого ходу, перевантажень та зниження пікових пускових струмів.

Існуючий насос потужністю 1,0 кВт працює у постійному номінальному режимі, що є енергетично неефективним. Впровадження частотного

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		60

регулювання дозволяє знизити споживання електроенергії в середньому на 30%.

Річна економія електроенергії:

$$\Delta W_{\Pi} = 0,30 \cdot W_{\text{насос}}, \quad (2.12)$$

де $W_{\text{насос}} = 2037,8$ кВт·год/рік.

$$\Delta W_{\Pi} = 0,30 \cdot 2037,8 = 611,34 \text{ кВт·год/рік}$$

Грошова економія:

$$E = \Delta W_{\Pi} \cdot P_e, \quad (2.13)$$

$$E = 611,34 \cdot 4,32 = 2641,00 \text{ грн/рік}$$

Витрати на впровадження заходу:

$$K = 9500 + 2000 = 11\,500 \text{ грн}$$

де 9500 грн – вартість обладнання,

2000 грн – монтажні та пусконаладжувальні роботи.

Термін окупності:

$$T = \frac{K}{E}, \quad (2.14)$$

$$T = \frac{11\,500}{2641,00} = 4,35 \text{ року}$$

Модернізація системи водопостачання із впровадженням частотно-регульованого насоса є технічно та економічно обґрунтованим рішенням. Воно забезпечує зниження електроспоживання, стабілізацію тиску у водопровідній мережі, зменшення зношування обладнання та покращення загальної надійності системи.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Висновки до розділу 2.

У даному розділі було проаналізовано структуру електроспоживання приватного житлового будинку та визначено основні групи споживачів електричної енергії. Встановлено, що найбільшу частку в загальному балансі споживання займають система освітлення та інженерні системи життєзабезпечення, зокрема насосне обладнання системи водопостачання.

На основі проведеного аналізу сформовано перелік типових енергоефективних заходів, спрямованих на зменшення споживання електричної енергії без погіршення умов експлуатації будівлі. Розглянуто два основні напрямки модернізації: заміна ламп розжарювання на світлодіодні джерела світла та впровадження енергоефективного насосного обладнання з частотним регулюванням.

Розрахунки показали, що впровадження LED-освітлення дозволяє зменшити річне споживання електроенергії на 607,36 кВт·год, що забезпечує економію 2623,79 грн/рік і термін окупності близько 0,36 року. Модернізація насосної системи забезпечує економію 611,34 кВт·год/рік або 2641,00 грн/рік при терміні окупності 4,35 року.

Отримані результати підтверджують, що запропоновані заходи є технічно доцільними та економічно ефективними. Їх реалізація дозволяє суттєво знизити витрати на електроенергію, підвищити енергоефективність будівлі та покращити надійність роботи інженерних систем.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергетичної ефективності в будівлях

Питання підвищення енергоефективності будівель сьогодні є одним із пріоритетних напрямків розвитку енергетичної політики України. Значна частина житлового фонду була збудована без урахування сучасних вимог до енергозбереження, що призводить до підвищених тепловтрат, неефективного використання енергоресурсів та збільшення витрат на утримання будівель.

У зв'язку з інтеграцією України до європейського енергетичного простору та виконанням умов Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, в Україні активно впроваджуються нові нормативні документи у сфері енергоефективності будівель. Основною метою цих змін є зменшення споживання енергії, підвищення рівня теплового комфорту в будівлях та скорочення викидів парникових газів.

Нормативно-правова база у сфері енергетичної ефективності регламентує:

- вимоги до теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій;
- методики визначення енергетичних характеристик будівель;
- проведення енергетичної сертифікації;
- визначення класу енергоефективності будівель;

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ			
Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Макарова Є.І				ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДИ З ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ	Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Шовкалюк М.М						63	10
Реценз.						НН ІЕЕ, кафелра ЕП		
Н. Контр.	Прокопенко І.Д.							
Затвер.								

- вимоги до мікроклімату приміщень;
- порядок проведення термомодернізації будівель.

Основні нормативні документи, які регулюють питання енергетичної ефективності будівель в Україні, наведені у таблиці 3.1 [15, 3, 16, 17, 18].

Таблиця 3.1 – Основні нормативні документи щодо енергетичної ефективності будівель в Україні

№	Назва документа	Короткий опис	Рік
1	Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» №2118-VIII [2]	Визначає основні вимоги до енергоефективності будівель, проведення енергетичної сертифікації та класифікації будівель за рівнем енергоспоживання	2017
2	ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [3]	Встановлює нормативні вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівель	2021
3	ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель» [4]	Регламентує методику визначення енергетичних характеристик та первинного енергоспоживання будівель	2022
4	ДСТУ ISO 52000-1:2020 [5]	Визначає методику оцінки енергетичних характеристик будівель відповідно до європейських стандартів	2020
5	Директива ЄС 2024/1275 [6]	Встановлює сучасні вимоги ЄС щодо декарбонізації будівель, підвищення енергоефективності та модернізації існуючого фонду будівель	2024

Відповідно до чинного законодавства України нові та реконструйовані будівлі повинні відповідати встановленим вимогам щодо енергетичної ефективності та мати енергетичний сертифікат [15]. Особлива увага

приділяється теплотехнічним характеристикам зовнішніх огорожувальних конструкцій, оскільки саме через них відбуваються найбільші втрати теплової енергії.

Нормативні значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій наведені у таблиці 3.2 відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 [3].

Таблиця 3.2 – Теплотехнічні вимоги до огорожувальних конструкцій

№	Вид огорожувальної конструкції	Значення R_{qmin} , м ² ·К/Вт для І температурної зони	Значення R_{qmin} , м ² ·К/Вт для ІІ температурної зони
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2	Суміщені покриття та перекриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Горищні перекриття та покриття неопалюваних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття над неопалювальними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,75
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

Під час проведення реконструкції або термомодернізації будівель допускається часткове відхилення від нормативних значень опору теплопередачі, однак не менше ніж 75% від встановленого нормативного рівня. При цьому обов'язково повинні забезпечуватись нормативні параметри мікроклімату приміщень.

Крім вимог до теплоізоляції будівель, нормативні документи також встановлюють вимоги до внутрішнього мікроклімату приміщень. Для житлових будинків нормативна температура внутрішнього повітря повинна становити близько 20 °С. Відносна вологість повітря має підтримуватися в межах 40–60%, а система вентиляції повинна забезпечувати необхідний рівень повітрообміну у приміщеннях.

Таким чином, дотримання нормативних вимог щодо енергоефективності дозволяє зменшити втрати теплової енергії, підвищити комфорт проживання мешканців та скоротити витрати на енергоресурси. Саме тому при проведенні енергетичного аналізу приватного житлового будинку необхідно оцінити відповідність існуючих огороджувальних конструкцій сучасним нормативним вимогам та визначити можливі напрямки підвищення енергоефективності будівлі.

3.2 Визначення теплового навантаження будівлі

Для визначення теплового навантаження приватного житлового будинку необхідно врахувати тепловтрати через огороджувальні конструкції, а також втрати теплоти внаслідок природної вентиляції та інфільтрації повітря [16, 22]. Основними елементами, які впливають на тепловий баланс будівлі, є зовнішні стіни, покрівля, вікна, двері та перекриття над неопалюваними приміщеннями.

Теплове навантаження будівлі залежить від:

- площі огороджувальних конструкцій;
- теплотехнічних характеристик матеріалів;
- товщини конструктивних шарів;
- фізичного стану будівлі;
- температури зовнішнього та внутрішнього повітря.

Для оцінки рівня тепловтрат було проведено аналіз основних огорожувальних конструкцій житлового будинку, а саме зовнішніх стін, світлопрозорих конструкцій, покрівлі та перекриття над неопалюваним горищем.

Непрозорі огорожувальні конструкції

Таблиця 3.3 – Характеристики зовнішніх стін

№ шару	Найменування шару	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/(м·К)
1	Цегла силікатна	0,51	0,87
2	Розчин цементно-піщаний	0,02	0,93
3	Внутрішня штукатурка	0,02	0,70

Для визначення опору теплопередачі зовнішньої стіни використовується формула: [22]

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{se}}, \quad (3.1)$$

де h_{si} , h_{se} – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К);

δ_i – товщина і-го шару конструкції, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·К).

Підставивши значення для зовнішньої стіни будинку, отримуємо:

$$R_{ст} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.51}{0.87} + \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.02}{0.70} + \frac{1}{23} = 0,795 \approx 0.80 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Коефіцієнт теплопередачі стіни визначається за формулою:

$$K_i = \frac{1}{R_i}, \quad (3.2)$$

Тоді:

$$K_i = \frac{1}{0.80} = 1.25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Отримане значення опору теплопередачі зовнішньої стіни є значно нижчим за нормативне значення для І температурної зони України. Відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 мінімально допустиме значення опору теплопередачі для зовнішніх стін становить:

$$R_{qmin} = 4.0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Таким чином, фактичне значення опору теплопередачі зовнішніх стін будинку:

$$R_{ст} = 0.80 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} < R_{qmin} = 4.0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

не відповідає сучасним нормативним вимогам щодо енергоефективності будівель.

Недостатній рівень теплозахисту зовнішніх стін призводить до значних тепловтрат у холодний період року, збільшення витрат на опалення та погіршення температурного режиму всередині приміщень. Це свідчить про необхідність проведення термомодернізації будівлі шляхом додаткового утеплення зовнішніх стін сучасними теплоізоляційними матеріалами.

Світлопрозорі огорожувальні конструкції

У приватному житловому будинку встановлені металопластикові віконні конструкції з подвійним склінням, зовнішній вигляд яких було наведено під час обстеження будівлі. Використання металопластикових вікон дозволяє частково зменшити тепловтрати порівняно зі старими дерев'яними конструкціями, однак їх теплотехнічні характеристики все ще не повністю

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

відповідають сучасним нормативним вимогам щодо енергоефективності будівель.

Для будинку приймаємо, що встановлені металопластикові вікна типу 4М1-16-4К мають опір теплопередачі:

$$R_{\text{вік}} = 0.40 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 для І температурної зони мінімально допустиме значення опору теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій повинно становити:

$$R_{qmin} = 0.90 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} [3]$$

Таким чином, фактичне значення опору теплопередачі вікон є нижчим за нормативне:

$$R_{\text{вік}} = 0.40 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} < R_{qmin} = 0.90 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Для визначення коефіцієнта теплопередачі світлопрозорої конструкції використовується формула(3.2):

$$K_i = \frac{1}{R_i},$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі металопластикового вікна становить:

$$K_{\text{вік}} = \frac{1}{0.40} = 2.5 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Отримані результати свідчать про те, що існуючі світлопрозорі конструкції не забезпечують необхідного рівня теплозахисту відповідно до сучасних нормативних вимог. Через вікна відбуваються значні тепловтрати, особливо у зимовий період, що призводить до збільшення витрат на опалення та погіршення мікроклімату приміщень.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Для підвищення енергоефективності будівлі доцільно виконати модернізацію світлопрозорих конструкцій шляхом встановлення сучасних енергоефективних вікон із двокамерними склопакетами та низькоемісійним покриттям, які мають вищий опір теплопередачі.

Характеристика зовнішніх дверей

У приватному житловому будинку встановлені зовнішні металеві двері з внутрішнім декоративним оздобленням. Конструкція дверей не має достатнього шару теплоізоляції та сучасного ущільнення, що призводить до додаткових тепловтрат у холодний період року.

Зовнішні двері будинку представлені металевою конструкцією з внутрішнім облицюванням. Орієнтовний розрахунковий опір теплопередачі таких дверей становить:

$$R_{\text{дв}} = 0.45 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 для І температурної зони мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх дверей повинно становити:

$$R_{qmin} = 0.70 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Таким чином, фактичне значення опору теплопередачі зовнішніх дверей є нижчим за нормативне:

$$R_{\text{дв}} = 0.45 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} < R_{qmin} = 0.70 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Це свідчить про недостатній рівень теплозахисту дверної конструкції та наявність додаткових втрат теплової енергії через вхідну групу будівлі.

Для визначення коефіцієнта теплопередачі дверей використовується формула(3.2):

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$K_i = \frac{1}{R_i},$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі зовнішніх дверей становить:

$$K_{\text{дв}} = \frac{1}{0.45} = 2.22 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Отримані результати показують, що існуючі двері не відповідають сучасним вимогам енергоефективності. Через недостатню теплоізоляцію та можливі нещільності відбуваються додаткові втрати теплоти, особливо під час низьких температур зовнішнього повітря.

Для підвищення енергоефективності будівлі доцільно виконати модернізацію входних дверей шляхом:

- встановлення теплоізоляційного шару;
- монтажу сучасних ущільнювачів;
- зменшення інфільтрації холодного повітря;
- використання енергоефективних дверних конструкцій із покращеним опором теплопередачі.

Дах (перекриття над неопалюваним горищем)

Одним із основних джерел тепловтрат у приватному житловому будинку є перекриття над неопалюваним горищем. Через недостатню теплоізоляцію покрівлі значна частина теплової енергії втрачається у холодний період року, що призводить до збільшення витрат на опалення та погіршення мікроклімату приміщень.

Конструкція перекриття будинку виконана по дерев'яних елементах із покрівлею з азбестоцементного шиферу. Для розрахунку теплотехнічних характеристик перекриття приймаємо конструкцію, наведену у таблиці 3.4.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Таблиця 3.4 – Характеристики перекриття над неопалюваним горищем

№ шару	Найменування шару	Товщина δ , м	Теплопровідність λ р, Вт/(м·К)
1	Дерев'яне перекриття	0,05	0,18
2	Шар засипки (шлакова або мінеральна)	0,10	0,17
3	Дошки та внутрішнє оздоблення	0,03	0,21

Для визначення опору теплопередачі перекриття використовується формула (3.1):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{se}},$$

Підставивши значення для конструкції перекриття, отримуємо:

$$R_{гор} = \frac{1}{10} + \frac{0.05}{0.18} + \frac{0.10}{0.17} + \frac{0.03}{0.21} + \frac{1}{6} = 1.28 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Отриманий опір теплопередачі перекриття над неопалюваним горищем становить:

$$R_{гор} = 1.28 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 для І температурної зони нормативне значення опору теплопередачі горищного перекриття повинно становити:

$$R_{qmin} = 6.0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Таким чином:

$$R_{гор} = 1.28 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} < R_{qmin} = 6.0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Отримані результати свідчать про недостатній рівень теплоізоляції перекриття та значні втрати теплової енергії через покрівлю будинку.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Для визначення коефіцієнта теплопередачі використовується формула (3.2):

$$K_i = \frac{1}{R_i}.$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі перекриття становить:

$$K_{\text{гор}} = \frac{1}{1.28} = 0.78 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Через недостатню теплоізоляцію покрівлі у зимовий період відбуваються значні тепловтрати, що збільшує навантаження на систему опалення та витрати на енергоресурси. Для підвищення енергоефективності будівлі доцільно виконати утеплення горищного перекриття сучасними теплоізоляційними матеріалами.

Підлога над неопалювальним підвалом

У приватному житловому будинку підлога першого поверху межує з неопалювальним підпільним або технічним простором. Така конструкція також впливає на загальні тепловтрати будівлі, оскільки в холодний період року через підлогу може втрачатися значна частина теплової енергії.

Таблиця 3.5 – Характеристики перекриття над неопалювальним технічним простором

№ шару	Найменування шару	Товщина δ , м	Теплопровідність λ р, Вт/(м·К)
1	Залізобетонна плита	0,22	1,69
2	Бетонна стяжка	0,015	0,93
3	Лінолеум одношаровий густиною 800 кг/м ³	0,03	0,21

За формулою (3.1) розрахуємо термічний опір перекриття над неопалювальним технічним простором:

$$R_{\text{під}} = \frac{1}{5,9} + \frac{0,22}{1,69} + \frac{0,015}{0,93} + \frac{0,03}{0,21} + \frac{1}{6} = 0,63 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Отримане значення термічного опору становить:

$$R_{\text{під}} = 0,63 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 для І температурної зони мінімально допустиме значення опору теплопередачі перекриття над неопалювальним підвалом або технічним простором становить:

$$R_{qmin} = 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Отже, фактичне значення опору теплопередачі є значно нижчим за нормативне:

$$R_{\text{під}} = 0,63 < R_{qmin} = 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Це свідчить про недостатній рівень теплозахисту підлоги та необхідність її додаткового утеплення.

Коефіцієнт теплопередачі перекриття визначається за формулою (3.2):

$$K_{\text{під}} = \frac{1}{R_{\text{під}}}.$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Тоді:

$$K_{\text{під}} = \frac{1}{0,63} = 1,58 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Таким чином, перекриття над неопалювальним технічним простором не відповідає сучасним нормативним вимогам щодо енергоефективності. Через недостатній опір теплопередачі підлоги відбуваються додаткові тепловтрати, що збільшує навантаження на систему опалення будинку.

Загалом проведений аналіз показав, що основні огорожувальні конструкції будівлі — зовнішні стіни, світлопрозорі конструкції, зовнішні двері, горищне перекриття та підлога над неопалювальним простором — не відповідають мінімальним вимогам для І температурної зони. Тому для підвищення енергоефективності будинку необхідно передбачити комплекс заходів, зокрема утеплення зовнішніх стін, горищного перекриття та підлоги, а також модернізацію вікон і дверей.

Визначення тепловтрат через огорожувальні конструкції

Тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції будівлі визначаються за формулою:

$$Q_o = \sum(K_i \cdot F_i \cdot \Delta t_i) \cdot b_u \cdot (1 + \sum \beta), \quad (3.3)$$

де K_i — коефіцієнт теплопередачі i -ої огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К);

F_i — площа i -ої огорожувальної конструкції, м²;

Δt_i — різниця температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям, °С;

$t_{\text{вн}}$ — розрахункова температура внутрішнього повітря, °С;

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

t_3 — розрахункова температура зовнішнього повітря для проєктування опалення, °C;

b_u — поправочний коефіцієнт, що враховує зменшення різниці температур між опалюваним і неопалюваним простором;

$\sum\beta$ — додаткові втрати теплоти залежно від орієнтації огорожувальної конструкції.

Для зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій додаткові втрати теплоти приймаються залежно від орієнтації:

- для північної, східної, північно-східної та північно-західної орієнтації:
 $\sum\beta = 0,1$;
- для південно-східної та західної орієнтації: $\sum\beta = 0,05$;
- для інших огорожень: $\sum\beta = 0$.

Для подальших розрахунків приймаємо:

- розрахункова температура внутрішнього повітря: $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$;
- розрахункова температура зовнішнього повітря: $t_3 = -22^\circ\text{C}$;
- різниця температур:

$$\Delta t = 20 - (-22) = 42^\circ\text{C}.$$

Вихідні дані для розрахунку тепловтрат через огорожувальні конструкції приватного житлового будинку наведено у таблицях 3.6–3.10.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Втрати тепла через зовнішні стіни будівлі

Таблиця 3.6 – Вихідні дані для розрахунку тепловтрат через зовнішні стіни

Огородження	Орієнтація	R, м²·К/Вт	K, Вт/(м²·К)	F, м²	Δt, °C	b _u	1+Σβ
Зовнішня стіна	Пн	0,80	1,25	30,0	42	1	1,10
Зовнішня стіна	Пд	0,80	1,25	28,0	42	1	1,00
Зовнішня стіна	Сх	0,80	1,25	21,0	42	1	1,10
Зовнішня стіна	Зх	0,80	1,25	20,0	42	1	1,05

Для розрахунку тепловтрат через зовнішні стіни використовується формула (3.3):

$$Q_{\text{ст}} = K_{\text{ст}} \cdot \Delta t \cdot \sum (F_i \cdot b_u \cdot (1 + \Sigma \beta))$$

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{ст}} = 1,25 \cdot 42 \cdot (30 \cdot 1,1 + 28 \cdot 1 + 21 \cdot 1,1 + 20 \cdot 1,05)$$

$$Q_{\text{ст}} = 5517,75 \text{ Вт} = 5,52 \text{ кВт} = 0,0047 \text{ Гкал/год.}$$

Отже, тепловтрати через зовнішні стіни приватного житлового будинку становлять 5,52 кВт. Значення є досить суттєвим, що пояснюється відсутністю зовнішнього утеплення та низьким опором теплопередачі цегляних стін.

Втрати теплової енергії через світлопрозорі конструкції

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

У будинку встановлені металопластикові вікна з подвійним склінням.
Для розрахунку прийнято опір теплопередачі вікон:

$$R_{\text{вік}} = 0,40 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

тоді коефіцієнт теплопередачі становить:

$$K_{\text{вік}} = 2,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Таблиця 3.7 – Вихідні дані для розрахунку тепловтрат через вікна

Огородження	Орієнтація	R, м ² ·К/Вт	K, Вт/(м ² ·К)	F, м ²	Δt, °C	b _u	1+Σβ
Металопластикові вікна	Пн	0,40	2,5	4,2	42	1	1,10
Металопластикові вікна	Пд	0,40	2,5	6,8	42	1	1,00
Металопластикові вікна	Сх	0,40	2,5	1,8	42	1	1,10
Металопластикові вікна	Зх	0,40	2,5	1,7	42	1	1,05

Розрахунок тепловтрат через вікна виконуємо за формулою (3.3):

$$Q_{\text{вік}} = K_{\text{вік}} \cdot \Delta t \cdot \sum (F_i \cdot b_u \cdot (1 + \Sigma \beta)).$$

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{вік}} = 2,5 \cdot 42 \cdot (4,2 \cdot 1,1 + 6,8 \cdot 1 + 1,8 \cdot 1,1 + 1,7 \cdot 1,05)$$

$$Q_{\text{вік}} = 1594,43 \text{ Вт} = 1,59 \text{ кВт} = 0,0014 \text{ Гкал/год.}$$

Отже, тепловтрати через світлопрозорі огорожувальні конструкції становлять 1,59 кВт. Незважаючи на те, що у будинку встановлені металопластикові вікна, їхній фактичний опір теплопередачі нижчий за нормативне значення для І температурної зони, тому вікна також є джерелом тепловтрат.

Втрати тепла через зовнішні двері

Таблиця 3.8 – Вихідні дані для розрахунку тепловтрат через двері

Огородження	Орієнтація	R, м²·К/Вт	K, Вт/(м²·К)	F, м²	Δt, °C	b _u	1+Σβ
Зовнішні двері	Пн	0,45	2,22	2,1	42	1	1,10

Для розрахунку тепловтрат через зовнішні двері використовується формула (3.3):

$$Q_{\text{дв}} = K_{\text{дв}} \cdot F_{\text{дв}} \cdot \Delta t \cdot b_u \cdot (1 + \Sigma \beta)$$

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{дв}} = 2,22 \cdot 2,1 \cdot 42 \cdot 1 \cdot 1,1$$

$$Q_{\text{дв}} = 215,4 \text{ Вт} = 0,22 \text{ кВт} = 0,00019 \text{ Гкал/год.}$$

Отже, тепловтрати через зовнішні двері становлять 0,22 кВт. Незважаючи на порівняно невелику площу дверної конструкції, через недостатнє ущільнення та низький опір теплопередачі двері можуть створювати додаткові тепловтрати та сприяти проникненню холодного повітря у приміщення.

Втрати тепла через перекриття горища

Таблиця 3.9 – Вихідні дані для розрахунку тепловтрат через перекриття над неопалюваним горищем

Огородження	Орієнтація	R, м²·К/Вт	K, Вт/(м²·К)	F, м²	Δt, °C	b _u	1+Σβ
Перекриття над неопалюваним горищем	–	1,28	0,78	75,9	42	0,9	–

Для визначення тепловтрат через перекриття над неопалюваним горищем використовується формула (3.3):

$$Q_{\text{гор}} = K_{\text{гор}} \cdot F_{\text{гор}} \cdot \Delta t \cdot b_u$$

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{гор}} = 0,78 \cdot 75,9 \cdot 42 \cdot 0,9$$

$$Q_{\text{гор}} = 2237,3 \text{ Вт} = 2,24 \text{ кВт} = 0,0019 \text{ Гкал/год.}$$

Отже, тепловтрати через перекриття над неопалюваним горищем становлять 2,24 кВт. Отримане значення є досить суттєвим для приватного житлового будинку, оскільки покрівля та горищне перекриття не мають достатнього шару сучасного утеплювача.

Через недостатній опір теплопередачі перекриття частина теплової енергії втрачається через верхню частину будівлі, що збільшує навантаження на автономну систему опалення. Тому утеплення горищного перекриття є одним із найбільш доцільних заходів для зменшення тепловтрат будинку.

Теплові втрати через підлогу будівлі

Таблиця 3.10 – Вихідні дані для розрахунку тепловтрат через підлогу

Огородження	Орієнтація	R, м²·К/Вт	K, Вт/(м²·К)	F, м²	Δt, °С	b _u	1+Σβ
Підлога над неопалювальним технічним простором	—	0,63	1,58	75,9	42	0,6	—

На основі формули (3.3) обчислюємо тепловтрати через підлогу:

$$Q_{\Pi} = 1,58 \cdot 75,9 \cdot 42 \cdot 0,6 = 3022,8 \text{ Вт}$$

$$Q_{\Pi} = 3,02 \text{ кВт} = 0,0026 \text{ Гкал/год.}$$

Отже, теплові втрати через підлогу становлять 3,02 кВт. Це досить помітна частка загальних тепловтрат, оскільки конструкція підлоги має низький опір теплопередачі та не відповідає нормативному значенню для I температурної зони.

Загальні тепловтрати через огорожувальні конструкції

Загальні втрати теплоти через огорожувальні конструкції визначаються за формулою:

$$Q = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{вік}} + Q_{\text{дв}} + Q_{\text{гор}} + Q_{\Pi}. \quad (3.4)$$

Підставивши отримані значення, маємо:

$$Q = 5,52 + 1,59 + 0,22 + 2,24 + 3,02 = 12,59 \text{ кВт.}$$

$$Q = 12,59 \text{ кВт} = 0,0108 \text{ Гкал/год.}$$

Таким чином, сумарні тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції приватного житлового будинку становлять 12,59 кВт.

Теплові втрати через природну вентиляцію

Теплові втрати через природну вентиляцію визначаються за формулою:

$$Q_{\text{вент}} = 0,337 \cdot V_0 \cdot n_{\text{об}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}), \quad (3.5)$$

де $n_{\text{об}}$ — кратність повітрообміну у житлових приміщеннях, приймаємо $n_{\text{об}} = 0,6 \text{ год}^{-1}$;

V_0 — опалювальний об'єм будівлі, м^3 ;

$t_{\text{вн}}$ — температура внутрішнього повітря, 20°C ;

$t_{\text{зовн}}$ — розрахункова температура зовнішнього повітря, -22°C .

Для приватного житлового будинку приймаємо опалювальний об'єм:

$$V_0 = 205 \text{ м}^3.$$

Підставимо значення у формулу (3.5):

$$\begin{aligned} Q_{\text{вент}} &= 0,337 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot (20 - (-22)) = 1741,6 \text{ Вт} = 1,74 \text{ кВт} \\ &= 0,0015 \text{ Гкал/год.} \end{aligned}$$

Отже, тепловтрати через природну вентиляцію становлять 1,74 кВт.

Загальне теплове навантаження будівлі

Загальне теплове навантаження визначається за формулою:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{огор}} + Q_{\text{вент}}. \quad (3.6)$$

Підставимо значення:

$$Q_{\Sigma} = 12,59 + 1,74 = 14,33 \text{ кВт.}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

$$Q_{\Sigma} = 14,33 \text{ кВт} = 0,0123 \text{ Гкал/год.}$$

Отже, розрахункове теплове навантаження приватного житлового будинку становить 14,33 кВт.

Результати розрахунку теплового навантаження та структура тепловтрат приватного житлового будинку наведені в табл. 3.11 та на рис. 3.1 відповідно.

Таблиця 3.11 – Теплове навантаження приватного житлового будинку

№	Найменування параметра	Позначення	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4	5
1	Коефіцієнт теплопередачі стін	К _{ст}	Вт/(м²·К)	1,25
2	Коефіцієнт теплопередачі вікон	К _{вік}	Вт/(м²·К)	2,50
3	Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх дверей	К _{дв}	Вт/(м²·К)	2,22
4	Коефіцієнт теплопередачі горищного перекриття	К _{гор}	Вт/(м²·К)	0,78
5	Коефіцієнт теплопередачі підлоги	К _п	Вт/(м²·К)	1,58
6	Площа зовнішніх стін	F _{ст}	м²	99,0
7	Площа вікон	F _{вік}	м²	14,5
8	Площа дверей	F _{дв}	м²	2,1
9	Площа горищного перекриття	F _{гор}	м²	75,9
10	Площа підлоги	F _п	м²	75,9
11	Опалювальна площа будівлі	F _{оп}	м²	75,9
12	Опалювальний об'єм будівлі	V _{оп}	м³	205
13	Різниця температур	Δt	°С	42

Продовження таблиці 3.11

1	2	3	4	5
14	Тепловтрати через стіни	$Q_{ст}$	кВт	5,52
15	Тепловтрати через вікна	$Q_{вік}$	кВт	1,59
16	Тепловтрати через двері	$Q_{дв}$	кВт	0,22
17	Тепловтрати через дах	$Q_{дах}$	кВт	2,24
18	Тепловтрати через підлогу	$Q_{п}$	кВт	3,02
19	Тепловтрати через природну вентиляцію	$Q_{вент}$	кВт	1,74
20	Загальне теплове навантаження будівлі	Q_{Σ}	кВт	14,33

Покажемо на діаграмі наявні розраховані тепловтрати через огорожувальні конструкції та природну вентиляцію.

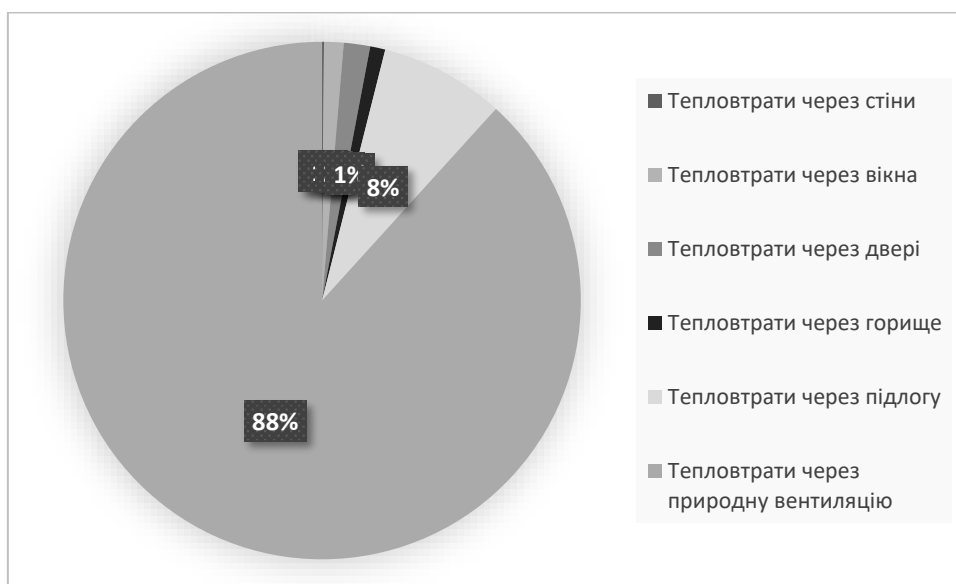


Рисунок 3.1 – Структура тепловтрат приватного житлового будинку

3.3 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій

Захід №1: Утеплення зовнішніх стін будинку

Одним із основних заходів з підвищення енергоефективності приватного житлового будинку є утеплення зовнішніх стін. За результатами попередніх розрахунків було встановлено, що фактичний опір теплопередачі зовнішніх стін становить:

$$R_{3C} = 0,80 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Нормативне значення для І температурної зони згідно з ДБН В.2.6-31:2021 становить:

$$R_{qmin} = 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Отже, існуючі зовнішні стіни не відповідають нормативним вимогам, тому необхідно передбачити додаткове утеплення.

Для утеплення пропонується використати мінераловатні фасадні плити з коефіцієнтом теплопровідності:

$$\lambda_{i3} = 0,045 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} [21].$$

Визначення необхідної товщини утеплювача

Мінімальна товщина теплоізоляційного шару визначається за формулою:

$$\delta_{i3} = (R_{qmin} - R_{3C}) \cdot \lambda_{i3}$$

Підставимо значення:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

$$\delta_{i3} = (4,0 - 0,80) \cdot 0,045 = 0,144 \text{ м}$$

Отримане значення округлюємо до стандартної товщини теплоізоляційного матеріалу:

$$\delta_{i3} = 0,15 \text{ м} = 150 \text{ мм}$$

Отже, для утеплення зовнішніх стін доцільно прийняти шар мінеральної вати товщиною 150 мм.

Опір теплопередачі стіни після утеплення

Опір теплопередачі зовнішньої стіни після утеплення визначаємо за формулою:

$$R_{yt} = R_{3c} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}}$$

$$R_{yt} = 0,80 + \frac{0,15}{0,045} = 4,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Порівняємо з нормативним значенням:

$$R_{yt} = 4,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} > R_{qmin} = 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Отже, після утеплення зовнішні стіни будинку відповідатимуть нормативним вимогам для І температурної зони.

Зменшення тепловтрат через зовнішні стіни

Коефіцієнт теплопередачі після утеплення становитиме:

$$K_{yt} = \frac{1}{R_{yt}} = \frac{1}{4,13} = 0,24 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

До утеплення тепловтрати через зовнішні стіни становили:

$$Q_{\text{існ}} = 5,52 \text{ кВт}$$

Після утеплення:

$$Q_{\text{ут}} = 0,24 \cdot 42 \cdot 105,1 = 1,07 \text{ кВт}$$

Зменшення теплових втрат:

$$\Delta Q_{\text{зс}} = 5,52 - 1,07 = 4,45 \text{ кВт}$$

Річна економія теплової енергії

Річна економія теплової енергії визначається за формулою:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.зс}} = \Delta Q_{\text{зс}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}} \cdot n_o \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163}$$

Підставимо значення:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.зс}} = 4448,9 \cdot \frac{20 - (-0,5)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163}$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.зс}} = 7,89 \text{ Гкал/рік}$$

Річна економія коштів

При тарифі на теплову енергію:

$$T = 1654,4 \text{ грн/Гкал}$$

річна економія становитиме:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		87

$$\Delta E = 7,89 \cdot 1654,4 = 13052,2 \text{ грн/рік}$$

Для економічно обґрунтованого тарифу:

$$T = 3752,99 \text{ грн/Гкал}$$

$$\Delta E = 7,89 \cdot 3752,99 = 29603,6 \text{ грн/рік}$$

Вартість впровадження заходу

Площа зовнішніх стін будинку становить:

$$F_{3C} = 99,0 \text{ м}^2$$

Орієнтовна вартість утеплення фасаду мінеральною ватою товщиною 150 мм разом із матеріалами та монтажем приймається:

$$1800 \text{ грн/м}^2$$

Тоді загальна вартість заходу становитиме:

$$B = 99,0 \cdot 1800 = 178200 \text{ грн}$$

Простий термін окупності

$$T_{\text{ок}} = \frac{B}{\Delta E}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{178200}{13052,2} = 13,65 \text{ років}$$

Для економічно обґрунтованого тарифу:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		88

$$T_{ок.е} = \frac{178200}{29603,6} = 6,02 \text{ років}$$

Отже, утеплення зовнішніх стін мінераловатними плитами товщиною 150 мм дозволяє привести конструкцію до нормативних вимог, зменшити тепловтрати через стіни приблизно на 4,45 кВт, а річна економія теплової енергії становить близько 7,89 Гкал/рік. Захід є доцільним для приватного житлового будинку, оскільки він покращує тепловий комфорт приміщень і зменшує витрати на опалення.

Захід №2. Підвищення енергоефективності через утеплення підлоги над неопалювальним технічним простором

Утеплення підлоги над неопалювальним технічним простором є доцільним заходом для приватного житлового будинку, оскільки раніше було визначено, що фактичний опір теплопередачі цієї конструкції становить лише:

$$R_{\Pi} = 0,63 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Для І температурної зони нормативне значення становить:

$$R_{qmin} = 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Для утеплення пропонується використати пінополістирольні плити з коефіцієнтом теплопровідності:

$$\lambda_{із} = 0,055 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Мінімальна товщина теплоізоляційного шару визначається за формулою:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

$$\delta_{i3} = [R_{qmin} - (R_{\Pi} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}})] \cdot \lambda_{i3}$$

Підставимо значення:

$$\delta_{i3} = [5,0 - (0,63 + \frac{0,01}{0,87})] \cdot 0,055 = 0,24 \text{ м.}$$

Отримане значення округлюємо до стандартної товщини теплоізоляційного матеріалу:

$$\delta_{i3} = 0,25 \text{ м} = 250 \text{ мм.}$$

Опір теплопередачі підлоги після утеплення визначається за формулою:

$$R_{ут.П} = R_{\Pi} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}}$$

$$R_{ут.П} = 0,63 + \frac{0,25}{0,055} + \frac{0,01}{0,87} = 5,19 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Порівняємо з нормативним значенням:

$$R_{ут.П} = 5,19 \geq R_{qmin} = 5,0.$$

Отже, після утеплення підлога над неопалювальним технічним простором відповідатиме нормативним вимогам.

Зменшення теплових втрат визначається за формулою:

$$\Delta Q_{\Pi} = (\frac{1}{R_{\Pi}} - \frac{1}{R_{ут.П}}) \cdot F_{\Pi} \cdot (t_{вн} - t_{р.о.}) \cdot b_u$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

де $F_{\Pi} = 75,9 \text{ м}^2$.

$$\Delta Q_{\Pi} = \left(\frac{1}{0,63} - \frac{1}{5,19} \right) \cdot 75,9 \cdot 42 \cdot 0,6$$

$$\Delta Q_{\Pi} = 2668,4 \text{ Вт} = 2,67 \text{ кВт.}$$

Річна економія теплової енергії:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.}\Pi} = \Delta Q_{\Pi} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_o \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163}$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.}\Pi} = 2668,4 \cdot \frac{20 - (-0,5)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163}$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.}\Pi} = 4,73 \text{ Гкал/рік.}$$

Річна економія коштів при тарифі:

$$T = 1654,4 \text{ грн/Гкал}$$

становить:

$$\Delta E = 4,73 \cdot 1654,4 = 7825,3 \text{ грн/рік.}$$

Для економічно обґрунтованого тарифу:

$$T = 3752,99 \text{ грн/Гкал}$$

$$\Delta E = 4,73 \cdot 3752,99 = 17751,6 \text{ грн/рік.}$$

Орієнтовна вартість утеплення підлоги пінополістирольними плитами з урахуванням матеріалів і монтажу приймається:

$$1200 \text{ грн/м}^2.$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Тоді загальна вартість реалізації заходу:

$$B = 75,9 \cdot 1200 = 91080 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B}{\Delta E}$$
$$T_{\text{ок}} = \frac{91080}{7825,3} = 11,6 \text{ років.}$$

Для економічно обґрунтованого тарифу:

$$T_{\text{ок.е}} = \frac{91080}{17751,6} = 5,1 \text{ років.}$$

Отже, утеплення підлоги над неопалювальним технічним простором дозволяє зменшити тепловтрати приблизно на 2,67 кВт, забезпечити відповідність конструкції нормативним вимогам та покращити тепловий комфорт у приміщеннях першого поверху.

Захід №3. Модернізація входних дверей

Одним із додаткових заходів з підвищення енергоефективності приватного житлового будинку є модернізація входних дверей. За результатами попереднього аналізу було встановлено, що існуючі зовнішні двері мають недостатній опір теплопередачі:

$$R_{\text{дв}} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Нормативне значення для зовнішніх дверей у I температурній зоні становить:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		92

$$R_{qmin} = 0,70 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Отже, існуюча дверна конструкція не повністю відповідає сучасним вимогам енергоефективності. Через двері відбуваються не лише трансмісійні тепловтрати, а й додаткові втрати теплоти через нещільності та інфільтрацію холодного повітря.

Для підвищення енергоефективності пропонується замінити наявні вхідні двері на утеплені металеві двері з теплоізоляційним шаром та якісним контуром ущільнення.

Визначення опору теплопередачі після модернізації

Після встановлення утеплених дверей приймаємо опір теплопередачі:

$$R_{ут.дв} = 0,80 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Порівняємо з нормативним значенням:

$$R_{ут.дв} = 0,80 > R_{qmin} = 0,70.$$

Отже, після модернізації двері відповідатимуть нормативним вимогам.

Коефіцієнт теплопередачі існуючих дверей:

$$K_{існ.дв} = \frac{1}{0,45} = 2,22 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт теплопередачі нових утеплених дверей:

$$K_{ут.дв} = \frac{1}{0,80} = 1,25 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		93

Зменшення тепловтрат через двері

Площа входних дверей приймається:

$$F_{\text{дв}} = 2,1 \text{ м}^2.$$

Розрахункова різниця температур:

$$\Delta t = 42^\circ\text{C}.$$

Зменшення теплових втрат через двері визначається за формулою:

$$\Delta Q_{\text{дв}} = (K_{\text{існ.дв}} - K_{\text{ут.дв}}) \cdot F_{\text{дв}} \cdot \Delta t \cdot b_u \cdot (1 + \sum \beta)$$

Для північної орієнтації приймаємо:

$$1 + \sum \beta = 1,1.$$

Підставимо значення:

$$\Delta Q_{\text{дв}} = (2,22 - 1,25) \cdot 2,1 \cdot 42 \cdot 1 \cdot 1,1$$

$$\Delta Q_{\text{дв}} = 94,1 \text{ Вт} = 0,094 \text{ кВт}.$$

Окремо враховуємо зменшення інфільтрації через ущільнення дверного блоку. Для приватного будинку приймаємо додаткову економію на рівні 0,05 кВт.

Загальне зменшення тепловтрат після модернізації:

$$\Delta Q_{\text{заг.дв}} = 0,094 + 0,05 = 0,144 \text{ кВт}.$$

Річна економія теплової енергії

Річна економія теплової енергії визначається за формулою:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ДВ}} = \Delta Q_{\text{заг.ДВ}} \cdot 1000 \cdot \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{ВН}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_o \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163}$$

Підставимо значення:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ДВ}} = 144,1 \cdot \frac{20 - (-0,5)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163}$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ДВ}} = 0,26 \text{ Гкал/рік.}$$

Річна економія коштів

При тарифі на теплову енергію:

$$T = 1654,4 \text{ грн/Гкал}$$

річна економія становитиме:

$$\Delta E = 0,26 \cdot 1654,4 = 430,1 \text{ грн/рік.}$$

Для економічно обґрунтованого тарифу:

$$T = 3752,99 \text{ грн/Гкал}$$

$$\Delta E = 0,26 \cdot 3752,99 = 975,8 \text{ грн/рік.}$$

Вартість впровадження заходу

Орієнтовна вартість утеплених вхідних металевих дверей разом із демонтажем старих дверей, монтажем нових та герметизацією стиків приймається:

$$B = 18000 \text{ грн.}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

Простий термін окупності

Простий термін окупності визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B}{\Delta E}$$
$$T_{\text{ок}} = \frac{18000}{430,1} = 41,8 \text{ років.}$$

Для економічно обґрунтованого тарифу:

$$T_{\text{ок.е}} = \frac{18000}{975,8} = 18,4 \text{ років.}$$

Отже, модернізація вхідних дверей має відносно невеликий енергетичний ефект порівняно з утепленням стін або підлоги, оскільки площа дверної конструкції є незначною. Проте цей захід доцільний з погляду покращення комфорту проживання, зменшення протягів, підвищення герметичності будинку та покращення загального теплового режиму приміщень.

Захід №4. Заміна існуючих вікон на енергоефективні металопластикові конструкції

Зменшення тепловтрат через світлопрозорі огорожувальні конструкції є одним із найефективніших способів підвищення енергоефективності приватного житлового будинку. Як показав попередній аналіз, існуючі металопластикові вікна мають недостатній опір теплопередачі та не повністю відповідають сучасним нормативним вимогам.

Для підвищення енергоефективності будинку пропонується заміна існуючих вікон на сучасні енергоефективні металопластикові конструкції з двокамерним енергозберігаючим склопакетом типу 4-10-4-10-4 з

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

низькоемісійним покриттям. Загальний вигляд двокамерного енергозберігаючого склопакета наведено на рис. 3.2.

Такі віконні конструкції забезпечують:

- зменшення тепловтрат;
- підвищення герметичності;
- зниження інфільтрації холодного повітря;
- покращення акустичного комфорту;
- підвищення загальної енергоефективності будинку.



Рисунок 3.2 – Двокамерний енергозберігаючий склопакет [9]

Визначення нормативного опору теплопередачі

Для I температурної зони нормативне значення опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій становить:

$$R_{qmin} = 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Існуючі вікна мають:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

$$R_{\text{існ}} = 0,40 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Після заміни приймаємо:

$$R_{\text{нов}} = 0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Отже:

$$R_{\text{нов}} > R_{q\min}.$$

Розрахунок коефіцієнта скління фасаду

Коефіцієнт скління фасаду визначається за формулою:

$$m_{\text{скл}} = \frac{F_{\text{ск}}}{F_{\text{ск}} + F_{\text{зс}} + F_{\text{дв}}} \quad (3.7)$$

де $F_{\text{ск}}$ — площа вікон;

$F_{\text{зс}}$ — площа зовнішніх стін;

$F_{\text{дв}}$ — площа дверей.

Підставимо значення:

$$m_{\text{скл}} = \frac{14,5}{14,5 + 99 + 2,1} = 0,125$$

$$m_{\text{скл}} = 0,13.$$

Отже, коефіцієнт скління фасаду приватного будинку становить 0,13.

Розрахунок тепловтрат до та після заміни вікон

Тепловтрати через існуючі вікна:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		98

$$Q_{\text{ич}} = K_{\text{ич}} \cdot F \cdot \Delta t \quad (3.8)$$

де:

$$K_{\text{ич}} = \frac{1}{0,40} = 2,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Підставимо значення:

$$Q_{\text{ич}} = 2,5 \cdot 14,5 \cdot 42$$

$$Q_{\text{ич}} = 1522,5 \text{ Вт.}$$

Тепловтрати після заміни:

$$Q_{\text{нов}} = K_{\text{нов}} \cdot F \cdot \Delta t \quad (3.9)$$

де:

$$K_{\text{нов}} = \frac{1}{0,95} = 1,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Підставимо значення:

$$Q_{\text{нов}} = 1,05 \cdot 14,5 \cdot 42$$

$$Q_{\text{нов}} = 639,45 \text{ Вт.}$$

Економія теплової потужності

$$\Delta Q = 1522,5 - 639,45 = 883,05 \text{ Вт}$$

$$\Delta Q = 0,883 \text{ кВт.}$$

Річна економія теплової енергії

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

Річна економія теплової енергії визначається за формулою:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_o \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} \quad (3.10)$$

Підставимо значення:

$$\Delta Q_1 = 883,05 \cdot \frac{20 - (-0,5)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163}$$

$$\Delta Q_1 = 1,57 \text{ Гкал/рік.}$$

Економія за рахунок зменшення інфільтрації

Після встановлення нових герметичних вікон зменшується інфільтрація повітря.

Приймаємо:

- до заміни: $n = 0,60$;
- після заміни: $n = 0,55$.

Річна економія:

$$\Delta Q_2 = (0,60 - 0,55) \cdot 205 \cdot 1,293 \cdot 1005 \cdot (20 - (-0,5)) \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{3600 \cdot 1,163}$$

$$\Delta Q_2 = 0,32 \text{ Гкал/рік.}$$

Загальна економія теплової енергії

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{в}} = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 \quad (3.12)$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{в}} = 1,57 + 0,32 = 1,89 \text{ Гкал/рік.}$$

Річна економія коштів

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

При тарифі:

$$T = 1654,4 \text{ грн/Гкал}$$

економія становить:

$$\Delta E = 1,89 \cdot 1654,4 = 3126,8 \text{ грн/рік.}$$

Для економічно обґрунтованого тарифу:

$$T = 3752,99 \text{ грн/Гкал}$$

$$\Delta E_t = 1,89 \cdot 3752,99 = 7093,2 \text{ грн/рік.}$$

Вартість реалізації заходу

Площа вікон:

$$F = 14,5 \text{ м}^2.$$

Середня ринкова вартість енергоефективних металопластикових вікон разом із монтажем та демонтажем становить приблизно:

$$8500 \text{ грн/м}^2.$$

Тоді загальна вартість реалізації заходу:

$$B = 14,5 \cdot 8500$$

$$B = 123250 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		101

$$T_{\text{ок}} = \frac{123250}{3126,8} = 39,4 \text{ років.}$$

Для економічно обґрунтованого тарифу:

$$T_{\text{ок.е}} = \frac{123250}{7093,2} = 17,4 \text{ років.}$$

Захід №5: Заміна існуючого твердопаливного котла на сучасний котел з підвищеним коефіцієнтом корисної дії

Існуюча система опалення приватного житлового будинку працює на твердопаливному котлі, орієнтовний коефіцієнт корисної дії якого становить:

$$\eta_1 = 0,80$$

Для підвищення енергоефективності системи теплопостачання пропонується заміна існуючого котла на сучасний твердопаливний котел із коефіцієнтом корисної дії:

$$\eta_2 = 0,95$$

Підвищення ККД котла дозволяє забезпечити однакову потребу будівлі в тепловій енергії при менших витратах палива.

Для розрахунку приймаємо річну потребу будинку в тепловій енергії:

$$Q = 26850 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Нижча теплота згоряння деревини становить:

$$Q_{\text{нр}} = 4,0 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

Визначення витрат палива до модернізації

Витрати палива визначаються за формулою:

$$B_1 = \frac{Q}{Q_{\text{нр}} \cdot \eta_1}$$

Підставимо значення:

$$B_1 = \frac{26850}{4,0 \cdot 0,80}$$

$$B_1 = 8390,6 \text{ кг/рік}$$

або

$$B_1 = 8,39 \text{ т/рік}$$

Визначення витрат палива після модернізації

Витрати палива для нового котла визначаються за формулою:

$$B_2 = \frac{Q}{Q_{\text{нр}} \cdot \eta_2}$$

Підставимо значення:

$$B_2 = \frac{26850}{4,0 \cdot 0,95}$$

$$B_2 = 7065,8 \text{ кг/рік}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

або

$$B_2 = 7,07 \text{ т/рік}$$

Економія палива

Річна економія палива становить:

$$\Delta B = B_1 - B_2$$

$$\Delta B = 8,39 - 7,07$$

$$\Delta B = 1,32 \text{ т/рік}$$

Визначення економії теплової енергії

Економія теплової енергії визначається за формулою:

$$\Delta Q = \Delta B \cdot Q_{\text{нр}}$$

$$\Delta Q = 1324,8 \cdot 4,0$$

$$\Delta Q = 5299,2 \text{ кВт·год/рік}$$

Переведемо в Гкал:

$$\Delta Q = \frac{5299,2}{1163}$$

$$\Delta Q = 4,56 \text{ Гкал/рік}$$

Річна економія коштів

Зважаючи на запроваджений в Україні мораторій на підвищення тарифів на теплову енергію в умовах воєнного стану, для оцінки економічної ефективності заходу використовується економічно обґрунтований тариф:

$$T = 3752,99 \text{ грн/Гкал}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Річна економія коштів становитиме:

$$\Delta E = 4,56 \cdot 3752,99$$

$$\Delta E = 17113,6 \text{ грн/рік}$$

Вартість впровадження заходу

Орієнтовна вартість придбання та монтажу сучасного твердопаливного котла потужністю 20–25 кВт становить:

$$B = 85000 \text{ грн}$$

Простий термін окупності

Простий термін окупності визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B}{\Delta E}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{85000}{17113,6}$$

$$T_{\text{ок}} = 4,97 \text{ років}$$

Отже, заміна існуючого твердопаливного котла на сучасний котел із ККД 95 % дозволяє зменшити річні витрати палива приблизно на 1,32 т, що еквівалентно економії 4,56 Гкал теплової енергії на рік. Річний економічний ефект становить 17113,6 грн, а простий термін окупності заходу складає близько 5 років. Крім зниження витрат на паливо, впровадження заходу забезпечує підвищення надійності роботи системи опалення, зменшення викидів продуктів згоряння та покращення умов експлуатації обладнання.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

Таблиця 3.12 – Заходи з підвищення рівня енергоефективності приватного житлового будинку

№	Захід з енергозбереження	Витрати на впровадження, грн	Річна економія теплової енергії, Гкал/рік	Річна економія витрат, грн/рік*	Простий термін окупності, років
1	Утеплення зовнішніх стін мінеральною ватою 150 мм	178200	7,89	29603,6	6,02
2	Утеплення підлоги над неопалювальним технічним простором	91080	4,73	17751,6	5,1
3	Модернізація входних дверей	18000	0,26	975,8	18,4
4	Заміна вікон на енергоефективні металопластикові конструкції	123250	1,89	7093,2	17,4
5	Утеплення перекриття над неопалюваним горищем	72105	3,09	11596,7	6,2
6	Заміна існуючого твердопаливного котла на сучасний котел з ККД 95 %	85000	4,56	17113,6	4,97
Σ	Разом	567635	22,42	84134,5	—

**Розрахунок річної економії витрат виконано з використанням економічно обґрунтованого тарифу на теплову енергію 3752,99 грн/Гкал.*

Проведений аналіз показує, що найбільший ефект з точки зору скорочення тепловтрат забезпечує утеплення зовнішніх стін будинку, оскільки

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

саме через стінові огорожувальні конструкції відбувається найбільша частка втрат теплової енергії. Також суттєвий ефект дає утеплення підлоги та перекриття над неопалюваним горищем.

Найменший економічний ефект має модернізація входних дверей, що пояснюється невеликою площею дверної конструкції. Проте цей захід позитивно впливає на комфорт проживання та зменшення інфільтрації холодного повітря.

Комплексне впровадження запропонованих заходів дозволить:

- зменшити тепловтрати будинку;
- скоротити витрати на опалення;
- покращити температурний комфорт приміщень;
- підвищити загальний рівень енергоефективності приватного житлового будинку.

Висновки до розділу 3

В даному розділі було проведено оцінку теплотехнічного стану приватного житлового будинку та визначено основні джерела втрат теплової енергії. За результатами розрахунків встановлено, що існуючі огорожувальні конструкції будівлі не відповідають сучасним вимогам ДБН В.2.6-31:2021 щодо енергетичної ефективності будівель. Найбільші втрати теплоти відбуваються через зовнішні стіни, підлогу над неопалювальним технічним простором та перекриття над неопалюваним горищем. Додатковими джерелами тепловтрат є світлопрозорі конструкції та входні двері, які мають недостатні теплотехнічні характеристики.

У результаті проведених розрахунків було визначено теплове навантаження будівлі та розроблено комплекс заходів, спрямованих на підвищення рівня її енергоефективності. До запропонованих заходів належать утеплення зовнішніх стін, утеплення підлоги над неопалювальним технічним

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

простором, утеплення перекриття над неопалюваним горищем, модернізація вхідних дверей, заміна існуючих вікон на сучасні енергоефективні конструкції, а також заміна існуючого твердопаливного котла на сучасний котел із підвищеним коефіцієнтом корисної дії.

За результатами техніко-економічного аналізу встановлено, що найбільший потенціал енергозбереження мають заходи з утеплення зовнішніх стін, утеплення підлоги та модернізації системи теплопостачання. Загальна річна економія теплової енергії від впровадження запропонованого комплексу заходів становить 22,42 Гкал, а сумарний річний економічний ефект досягає 84,13 тис. грн. Реалізація запропонованих рішень дозволить суттєво знизити тепловтрати будівлі, скоротити витрати на опалення та підвищити рівень теплового комфорту мешканців.

Отже, проведені дослідження підтвердили доцільність комплексної термомодернізації будинку. Впровадження запропонованих енергоефективних заходів забезпечить підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі, зменшення споживання паливно-енергетичних ресурсів та наближення її характеристик до сучасних нормативних вимог у сфері енергозбереження.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

4.1 Аналіз існуючого стану та сучасних тенденцій розвитку енергоменеджменту на подібних об'єктах в Україні, в тому числі нормативно-правові вимоги

На сьогодні питання енергоефективності є дуже актуальним для приватних житлових будинків, оскільки тарифи на електроенергію, воду та опалення постійно зростають. Через це власники будинків все більше звертають увагу на можливість зменшення споживання енергоресурсів та зниження витрат на комунальні послуги. Одним із головних інструментів для цього є система енергоменеджменту, яка дозволяє контролювати використання енергії та знаходити способи її економії [23].

Загальну схему системи енергоменеджменту приватного будинку наведено на рис. 4.1.

Енергоменеджмент у приватному будинку включає:

- контроль споживання електроенергії;
- контроль витрат тепла;
- раціональне використання води;
- аналіз роботи інженерних систем;
- впровадження енергоефективних заходів.

У більшості старих приватних будинків в Україні спостерігаються значні тепловтрати через недостатнє утеплення стін, покрівлі, підлоги та

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ						
Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.	Макарова Є.І				РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ			Літ	Аркуш	Аркушів	
Перевір.	Закладний О.О.									109	10
Реценз.								НН ІЕЕ, кафелра ЕП			
Н. Контр.	Прокопенко І.Д.										
Затвер.											

застарілі вікна й двері. Крім того, часто відсутні сучасні системи автоматичного регулювання температури, через що система опалення працює неефективно. Це призводить до збільшення витрат на опалення та погіршення умов проживання [24].



Рисунок 4.1 – Загальна схема системи енергоменеджменту приватного будинку [10]

Сучасні тенденції розвитку енергоменеджменту пов’язані з використанням:

- автоматизованих систем контролю;
- розумних лічильників;
- систем дистанційного моніторингу;
- відновлюваних джерел енергії;
- систем «розумного будинку».

В останні роки в Україні також активно впроваджуються заходи з термомодернізації житлових будинків. Найпоширенішими серед них є:

- утеплення фасадів;
- утеплення дахів та підлог;

- заміна старих вікон;
- встановлення енергоефективного освітлення;
- використання сучасних котлів та теплових насосів [25].

Важливу роль у розвитку енергоефективності відіграє законодавство України. Основними нормативними документами є:

- Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»;
- Закон України «Про енергозбереження»;
- ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».

Ці документи встановлюють вимоги до теплового захисту будівель та визначають мінімально допустимі показники енергоефективності [26, 27, 28].

Таким чином, впровадження системи енергоменеджменту у приватному будинку дозволяє не лише зменшити витрати на енергоносії, але й підвищити комфорт проживання та покращити загальний технічний стан будівлі.

4.2 Рекомендації щодо розвитку систем обліку та моніторингу споживання енергії та ресурсів

Для ефективного використання енергетичних ресурсів у приватному будинку важливо організувати систему обліку та моніторингу споживання електроенергії, тепла та води. Така система дозволяє контролювати витрати ресурсів, своєчасно виявляти перевитрати та аналізувати ефективність впроваджених енергоефективних заходів.

На сьогодні у багатьох приватних будинках використовується лише загальний облік електроенергії та води. Це не дозволяє визначити, які саме системи або прилади споживають найбільше енергії. Через це складно оцінити ефективність роботи системи опалення чи окремих електроприладів.

Для покращення контролю енергоспоживання рекомендується використовувати сучасні системи моніторингу, які можуть автоматично

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

збирати та передавати інформацію про споживання ресурсів [29]. Структуру системи моніторингу енергоресурсів приватного будинку наведено на рис. 4.2.

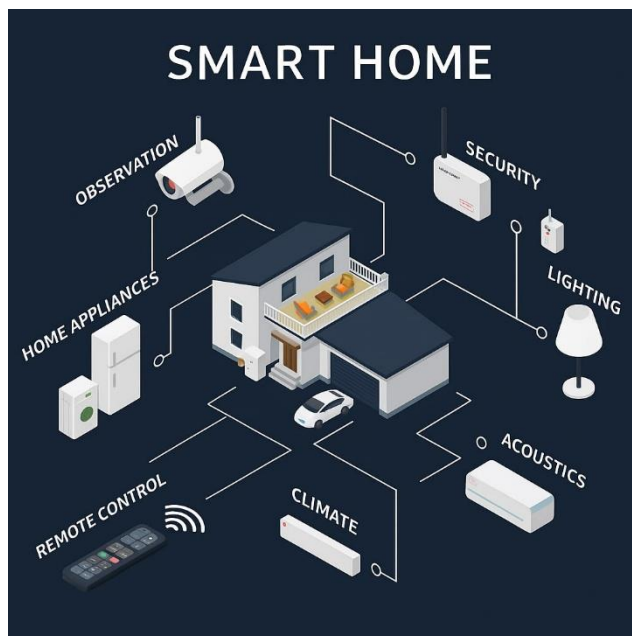


Рисунок 4.2 – Структура системи моніторингу енергоресурсів приватного будинку [11]

Система моніторингу може включати:

- електролічильники;
- теплові лічильники;
- датчики температури;
- датчики вологості;
- системи автоматичного керування опаленням;
- мобільні додатки для контролю споживання енергії.

Використання сучасних систем обліку дозволяє:

- контролювати споживання ресурсів у реальному часі;

- аналізувати зміни споживання;
- виявляти аварійні ситуації;
- зменшувати витрати на енергоресурси;
- покращувати ефективність роботи систем опалення та електропостачання.

Для приватного будинку доцільно встановити багатотарифний електролічильник, який дозволяє використовувати дешевший нічний тариф. Це особливо ефективно при використанні електричного опалення, бойлерів та акумуляційних систем.

Також рекомендується використовувати автоматичні терморегулятори та програмовані контролери температури. Вони дозволяють підтримувати комфортний температурний режим та зменшувати витрати теплової енергії під час відсутності мешканців [24].

Для більш детального контролю можна використовувати систему «розумного будинку», яка автоматично регулює:

- освітлення;
- температуру;
- роботу побутових приладів;
- вентиляцію;
- системи безпеки.

Крім того, важливим напрямком є впровадження відновлюваних джерел енергії, наприклад:

- сонячних панелей;
- сонячних колекторів;

- теплових насосів.

Використання таких систем дозволяє частково забезпечити будинок власною енергією та зменшити залежність від зовнішніх енергоресурсів [25].

4.3 Рекомендації щодо організаційно управлінських заході

Для ефективного впровадження системи енергоменеджменту у приватному будинку важливо не лише використовувати сучасне обладнання, але й правильно організувати контроль за використанням енергоресурсів. Без постійного контролю та дотримання простих правил енергозбереження навіть сучасні системи не забезпечать достатнього ефекту.

Для цього рекомендується:

- регулярно контролювати показники лічильників;
- аналізувати витрати енергоресурсів;
- своєчасно проводити технічне обслуговування обладнання;
- дотримуватись правил енергоощадного використання приладів.

У приватному будинку доцільно організувати просту систему енергетичного моніторингу, яка дозволить контролювати:

- витрати електроенергії;
- споживання води;
- роботу системи опалення;
- температурний режим приміщень.

Схему організації енергетичного моніторингу приватного будинку наведено на рис. 4.3.

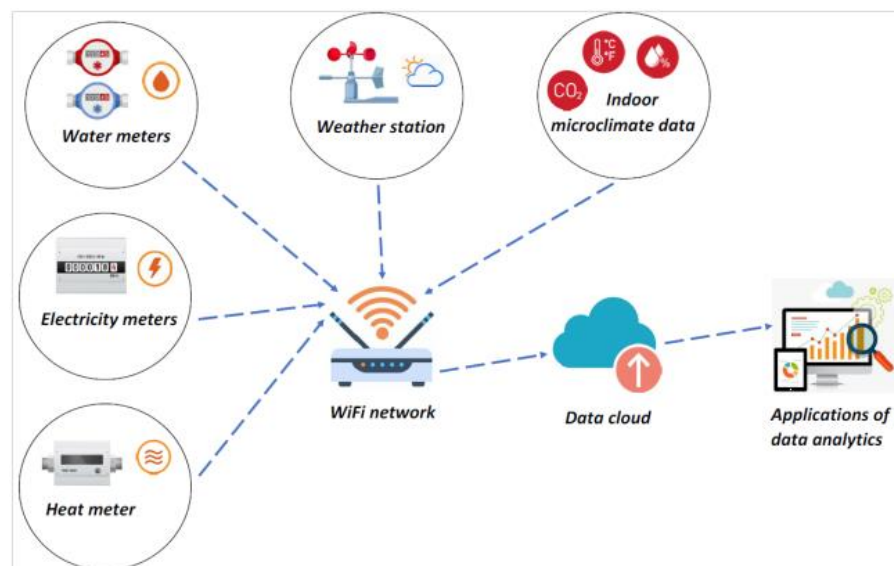


Рисунок 4.3 – Схема організації енергетичного моніторингу приватного будинку [12]

Для підвищення рівня енергоефективності рекомендується:

- використовувати LED-освітлення;
- вимикати електроприлади у режимі очікування;
- підтримувати оптимальну температуру в кімнатах;
- регулярно перевіряти герметичність вікон та дверей;
- проводити сезонні огляди системи опалення.

Також важливо періодично перевіряти:

- стан утеплення;
- роботу котла;
- тиск у системі опалення;
- стан трубопроводів;
- роботу циркуляційних насосів.

Такі заходи дозволяють своєчасно виявляти несправності та зменшувати тепловтрати будинку.

Крім того, важливу роль відіграє свідоме ставлення мешканців до використання енергоресурсів. Навіть прості дії, такі як вимикання освітлення чи економне використання гарячої води, можуть суттєво впливати на загальне споживання енергії [23].

Висновки до розділу 4

У даному розділі було розглянуто основні напрямки розвитку системи енергоменеджменту у приватному житловому будинку. Проведений аналіз показав, що для ефективного зменшення витрат енергоресурсів необхідно поєднувати технічні та організаційні заходи.

Було запропоновано використання сучасних систем обліку та моніторингу енергоспоживання, автоматизованих засобів керування системою опалення, а також заходів з контролю та аналізу використання ресурсів. Особлива увага приділялась можливості впровадження систем «розумного будинку» та використанню відновлюваних джерел енергії.

Запропоновані рекомендації дозволять:

- зменшити споживання енергії;
- скоротити витрати на опалення та електроенергію;
- покращити комфорт проживання;
- підвищити рівень енергоефективності будинку.

Отже, впровадження системи енергоменеджменту є важливим етапом модернізації приватного житлового будинку та дозволяє забезпечити більш раціональне використання енергетичних ресурсів.

5 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

У сучасних умовах підвищення вартості енергоресурсів та нестабільності централізованого енергопостачання особливо актуальним є впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у приватному житловому секторі. Використання сонячної енергії, сучасних систем акумулювання електроенергії та енергоефективних технологій дозволяє знизити залежність будинку від зовнішніх енергетичних мереж, скоротити витрати на енергоресурси та підвищити рівень енергетичної безпеки об'єкта.

Для приватного житлового будинку, розташованого у Донецькій області, впровадження ВДЕ є особливо актуальним з огляду на нестабільність електропостачання в регіоні та значні витрати на опалення у зимовий період. Аналіз структури енергоспоживання показав, що найбільшу частку витрат становить теплова енергія для опалення будинку, а також суттєвими є витрати на електропостачання побутового обладнання та освітлення.

У зв'язку з цим доцільним є розгляд можливості впровадження резервної гібридної системи електроживлення на базі сонячних фотоелектричних панелей та акумуляторних батарей. Така система дозволить:

- частково компенсувати споживання електричної енергії з мережі;

забезпечити резервне живлення будинку під час аварійних відключень;

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ			
Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Макарова Є.І			ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВТОРИННИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ	Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Бориченко О.В.					117	10
Реценз.						НН ІЕЕ, кафелра ЕП		
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.						
Затвер.								

- знизити річні витрати на електроенергію;
- підвищити рівень автономності житлового будинку.

5.1 Оцінка кліматичних умов для використання ВДЕ

Приватний житловий будинок розташований у смт Олександрівка Краматорського району Донецької області. Для даного регіону характерний помірно-континентальний клімат із жарким літом, помірно холодною зимою та значними сезонними коливаннями температури зовнішнього повітря. Кліматичні умови регіону безпосередньо впливають на ефективність використання сонячної енергії та роботу систем відновлюваної енергетики [29]. Основні кліматичні характеристики регіону наведено на рис. 5.1.

Середньорічна температура зовнішнього повітря для району розташування будинку становить близько $+8...+9$ °С. Найнижчі температури спостерігаються у січні та лютому, коли середньомісячна температура становить близько -5 °С, а в літній період температура повітря може перевищувати $+30$ °С. Тривалість опалювального періоду становить приблизно 176 діб, що призводить до значних витрат теплової енергії на опалення будинку.

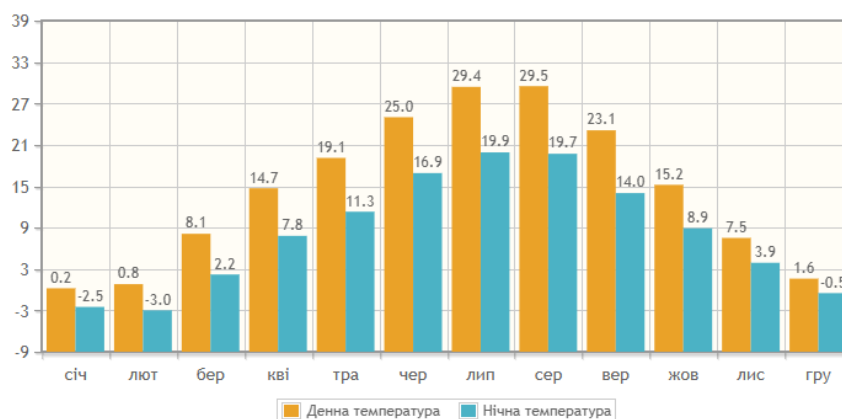


Рисунок 5.1 – Кліматичні умови Донецької області

Середньомісячні температури зовнішнього повітря для району розташування об'єкта наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Середньомісячна температура зовнішнього повітря

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t, °C	-5,2	-4,4	0,7	9,4	15,4	19,0	21,2	19,8	14,9	8,0	1,8	-2,9

Кліматичні умови Донецької області характеризуються достатнім рівнем сонячної активності. Середньорічна сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню становить приблизно 1300–1450 кВт·год/м² за рік, що є достатнім показником для ефективного використання сонячних фотоелектричних систем [30].

Найбільша інтенсивність сонячного випромінювання спостерігається у весняно-літній період — з квітня по вересень. Саме в цей період сонячна електростанція може забезпечувати основну частину потреб будинку в електроенергії. У літні місяці також збільшується споживання електроенергії через використання кондиціонера та вентиляційного обладнання, тому використання сонячної генерації є особливо доцільним. Як видно з рис. 5.2, територія Донецької області належить до регіонів України з достатньо високим потенціалом використання сонячної енергії.

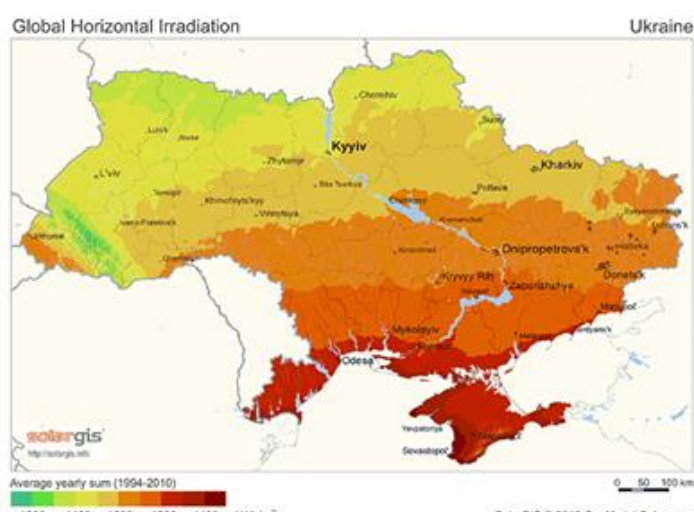


Рисунок 5.2 – Карта сонячного випромінювання України

Враховуючи орієнтацію будинку та наявність достатньої площі покрівлі, доцільним є встановлення фотоелектричних панелей на південному схилі даху. Орієнтовний кут нахилу сонячних панелей для даного регіону може становити 30–35°, що дозволить забезпечити максимальне річне виробництво електроенергії [31].

Для підвищення енергетичної автономності будинку пропонується впровадження резервної гібридної системи електроживлення, до складу якої входять:

- сонячні фотоелектричні панелі;
- гібридний інвертор;
- акумуляторні батареї;
- система автоматичного резервного живлення.

Основною метою впровадження даної системи є:

- забезпечення резервного електроживлення під час аварійних відключень;
- часткове покриття власного споживання електроенергії;
- зменшення витрат на електропостачання;
- підвищення енергоефективності приватного житлового будинку.

Таким чином, кліматичні умови району розташування об'єкта є сприятливими для використання сонячної енергії та впровадження сучасних систем відновлюваної енергетики. Це підтверджує доцільність подальшого розгляду можливості встановлення гібридної сонячної електростанції для забезпечення потреб приватного житлового будинку.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

5.2 Аналіз рівня сонячного випромінювання для приватного житлового будинку в Донецькій області

Визначення рівня сонячного випромінювання та оптимальних параметрів встановлення сонячних панелей є необхідним для оцінки доцільності впровадження резервної гібридної сонячної електростанції для приватного житлового будинку. Аналіз сонячного потенціалу дозволяє оцінити можливий рівень генерації електроенергії та ефективність використання сонячної енергії в умовах Донецької області [28].

Розрахунок оптимального кута нахилу сонячних панелей

Кут нахилу сонячних панелей відносно горизонтальної площини є одним із найважливіших параметрів, що впливають на ефективність роботи фотоелектричної системи. Оптимальний кут нахилу залежить від географічної широти місцевості та визначається за емпіричною формулою [29]:

$$\alpha_{\text{опт}} = \varphi \cdot 0.76 + 3.1^{\circ}, \quad (5.1)$$

де $\alpha_{\text{опт}}$ — оптимальний кут нахилу сонячних панелей;

φ — географічна широта місцевості.

Для смт Олександрівка Донецької області географічна широта становить приблизно $48,7^{\circ}$. Тоді:

$$\alpha_{\text{опт}} = 48.7 \cdot 0.76 + 3.1 = 40.1^{\circ} \approx 40^{\circ}$$

Таким чином, оптимальний кут нахилу сонячних панелей для умов Донецької області становить приблизно 40° . Такий кут забезпечує найбільш ефективне використання сонячної енергії протягом року [30].

Моделювання за допомогою Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

Для більш точного визначення потенціалу сонячної енергетики було використано онлайн-сервіс PVGIS (Photovoltaic Geographical Information

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

System), розроблений Європейською комісією [31]. Даний сервіс дозволяє виконувати моделювання роботи сонячних електростанцій з урахуванням географічного розташування об'єкта, кліматичних умов та параметрів фотоелектричної установки.

Під час моделювання були використані такі параметри:

- координати об'єкта: 48.73° N, 37.57° E;
- орієнтація панелей — на південь;
- кут нахилу панелей — 40°;
- тип системи — дахова фотоелектрична установка.

Після введення параметрів у PVGIS було отримано результати щодо середньомісячного надходження сонячної енергії та прогнозованої генерації електроенергії. Географічне розташування приватного житлового будинку, прийняте для виконання розрахунків у системі PVGIS, наведено на рис. 5.3.

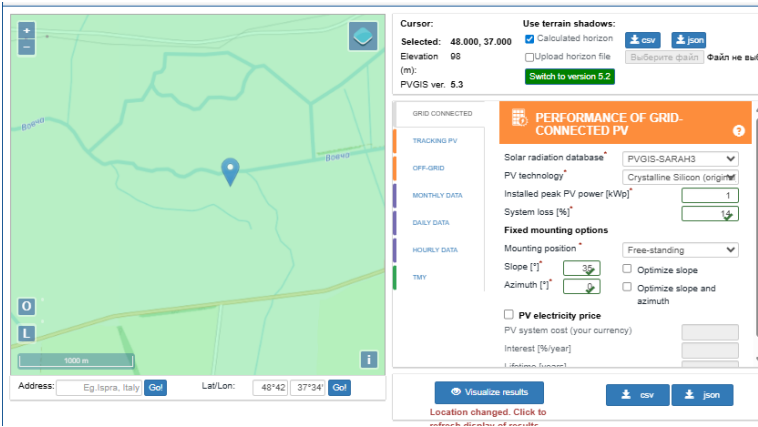


Рисунок 5.3 – Географічне розташування приватного житлового будинку у системі PVGIS

На основі отриманих результатів було побудовано графік середньомісячного сонячного випромінювання для досліджуваного об'єкта. Аналіз показав, наведеного на рис. 5.4, що найбільші показники сонячної

активності спостерігаються у період з травня по серпень, тоді як у зимові місяці рівень сонячного випромінювання є значно нижчим.

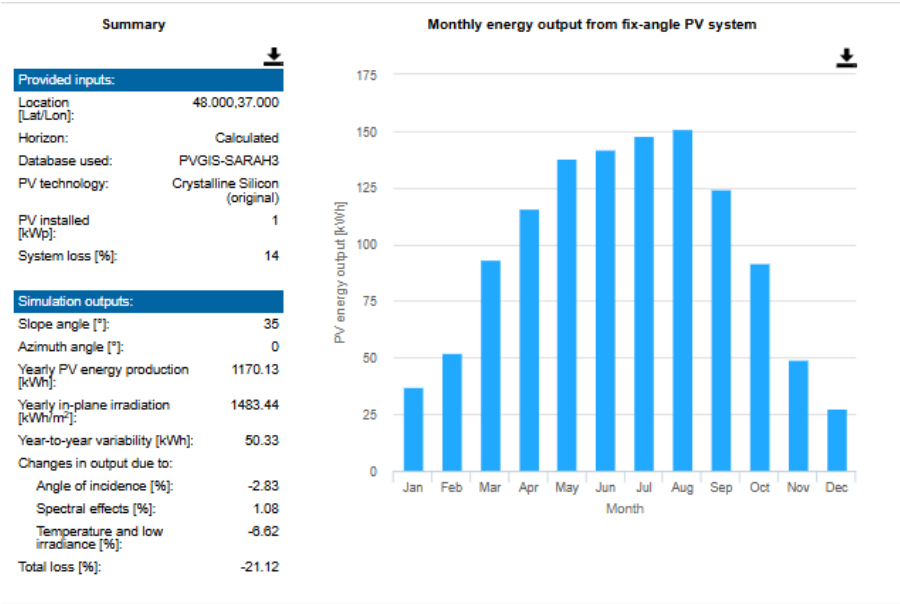


Рисунок 5.4 – Середньомісячне сонячне випромінювання для Донецької області

Для визначення середньодобового сонячного випромінювання використовувалась формула [31]:

$$q = \frac{Q}{n}, \tag{5.2}$$

де Q — середньомісячна кількість сонячної енергії, кВт·год;
n — кількість днів у місяці.

Наприклад, для січня:

$$q = \frac{52.7}{31} = 1.70 \text{ кВт} \cdot \text{год/день}$$

Результати розрахунків наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Середньодобове сонячне випромінювання для Донецької області

Місяць	Кількість днів	Середньодобове випромінювання, кВт·год/день
Січень	31	1,70
Лютий	28	2,45
Березень	31	3,68
Квітень	30	4,72
Травень	31	5,48
Червень	30	5,96
Липень	31	5,81
Серпень	31	5,21
Вересень	30	4,12
Жовтень	31	2,96
Листопад	30	1,68
Грудень	31	1,34
Середнє	—	3,93

Отримані результати свідчать про достатній рівень сонячного потенціалу для використання фотоелектричних систем у Донецькій області. Найбільша ефективність роботи сонячної електростанції очікується у весняно-літній період, коли рівень сонячного випромінювання є максимальним.

Крім того, було проведено аналіз впливу кута нахилу, орієнтації панелей та можливого затінення на ефективність роботи сонячної установки. Результати аналізу наведено на рис. 5.5. Встановлено, що найбільш ефективною є орієнтація панелей на південь при куті нахилу 38–40°.

Відхилення від оптимального кута або наявність затінення можуть призводити до зниження річної генерації електроенергії на 10–20 % [31].

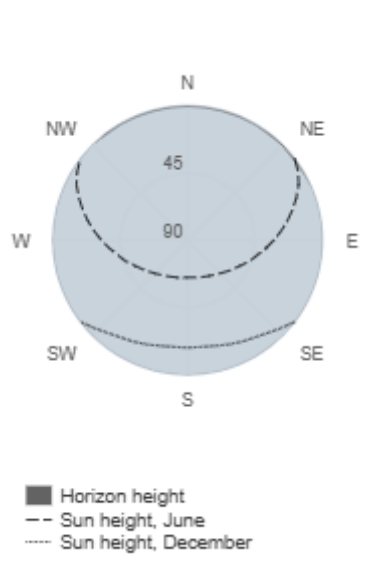


Рисунок 5.5 – Вплив кута нахилу та орієнтації сонячних панелей на ефективність генерації електроенергії

Таким чином, результати проведеного аналізу підтверджують доцільність впровадження резервної гібридної сонячної електростанції для забезпечення частини потреб приватного житлового будинку в електричній енергії.

5.3 Вибір та обґрунтування параметрів гібридної сонячної електростанції

Після проведення аналізу кліматичних умов, рівня сонячного випромінювання та структури енергоспоживання приватного житлового будинку було визначено, що для даного об'єкта доцільним є впровадження гібридної сонячної електростанції. Основною метою встановлення такої системи є зменшення споживання електроенергії з централізованої мережі, підвищення рівня енергонезалежності будинку та забезпечення резервного живлення під час аварійних відключень електроенергії [32].

Аналіз споживання електроенергії показав, що у 2025 році річне електроспоживання будинку становило приблизно 8350 кВт·год. Найбільше споживання спостерігається у зимовий період через збільшення тривалості роботи освітлення, циркуляційного насоса системи опалення та інших побутових електроприладів. У літній період навантаження на електромережу зростає через використання кондиціонера та вентиляційного обладнання.

З урахуванням річного споживання електроенергії та площі покрівлі було прийнято рішення про встановлення сонячної електростанції потужністю 5 кВт. Така потужність є оптимальною для приватного житлового будинку, оскільки дозволяє покривати значну частину власного електроспоживання без необхідності встановлення надто великої кількості обладнання [33].

Запропонована система буде складатися із сонячних фотоелектричних панелей, гібридного інвертора, акумуляторних батарей та допоміжного захисного обладнання. Принцип роботи системи полягає у перетворенні сонячного випромінювання в електричну енергію за допомогою фотоелектричних панелей. Згенерована електроенергія використовується для живлення побутових споживачів будинку, а надлишок накопичується в акумуляторних батареях.

Для встановлення системи пропонується використати монокристалічні сонячні панелі, оскільки вони мають високий коефіцієнт корисної дії та характеризуються стабільною роботою навіть за змінних погодних умов [34].

Для забезпечення встановленої потужності системи необхідно використати 10 сонячних панелей потужністю 500 Вт кожна:

$$P_{\text{СЕС}} = 10 \cdot 500 = 5000 \text{ Вт} = 5 \text{ кВт}$$

Сонячні панелі планується встановити на південному схилі покрівлі будинку. Будівля має багатосхилий дах, виконаний з хвилястих азбестоцементних листів. Існуючий конструктивний кут нахилу схилу

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		126

покрівлі становить 35° , що практично повністю збігається з раніше визначеними оптимальними параметрами для даного регіону $35\text{--}40^\circ$. Зважаючи на це, фотоелектричні модулі будуть монтуватися паралельно площині даху на стандартну накладну систему кріплень без зміни кута нахилу конструкції, що дозволить зберегти аеродинамічні властивості покрівлі та мінімізувати вітрове навантаження.

Для перетворення постійного струму у змінний пропонується використання гібридного інвертора потужністю 5 кВт із MPPT-контролером. Використання саме гібридного інвертора дозволяє поєднати роботу сонячних панелей, акумуляторних батарей та централізованої електромережі. Крім того, така система забезпечує автоматичне перемикання на резервне живлення у випадку відключення електроенергії [35].

Для накопичення електроенергії передбачається використання акумуляторних батарей типу LiFePO_4 загальною ємністю 10 кВт·год. Даний тип акумуляторів характеризується високим ресурсом роботи, безпечністю та можливістю тривалого використання без значної втрати ємності [36].

Під час аварійних відключень система зможе забезпечувати електроживлення найбільш важливих споживачів будинку, а саме:

- освітлення;
- холодильника;
- циркуляційного насоса системи опалення;
- інтернет-обладнання;
- малопотужної побутової техніки.

Структурна схема запропонованої гібридної сонячної електростанції наведена на рис. 5.6.

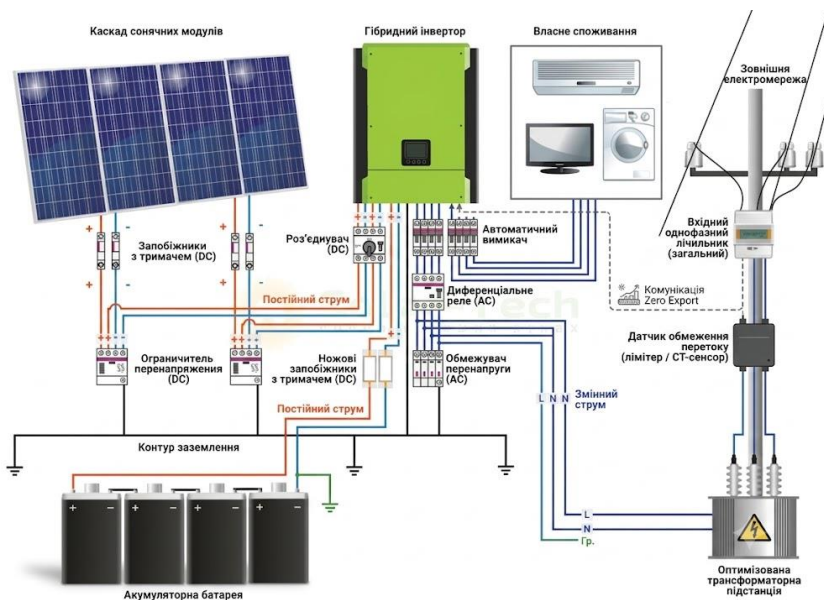


Рисунок 5.6 – Структурна схема гібридної сонячної електростанції приватного житлового будинку

Для розміщення сонячних панелей необхідна площа покрівлі становить:

$$F = 10 \cdot 2.2 = 22 \text{ м}^2$$

де 2,2 м² — площа однієї сонячної панелі потужністю 500 Вт.

Отримане значення підтверджує можливість встановлення сонячної електростанції на покрівлі досліджуваного будинку без додаткових конструктивних змін.

Таким чином, встановлення гібридної сонячної електростанції потужністю 5 кВт є технічно можливим та доцільним для даного приватного житлового будинку. Запропонована система дозволить зменшити споживання електроенергії з мережі, скоротити витрати на електропостачання та підвищити рівень енергонезалежності будинку.

5.4 Розрахунок прогнозованої генерації електроенергії сонячною електростанцією

Для оцінки ефективності впровадження гібридної сонячної електростанції необхідно визначити прогнозований річний виробіток електроенергії та рівень покриття потреб приватного житлового будинку.

Розрахунок прогнозованої генерації електроенергії було виконано на основі результатів моделювання у програмному середовищі PVGIS, наведених у попередньому підпункті. За результатами моделювання встановлено, що фотоелектрична система потужністю 1 кВт для умов Донецької області здатна виробляти приблизно 1170,13 кВт·год електроенергії на рік [36].

Для визначення річної генерації електроенергії сонячною електростанцією використовується формула:

$$E_{\text{СЕС}} = E_{1\text{кВт}} \cdot P_{\text{СЕС}}, \quad (5.3)$$

де $E_{\text{СЕС}}$ — річний виробіток електроенергії сонячною електростанцією, кВт·год;

$E_{1\text{кВт}}$ — річний виробіток електроенергії для системи потужністю 1 кВт, кВт·год;

$P_{\text{СЕС}}$ — встановлена потужність сонячної електростанції, кВт.

Підставивши отримані значення, визначимо прогнозований річний виробіток електроенергії для сонячної електростанції потужністю 5 кВт:

$$E_{\text{СЕС}} = 1170.13 \cdot 5 = 5850.65 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Отриманий результат показує, що гібридна сонячна електростанція потужністю 5 кВт здатна виробляти приблизно 5850 кВт·год електроенергії на рік.

На основі результатів моделювання PVGIS було визначено прогнозований помісячний виробіток електроенергії сонячною електростанцією. Результати розрахунків наведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Помісячна генерація електроенергії сонячною електростанцією потужністю 5 кВт

Місяць	Генерація електроенергії, кВт·год
Січень	184,5
Лютий	259,0
Березень	469,5
Квітень	580,5
Травень	690,0
Червень	708,5
Липень	756,5
Серпень	752,0
Вересень	619,5
Жовтень	462,0
Листопад	244,5
Грудень	139,5
Разом	5850,65

На рисунку 5.7 наведено графік помісячної генерації електроенергії сонячною електростанцією.

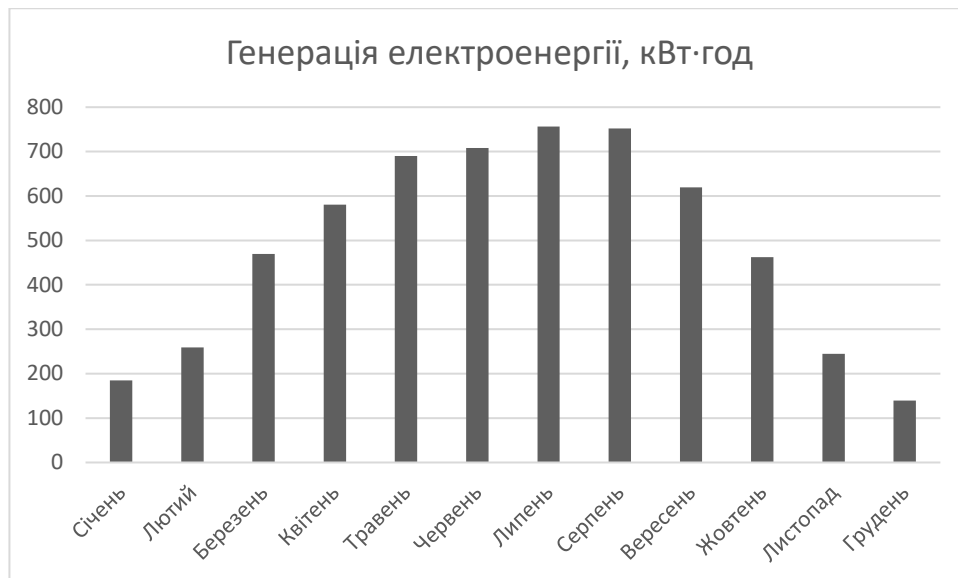


Рисунок 5.7 – Помісячна генерація електроенергії сонячною електростанцією потужністю 5 кВт

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільша генерація електроенергії спостерігається у літній період — з травня по серпень. У цей час сонячна електростанція забезпечує максимальний виробіток електроенергії завдяки високому рівню сонячного випромінювання та більшій тривалості світлового дня.

У зимовий період рівень генерації значно знижується через зменшення інтенсивності сонячного випромінювання та несприятливі погодні умови. Найменший виробіток спостерігається у грудні та січні.

Для оцінки ефективності роботи сонячної електростанції було визначено рівень покриття річних потреб будинку в електроенергії. Річне споживання електричної енергії у 2025 році становило приблизно 8350 кВт·год.

Рівень покриття потреб будинку визначається за формулою:

$$\eta = \frac{E_{\text{СЕС}}}{E_{\text{спож}}} \cdot 100\%, \quad (5,4)$$

де $E_{\text{СЕС}}$ — річна генерація сонячної електростанції, кВт·год;
 $E_{\text{спож}}$ — річне споживання електроенергії будинком, кВт·год.

Підставляючи отримані значення, отримаємо:

$$\eta = \frac{5850.65}{8350} \cdot 100\% = 70.07\%$$

Таким чином, сонячна електростанція потужністю 5 кВт здатна покривати приблизно 70 % річного споживання електроенергії приватного житлового будинку.

Отримані результати свідчать про достатньо високий рівень ефективності запропонованої фотоелектричної системи. Впровадження гібридної сонячної електростанції дозволить суттєво знизити споживання електроенергії з централізованої мережі, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити рівень енергетичної автономності будинку.

5.5 Аналіз економічної доцільності та чутливості впровадження гібридної сонячної електростанції

Після визначення технічних параметрів гібридної сонячної електростанції та розрахунку прогнозованої генерації електроенергії необхідно оцінити економічну доцільність її впровадження для досліджуваного приватного житлового будинку. Економічний аналіз дозволяє визначити ефективність інвестицій у встановлення сонячної електростанції, оцінити рівень майбутньої економії коштів та встановити термін окупності запропонованого заходу [38].

Використання гібридної сонячної електростанції дає змогу не лише зменшити споживання електроенергії з централізованої мережі, але й забезпечити резервне живлення критично важливих споживачів під час аварійних відключень електроенергії. Особливо актуальним це є для

Донецької області, де стабільність електропостачання залишається важливим фактором енергетичної безпеки житлових будинків [39].

Для досліджуваного об'єкта запропоновано встановлення гібридної сонячної електростанції потужністю 5 кВт на базі фотоелектричних модулів, гібридного інвертора Deye SUN-5K-SG05LP1-EU та акумуляторної батареї DEYE SE-G5.1 Pro-B. Комплектація запропонованої системи наведена в таблиці 5.4 та рис. 5.8 [40].

Таблиця 5.4 – Комплектація гібридної сонячної електростанції потужністю 5 кВт

№	Найменування	ТМ	Од. вим.	К- ть
1	Фотоелектричний модуль 445 Вт	По наявності	шт.	12
2	Інвертор гібридний SUN-5K-SG05LP1-EU	Deye	шт.	1
3	Акумуляторна батарея DEYE SE-G5.1 Pro-B	Deye	шт.	1
4	Система кріплення	–	шт.	12
5	Кабель Solar 1×4	КВЕ	м	150
6	Розподільчі пристрої 0,4 кВ	–	к-т	1
7	Комплект електромонтажних матеріалів із заземленням	–	к-т	1

Загальна вартість комплекту обладнання гібридної сонячної електростанції становить 177 000 грн [40].



Рисунок 5.8 – Загальний вигляд та складові елементи гібридної сонячної електростанції

Сумарна встановлена потужність фотоелектричних модулів становить :

$$P_{\text{СЕС}} = n \cdot P_{\text{мод}}$$

де $P_{\text{СЕС}}$ — встановлена потужність сонячної електростанції, Вт;

n — кількість фотоелектричних модулів, шт.;

$P_{\text{мод}}$ — потужність одного фотоелектричного модуля, Вт.

Підставляючи отримані значення, отримаємо:

$$P_{\text{СЕС}} = 12 \cdot 445 = 5340 \text{ Вт} = 5,34 \text{ кВт}$$

Оскільки номінальна потужність гібридного інвертора становить 5 кВт, у

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		134

подальших розрахунках система розглядається як сонячна електростанція потужністю 5 кВт.

Для оцінки економічної ефективності проєкту було визначено річну економію коштів за рахунок скорочення споживання електроенергії з мережі. Розрахунок виконується за формулою :

$$E = E_{\text{СЕС}} \cdot T, \quad (5.6)$$

де E — річна економія коштів, грн/рік;

$E_{\text{СЕС}}$ — річна генерація електроенергії сонячною електростанцією, кВт·год/рік;

T — тариф на електроенергію, грн/кВт·год.

За чинного тарифу на електроенергію для населення 4,32 грн/кВт·год річна економія становить:

$$E = 5850,65 \cdot 4,32 = 25274,81 \text{ грн/рік}$$

Для проведення фінансового аналізу прийнято горизонт планування 20 років, що відповідає середньому строку експлуатації фотоелектричних модулів [42]. Ставка дисконтування прийнята на рівні 15 %, що враховує інфляційні ризики та альтернативну вартість капіталу [43].

Оскільки до складу системи входять акумуляторна батарея та гібридний інвертор, у розрахунках також враховано додаткові витрати на їх заміну приблизно на 12 році експлуатації. Орієнтовна вартість заміни приймається на рівні 45 % від початкової вартості системи:

$$V_{\text{зам}} = 177000 \cdot 0,45 = 79650 \text{ грн}$$

Для оцінки ефективності проєкту було визначено простий строк окупності :

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		135

$$PB = \frac{K}{CF}, \quad (5.7)$$

де PB — простий строк окупності, років;

K — капітальні витрати, грн;

CF — чистий річний грошовий потік, грн/рік.

Підставляючи отримані значення, отримаємо:

$$PB = \frac{198240}{23504,81} = 7,10 \text{ року}$$

Таким чином, простий строк окупності гібридної сонячної електростанції становить приблизно 7 років 10 місяців.

Основні фінансові показники проєкту наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Основні фінансові показники проєкту

Показник	Значення
Встановлена потужність СЕС	5 кВт
Річна генерація електроенергії	5850,65 кВт·год
Вартість обладнання	177 000 грн
Річна економія	25 274,81 грн
Чистий річний грошовий потік	23 504,81 грн
Горизонт планування	20 років
Ставка дисконтування	15 %
Простий термін окупності	7,10 року

Для врахування зміни вартості грошей у часі було визначено чисту приведену вартість проєкту (NPV) та внутрішню норму прибутковості (IRR). Розрахунки виконані з урахуванням заміни акумуляторної батареї та інвертора на 12 році експлуатації.

За результатами розрахунків отримано:

NPV=-44762,77 грн

IRR=9,79%

Отримані результати свідчать про те, що за поточного тарифу на електроенергію та прийнятої ставки дисконтування проєкт не демонструє високої інвестиційної привабливості. Проте впровадження системи забезпечує додаткові переваги у вигляді резервного живлення, підвищення енергетичної безпеки та зменшення залежності від централізованого електропостачання.

Для оцінки стійкості проєкту до зміни вихідних параметрів було проведено аналіз чутливості основних показників ефективності до зміни капітальних витрат, досягнутої економії та ставки дисконтування [43].

Результати аналізу наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Результати аналізу чутливості показників NPV та IRR

Сценарій	+20 %	+10 %	Базовий	-10 %	-20 %
Зміна капітальних витрат					
NPV, тис. грн	-85,36	-65,06	-44,76	-24,47	-4,17
IRR, %	6,36	7,97	9,79	11,91	14,42
Зміна досягнення економії					
NPV, тис. грн	-13,12	-28,94	-44,76	-60,58	-76,40
IRR, %	13,53	11,70	9,79	7,78	5,62
Зміна ставки дисконтування					
NPV, тис. грн	-62,11	-54,01	-44,76	-34,15	-21,88
IRR, %	9,79	9,79	9,79	9,79	9,79

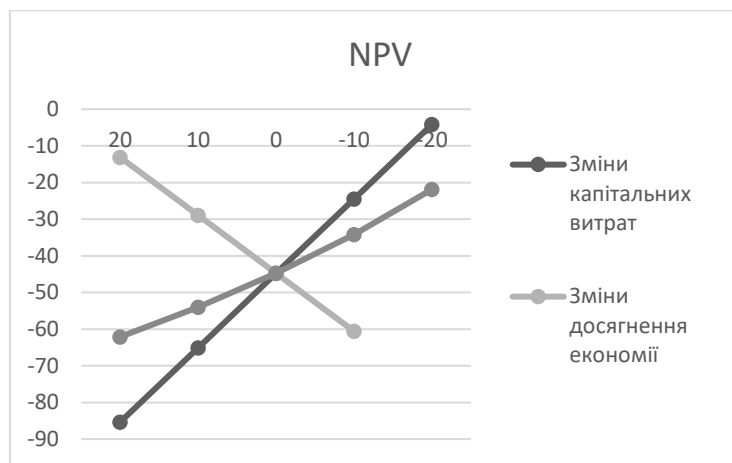


Рисунок 5.9 – Аналіз чутливості чистої приведеної вартості (NPV) до зміни основних параметрів

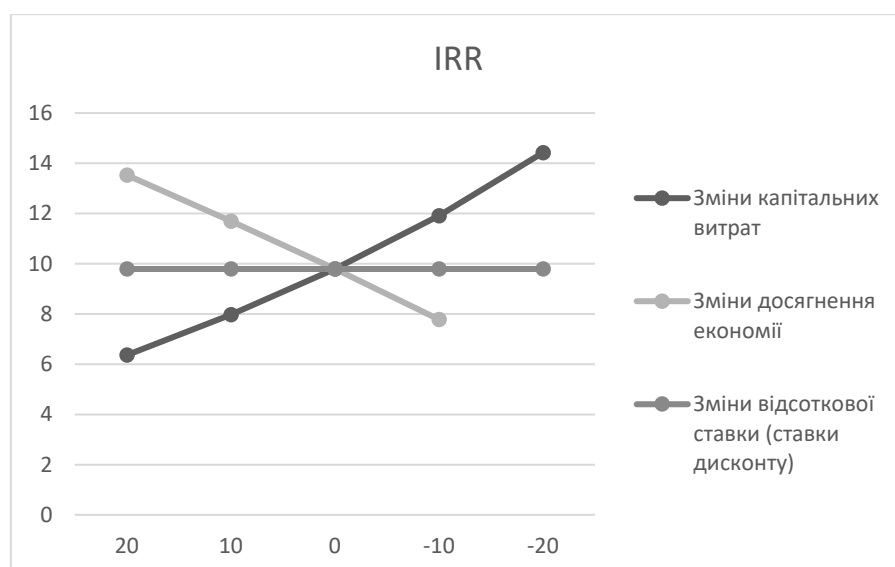


Рисунок 5.10 – Аналіз чутливості внутрішньої норми прибутковості (IRR) до зміни основних параметрів

Аналіз отриманих результатів, наведених на рис. 5.9 та рис. 5.10, показує, що найбільший вплив на економічну ефективність проєкту має рівень фактичної економії електроенергії. При збільшенні економії на 20 % значення NPV покращується до -13,12 тис. грн, а внутрішня норма прибутковості зростає до 13,53 %. У випадку зменшення економії на 20 % значення NPV знижується до -76,40 тис. грн, а IRR становить лише 5,62 %.

Зміна капітальних витрат також суттєво впливає на результати проєкту. При зменшенні вартості обладнання на 20 % внутрішня норма прибутковості зростає до 14,42 %, а чиста приведена вартість наближається до нульового значення. Це свідчить про високу залежність економічної ефективності проєкту від початкової вартості обладнання.

Вплив ставки дисконтування на результати є менш значним порівняно з іншими факторами. Зміна ставки дисконтування впливає переважно на величину NPV, тоді як значення IRR залишається незмінним, оскільки визначається виключно структурою грошових потоків проєкту.

Таким чином, проведений аналіз показав, що запропонована гібридна сонячна електростанція є технічно доцільним рішенням для підвищення енергетичної незалежності приватного житлового будинку. Найбільш критичними факторами для забезпечення економічної ефективності проєкту є фактичний рівень використання виробленої електроенергії та початкова вартість обладнання. У разі подальшого зростання тарифів на електроенергію економічна привабливість проєкту буде суттєво підвищуватися.

Висновки до розділу 5

Проведене дослідження підтвердило доцільність використання відновлюваних джерел енергії для електропостачання приватного житлового будинку в смт Олександрівка Краматорського району Донецької області. Аналіз кліматичних умов показав, що регіон має достатній сонячний потенціал для ефективної роботи фотоелектричних систем протягом року, що створює сприятливі умови для впровадження сонячної енергетики.

На підставі фактичного річного споживання електричної енергії та наявної площі покрівлі було обґрунтовано встановлення гібридної сонячної електростанції потужністю 5 кВт із системою акумулювання енергії. Виконані розрахунки показали, що запропонована система здатна генерувати близько 5850 кВт·год електроенергії на рік та забезпечувати понад 70 % потреб

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підис	Дата		139

будинку в електроенергії, що дозволяє суттєво скоротити споживання електроенергії з централізованої мережі.

Результати економічної оцінки свідчать про можливість повернення вкладених коштів протягом приблизно семи років. Незважаючи на те, що дисконтовані показники ефективності в базовому сценарії не демонструють високої інвестиційної привабливості, аналіз чутливості показав значний вплив вартості обладнання та тарифів на електроенергію на кінцеві результати проєкту. Подальше зростання цін на електроенергію сприятиме скороченню терміну окупності та підвищенню економічної ефективності системи.

Впровадження гібридної сонячної електростанції є не лише способом зменшення витрат на електроенергію, а й важливим заходом для підвищення енергетичної безпеки житлового будинку. Наявність акумуляторної системи забезпечує можливість резервного живлення основних споживачів під час аварійних або планових відключень електроенергії, що особливо актуально в сучасних умовах. Отримані результати підтверджують перспективність використання сонячної енергетики для приватних домогосподарств та доцільність подальшого впровадження енергоефективних технологій у житловому секторі.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		140

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час експлуатації акумуляторної системи

У рамках запропонованого заходу з підвищення енергоефективності приватного житлового будинку передбачається встановлення акумуляторної системи накопичення електричної енергії, яка працює спільно із сонячною електростанцією та системою резервного електроживлення. Під час експлуатації такого обладнання можуть виникати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що створюють ризик для обслуговуючого персоналу та можуть призвести до пошкодження обладнання.

Основні небезпечні та шкідливі фактори під час експлуатації акумуляторної системи наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час експлуатації акумуляторної системи

Небезпечний фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
1	2	3
Ураження електричним струмом	Пошкодження ізоляції, дотик до струмоведучих частин	Електротравми, опіки
Коротке замикання	Пошкодження кабелів, помилки монтажу	Руйнування обладнання, займання
Перегрів контактних з'єднань	Ослаблення контактів, перевантаження	Пожежа, пошкодження обладнання
Перегрів акумуляторних модулів	Порушення режимів заряджання та розряджання	Зниження ресурсу батарей

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ				
Вим	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Макарова Є.І				Літ	Аркуш	Аркушів	
Перевір.		Третьякова Л.Д.					141	10	
Реценз.						НН ІЕЕ, кафелра ЕП			
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.							
Затвер.									

Продовження таблиці 6.1

1	2	3
Термічний розгін акумуляторів	Внутрішні дефекти, механічне пошкодження	Пожежа, руйнування батарей
Виділення продуктів горіння	Загоряння акумуляторів або кабельної продукції	Отруєння продуктами горіння
Механічне травмування	Монтаж та обслуговування батарейних модулів	Забой, пошкодження кінцівок

Найбільшу небезпеку під час експлуатації акумуляторної системи становить ураження електричним струмом. Відповідно до вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та Правил улаштування електроустановок електроустановки постійного струму повинні бути обладнані засобами захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин та захисним заземленням [46, 47].

Для оцінки потенційної небезпеки виконаємо орієнтовний розрахунок сили струму, який може протікати через тіло людини при випадковому дотику до струмоведучих частин акумуляторної батареї.

Розрахунок виконується за законом Ома:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (6.1)$$

де U – напруга акумуляторної системи, В;

R – опір тіла людини, Ом.

Для системи з номінальною напругою 48 В та середнім опором тіла людини 1000 Ом:

$$I = \frac{48}{1000} = 0,048 \text{ А} = 48 \text{ мА}.$$

Отримане значення перевищує допустимий невідпускаючий струм для людини, який становить близько 10–15 мА, що свідчить про необхідність застосування технічних заходів електрозахисту [46].

Для оцінки ризику виникнення небезпечних ситуацій доцільно виконати аналіз імовірності їх виникнення та тяжкості можливих наслідків. Результати аналізу наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Оцінка ризиків під час експлуатації акумуляторної системи

Небезпечна подія	Імовірність виникнення	Тяжкість наслідків	Рівень ризику
Ураження електричним струмом	Середня	Висока	Високий
Коротке замикання	Середня	Висока	Високий
Перегрів контактів	Середня	Середня	Середній
Пожежа акумуляторної системи	Низька	Дуже висока	Високий
Механічне пошкодження обладнання	Низька	Середня	Низький
Відмова системи BMS	Низька	Висока	Середній

Отже, основними небезпечними факторами під час експлуатації акумуляторної системи є ураження електричним струмом, короткі замикання та пожежі. Для забезпечення безпечної роботи обладнання необхідно застосовувати технічні засоби захисту, виконувати вимоги нормативних документів та проводити регулярний контроль технічного стану системи.

6.2 Вимоги електробезпеки під час експлуатації акумуляторної системи

Акумуляторна система накопичення електричної енергії належить до електроустановок постійного струму та потребує застосування засобів електрозахисту відповідно до вимог ПУЕ та НПАОП [46, 47]. Основні параметри системи наведено в таблиці 6.3.

Одним із найважливіших етапів забезпечення електробезпеки є визначення робочого струму акумуляторної системи.

Таблиця 6.3 – Основні параметри акумуляторної системи

Параметр	Значення
Тип акумуляторів	LiFePO ₄
Номінальна напруга батареї	48 В
Ємність батареї	10 кВт·год
Потужність інвертора	5 кВт
Тип інвертора	Гібридний
Режим роботи	Заряд/розряд
Джерело заряджання	Сонячні панелі та електромережа

Робочий струм батареї визначається за формулою:

$$I = P/U \quad (6.2)$$

де:

P – потужність інвертора, Вт;

U – номінальна напруга акумуляторної батареї, В.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$I = 5000/48 = 104,2 \text{ А}$$

Таким чином, максимальний робочий струм акумуляторної системи становить 104,2 А.

Для захисту від перевантаження та короткого замикання необхідно передбачити встановлення автоматичного вимикача. Номінальний струм автоматичного вимикача визначають із запасом 20–25 % відносно робочого струму [47].

Розрахунковий струм захисту становить:

$$I_z = 1,25 \cdot I \quad (6.3)$$

$$I_z = 1,25 \cdot 104,2 = 130,3 \text{ А}$$

Отже, для захисту акумуляторної системи доцільно використовувати автоматичний вимикач номіналом 125–160 А постійного струму. Для з'єднання акумуляторної батареї з інвертором рекомендується використання мідного кабелю перерізом не менше 35 мм² [47].

Результати вибору захисного обладнання наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Вибір елементів електрозахисту акумуляторної системи

Елемент захисту	Призначення	Рекомендоване значення
Автоматичний вимикач DC	Захист від перевантаження та КЗ	125–160 А
Запобіжник DC	Захист батареї	125 А
Кабель АКБ–інвертор	Передача електроенергії	Cu 35 мм ²
Заземлення	Захист від непрямого дотику	Обов'язково
Пристрій захисту від перенапруг	Захист електроніки	Тип II

Відповідно до вимог ПУЕ всі відкриті металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути приєднані до системи захисного заземлення [47].

Основні засоби електрозахисту під час обслуговування акумуляторної системи наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Засоби електрозахисту під час обслуговування акумуляторної системи

Засіб захисту	Призначення
Діелектричні рукавички	Захист рук від ураження струмом
Діелектричне взуття	Захист від напруги кроку
Ізольований інструмент	Безпечне виконання монтажних робіт
Захисні окуляри	Захист очей
Попереджувальні плакати	Організація безпечного виконання робіт

Отже, для безпечної експлуатації акумуляторної системи необхідно використовувати автоматичний вимикач номіналом 125–160 А, мідний кабель

перерізом не менше 35 мм², систему захисного заземлення та засоби електрозахисту відповідно до вимог чинних нормативних документів [48,49].

6.3 Оцінка пожежної та вибухопожежної небезпеки приміщення встановлення акумуляторної системи

Під час експлуатації акумуляторної системи можливе виникнення пожежонебезпечних ситуацій, пов'язаних із короткими замиканнями, перевантаженнями, пошкодженням ізоляції або несправністю системи керування батареєю [48,49]. Основними джерелами пожежної небезпеки є акумуляторні модулі, інвертор, комутаційна апаратура, кабельні лінії та контактні з'єднання.

Основні причини виникнення пожежонебезпечних ситуацій наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Причини виникнення пожежі в акумуляторній системі

Причина	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Коротке замикання	Пошкодження ізоляції, помилки монтажу	Перегрів провідників, займання
Перевантаження	Перевищення допустимого струму	Руйнування обладнання
Несправність BMS	Відмова електроніки керування	Перегрів акумуляторів
Поганий контакт з'єднань	Ослаблення контактів	Локальне нагрівання
Механічне пошкодження батареї	Удар або деформація корпусу	Пошкодження елементів
Перенапруга	Грозові та комутаційні процеси	Вихід обладнання з ладу

Відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 та Правил пожежної безпеки в Україні необхідно визначити категорію приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою [48, 49].

У приміщенні встановлення акумуляторної системи відсутні легкозаймисті рідини, горючі гази та вибухонебезпечні суміші. На підставі аналізу характеристик обладнання приміщення відноситься до категорії Д за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Результати оцінки наведено в таблиці 6.7.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		146

Таблиця 6.7 – Визначення категорії приміщення

Показник	Характеристика
Тип приміщення	Технічне приміщення
Основне обладнання	АКБ, інвертор, автоматика
Горючі гази	Відсутні
Легкозаймисті рідини	Відсутні
Вибухонебезпечні суміші	Не утворюються
Категорія приміщення	Д

Для приміщень категорії Д необхідно передбачити наявність первинних засобів пожежогасіння відповідно до вимог чинних нормативних документів [51]. Основні засоби пожежогасіння наведено в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Первинні засоби пожежогасіння

Найменування	Кількість	Призначення
Вуглекислотний вогнегасник ВВК-5	1	Гасіння електрообладнання
Порошковий вогнегасник ВП-6	1	Гасіння пожеж класів А, В, С, Е
Пожежне покривало	1	Локалізація невеликих осередків займання
Аптечка першої допомоги	1	Надання допомоги постраждалим

Отже, аналіз пожежної небезпеки показав, що основними джерелами ризику під час експлуатації акумуляторної системи є короткі замикання, перегрів контактних з'єднань та несправності акумуляторних модулів. Для забезпечення пожежної безпеки необхідно використовувати автоматичні засоби захисту, контролювати технічний стан обладнання та забезпечити приміщення необхідними засобами пожежогасіння [47–51].

6.4 Вимоги до приміщення та систем вентиляції акумуляторної установки

Безпечна експлуатація акумуляторної системи залежить від дотримання нормативних параметрів мікроклімату та забезпечення необхідного повітрообміну. Порушення температурного режиму може призвести до перегріву акумуляторних модулів, зниження ефективності їх роботи та

скорочення терміну служби [50, 52].

Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99, ДСТУ EN 50272-2:2019 та рекомендацій виробників акумуляторних систем рекомендовані параметри мікроклімату наведено в таблиці 6.9 [50, 52].

Таблиця 6.9 – Рекомендовані параметри мікроклімату приміщення

Параметр	Рекомендоване значення
Температура повітря	15–30 °С
Відносна вологість	не більше 75 %
Швидкість руху повітря	до 0,3 м/с
Температура зберігання АКБ	5–35 °С
Максимальна температура експлуатації	45 °С

Під час роботи акумуляторної системи та інвертора частина електричної енергії перетворюється на тепло. Для визначення необхідного повітрообміну виконаємо розрахунок тепловиділення від обладнання.

Втрати потужності в інверторі визначаються за формулою:

$$Q = P \cdot (1 - \eta) \quad (6.4)$$

де:

Q – теплова потужність, Вт;

P – номінальна потужність інвертора, Вт;

η – коефіцієнт корисної дії інвертора.

Для інвертора потужністю 5 кВт та ККД 95 %:

$$Q = 5000 \cdot (1 - 0,95) = 250 \text{ Вт}$$

Додатково врахуємо тепловиділення акумуляторної батареї, яке для побутових LiFePO₄ систем становить орієнтовно 50 Вт.

Тоді сумарне тепловиділення обладнання:

$$Q_{\text{заг}} = 250 + 50 = 300 \text{ Вт}$$

Для визначення необхідної витрати повітря використовують залежність:

$$L = \frac{3,6 \cdot Q}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} \quad (6.5)$$

де:

L – необхідна витрата повітря, м³/год;

Q – теплова потужність обладнання, Вт;

ρ – густина повітря (1,2 кг/м³);

c – теплоємність повітря (1005 Дж/(кг·°C));

Δt – допустиме підвищення температури повітря, °C.

Приймаємо допустиме підвищення температури повітря Δt = 5 °C.

Тоді:

$$L = \frac{3,6 \cdot 300}{1,2 \cdot 1005 \cdot 5} = \frac{1080}{6030} = 0,179 \text{ м}^3/\text{с} = 645 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, для відведення надлишкового тепла від обладнання необхідно забезпечити повітрообмін не менше 645 м³/год.

Результати розрахунку наведено в таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 – Результати розрахунку вентиляції

Показник	Значення
Потужність інвертора	5 кВт
ККД інвертора	95 %
Тепловиділення інвертора	250 Вт
Тепловиділення акумуляторів	50 Вт
Загальне тепловиділення	300 Вт
Необхідний повітрообмін	645 м³/год

Рекомендовані вимоги до розміщення обладнання наведено в таблиці 6.11.

Таблиця 6.11 – Вимоги до розміщення обладнання

Параметр	Значення
Відстань від батареї до стіни	не менше 0,1 м
Відстань до джерел тепла	не менше 1 м
Наявність природної вентиляції	обов'язково
Наявність штучної вентиляції	рекомендовано
Освітленість приміщення	не менше 100 лк
Матеріал основи	негорючий

Отже, для безпечної експлуатації акумуляторної системи необхідно забезпечити нормативні параметри мікроклімату, належну вентиляцію приміщення та правильне розміщення обладнання. Виконаний розрахунок показав, що необхідний повітрообмін становить не менше 645 м³/год [50, 52].

6.5 Засоби індивідуального та колективного захисту під час обслуговування акумуляторної системи

Безпечна експлуатація акумуляторної системи накопичення електричної енергії забезпечується застосуванням засобів індивідуального та колективного захисту під час проведення монтажних, налагоджувальних, профілактичних і ремонтних робіт. Необхідність їх використання обумовлена ризиком ураження електричним струмом, виникненням коротких замикань, механічних пошкоджень та пожежонебезпечних ситуацій [46, 47].

Відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21-98 та Правил улаштування електроустановок обслуговування електрообладнання повинно здійснюватися із застосуванням сертифікованих засобів захисту, які пройшли випробування у встановленому порядку [46, 47].

Основні засоби індивідуального та колективного захисту, що застосовуються під час обслуговування акумуляторної системи, наведено відповідно в таблицях 6.12 та 6.13.

Таблиця 6.12 – Засоби індивідуального захисту під час обслуговування акумуляторної системи

Найменування ЗІЗ	Призначення
Діелектричні рукавички	Захист рук від ураження електричним струмом
Діелектричне взуття	Захист від напруги кроку та дотику
Захисні окуляри	Захист очей від пилу та механічних частинок
Спецодяг з негорючих матеріалів	Захист від термічного впливу
Захисна каска	Захист голови від механічних пошкоджень
Інструмент з ізольованими ручками	Безпечне виконання електромонтажних робіт

Таблиця 6.13 – Засоби колективного захисту акумуляторної системи

Засіб захисту	Призначення
Захисне заземлення	Захист від непрямого дотику
Автоматичний вимикач	Захист від перевантаження та короткого замикання
Запобіжник постійного струму	Захист акумуляторної батареї
Пристрій захисту від перенапруг	Захист обладнання від імпульсних перенапруг
Система BMS	Контроль стану акумуляторів
Датчики температури	Контроль нагрівання батарей
Попереджувальні плакати	Інформування про небезпеку
Система пожежної сигналізації	Виявлення загоряння

Для забезпечення безпечної роботи необхідно здійснювати регулярний контроль справності засобів захисту та використовувати мінімальний комплект засобів індивідуального захисту. Результати наведено в таблиці 6.14.

Таблиця 6.14 – Засоби захисту та періодичність їх перевірки

Засіб захисту	Мінімальна кількість	Періодичність перевірки
Діелектричні рукавички	1 пара	Один раз на 6 місяців
Захисні окуляри	1 шт.	Перед використанням
Діелектричне взуття	1 пара	Перед використанням
Захисна каска	1 шт.	Перед використанням
Спецодяг	1 комплект	Перед використанням
Ізольований інструмент	1 комплект	Один раз на рік
Автоматичні вимикачі	-	Один раз на рік
Запобіжники	-	Під час кожного технічного огляду
Заземлювальний пристрій	-	Один раз на рік
Система BMS	-	Постійний моніторинг
Датчики температури	-	Один раз на рік

Застосування засобів індивідуального та колективного захисту дозволяє знизити ризик виникнення електротравм, пошкодження обладнання та аварійних ситуацій. Особливу роль у забезпеченні безпеки відіграє система BMS, яка контролює температуру, напругу та струм акумуляторних модулів і забезпечує автоматичне відключення батареї у разі відхилення параметрів від допустимих значень [49, 50].

Отже, безпечна експлуатація акумуляторної системи забезпечується комплексним застосуванням засобів індивідуального та колективного захисту, а також регулярним контролем їх технічного стану [47, 48, 49, 50, 51].

6.6 Організаційні заходи безпеки та дії персоналу при аварійних ситуаціях

Безпечна експлуатація акумуляторної системи забезпечується дотриманням організаційних заходів, проведенням інструктажів, контролем технічного стану обладнання та готовністю до дій в аварійних ситуаціях [45–48].

Особи, які здійснюють експлуатацію або технічне обслуговування акумуляторної системи, повинні пройти відповідне навчання та інструктаж з охорони праці і пожежної безпеки. Перед початком робіт необхідно перевірити справність засобів захисту, стан кабельних ліній та наявність первинних засобів пожежогасіння.

Організаційні заходи безпеки наведено в таблиці 6.15.

Таблиця 6.15 – Організаційні заходи безпеки

Захід	Періодичність виконання
Первинний інструктаж з охорони праці	Перед початком роботи
Повторний інструктаж	Один раз на 6 місяців
Перевірка справності обладнання	Щомісячно
Контроль стану кабельних ліній	Щоквартально
Перевірка засобів пожежогасіння	Щомісячно
Перевірка системи BMS	Постійно
Контроль температурного режиму	Постійно

Порядок дій при виявленні короткого замикання наведено в таблиці 6.16.

Таблиця 6.16– Дії персоналу при короткому замиканні

Етап	Дії
1	Негайно припинити виконання робіт
2	Відключити акумуляторну систему від навантаження
3	Відключити інвертор та автоматичні вимикачі
4	Повідомити відповідальну особу
5	Визначити причину аварії після зняття напруги
6	Виконати ремонт та повторну перевірку обладнання

Порядок дій при виникненні пожежі наведено у таблиці 6.17.

Таблиця 6.17 – Дії персоналу при пожежі акумуляторної системи

Етап	Дії
1	Негайно повідомити пожежно-рятувальну службу за номером 101
2	Відключити електроживлення системи
3	Евакуювати людей із небезпечної зони
4	Використати первинні засоби пожежогасіння
5	Обмежити доступ сторонніх осіб
6	Дочекатися прибуття пожежно-рятувального підрозділу

Для ліквідації початкових осередків займання повинні застосовуватися первинні засоби пожежогасіння. Для електроустановок, що перебувають під напругою, рекомендується використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники [51]. Первинні засоби пожежогасіння наведено в таблиці 6.8.

Ефективність організаційних заходів значною мірою залежить від регулярності проведення профілактичних робіт. Рекомендований графік технічного обслуговування наведено в таблиці 6.18.

Таблиця 6.18 – Періодичність технічного обслуговування акумуляторної системи

Вид робіт	Періодичність
Візуальний огляд обладнання	1 раз на місяць
Перевірка контактних з'єднань	1 раз на 6 місяців
Перевірка параметрів батареї	1 раз на 6 місяців
Перевірка системи вентиляції	1 раз на рік
Перевірка заземлення	1 раз на рік
Перевірка пожежної сигналізації	1 раз на рік

Отже, безпечна експлуатація акумуляторної системи забезпечується проведенням інструктажів, періодичним контролем технічного стану обладнання та готовністю персоналу до дій у разі виникнення аварійних ситуацій. Виконання зазначених заходів дозволяє знизити ризик виникнення нещасних випадків, пошкодження обладнання та пожеж .

Висновки до розділу 6

У даному розділі було проведено аналіз умов безпечної експлуатації акумуляторної системи накопичення електричної енергії, яка використовується у складі гібридної сонячної електростанції приватного житлового будинку. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з роботою акумуляторних батарей, інверторного обладнання та електричних мереж.

Виконано аналіз вимог електробезпеки, розраховано робочий струм акумуляторної системи та обґрунтовано вибір захисного обладнання. Проведено оцінку пожежної небезпеки приміщення, визначено необхідні первинні засоби пожежогасіння та розроблено заходи щодо попередження виникнення пожеж.

Розрахунок вентиляції показав необхідність забезпечення нормативного повітрообміну для підтримання допустимого температурного режиму роботи акумуляторної системи. Також визначено перелік засобів індивідуального та

колективного захисту, необхідних для безпечного виконання робіт.

Запропоновані технічні та організаційні заходи забезпечують відповідність умов експлуатації акумуляторної системи вимогам чинних нормативних документів з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки та можуть бути рекомендовані до впровадження на досліджуваному об'єкті.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
						155
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У дипломному проєкті проведено аналіз енергоспоживання приватного житлового будинку в смт Олександрівка Донецької області та розроблено комплекс заходів з підвищення його енергоефективності.

Аналіз споживання енергоресурсів за 2023–2025 роки показав, що найбільші витрати припадають на опалення та електроенергію. Розрахунок електричних навантажень дозволив визначити основних споживачів та обґрунтувати впровадження енергоощадних заходів, зокрема заміну освітлення на LED та модернізацію насосного обладнання.

Теплотехнічне обстеження будинку виявило невідповідність огорожувальних конструкцій сучасним нормативним вимогам. Запропонований комплекс термомодернізації забезпечує значне скорочення тепловтрат і дозволяє отримати річний економічний ефект понад 84 тис. грн.

На основі оцінки сонячного потенціалу регіону обґрунтовано встановлення гібридної сонячної електростанції потужністю 5 кВт з акумуляторною системою накопичення енергії. Реалізація проєкту дає змогу покривати понад 70 % потреб будинку в електроенергії та підвищити його енергетичну автономність.

Також у роботі розглянуто питання охорони праці та безпечної експлуатації акумуляторної системи. Загалом запропоновані технічні рішення дозволять знизити споживання енергоресурсів, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити комфорт проживання.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		156

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Підготовка бакалаврських кваліфікаційних робіт : методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології». Київ : НН ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського. 63 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d8ad5814-d81e-446fad6f-cfeb6185eace/content> (дата звернення: 21.05.2026).
2. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0042588-99> (дата звернення: 09.06.2026).
3. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Мінрегіон України, 2021. URL: <https://e-construction.gov.ua/>
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf> (дата звернення: 09.06.2026).
5. ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення». URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_23_2010/1-1-0-940 (дата звернення: 09.06.2026).
6. ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності». URL: <https://online.budstandart.com> (дата звернення: 09.06.2026).
7. Правила роздрібного ринку електричної енергії. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18> (дата звернення: 09.06.2026).
8. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/v_2_5_28/1-1-0-1188 (дата звернення: 09.06.2026).

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		157

9. Вікно металопластикове поворотно-відкидне WDS Міропласт з двокамерним склопакетом (три скла) 500х650 мм. URL: <https://epicentrk.ua/ua/shop/mplc-vikno-metaloplastikove-povorotno-vidkidne-wds-miropplast-z-dvokamernim-sklopaketom-tri-skla-500h650-mm-4-10-4-10-4-1f0efca5-4024-6260-bd91-ddf5d419be51.html> (дата звернення: 11.06.2026).
10. Школа Енергоефективності. Facebook. URL: https://www.facebook.com/energyefficiencyschool/?locale=uk_UA (дата звернення: 11.06.2026).
11. Vasruleb electro samushaoebs (Виконую електромонтажні роботи). SS.GE Services. URL: <https://services.ss.ge/en/details/vasruleb-electro-samushaoebs-48206198> (дата звернення: 11.06.2026).
12. Пілотна система енергетичного моніторингу для університетської будівлі. NET4SENERGY / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. URL: <https://nung.edu.ua/project/net4senergy/4-pilotna-sistema-energetichnogo-monitoringu-dlya-universitetskoi-budivli> (дата звернення: 11.06.2026).
13. Відновлювана енергетика для приватних домогосподарств: аналітичні матеріали / Центр екологічних ініціатив «Екодія». URL: <https://ecoaction.org.ua> (дата звернення: 09.06.2026).
14. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII / Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> (дата звернення: 09.06.2026).
15. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
16. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. URL: <https://uas.gov.ua/>

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		158

- 17.ДСТУ ISO 52000-1:2020. Енергетична ефективність будівель. Комплексна оцінка енергетичної ефективності будівель. Частина 1. Загальні положення та показники. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. URL: <https://online.budstandart.com/>
- 18.Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32024L1275>
19. Кліматичні профілі та бази даних міст України. *Climate-Data.org*. URL: <https://uk.climate-data.org/європа/україна/>
- 20.Автономне опалювальне обладнання: каталоги та технічні паспорти твердопаливних котлів «Корді». *Офіційний сайт бренду Корді*. URL: <https://kordi-kr.com.ua/>
- 21.Будівельні калькулятори та розцінки на фасадні теплоізоляційні матеріали. *Державна програма «ГрінДІМ» / Фонд енергоефективності*. URL: <https://eefund.org.ua/>
22. Методичні вказівок до виконання розрахунково-графічних робіт з дисципліни «Енергетичний аудит та термомодернізація будівель». *Електронний репозиторій КІП ім. Ігоря Сікорського (ELAKPI)*. URL: <https://ela.kpi.ua/>
- 23.Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності): офіційний вебсайт. URL: <https://saee.gov.ua> (дата звернення: 09.06.2026).
- 24.Практичні рекомендації з енергоефективності в житловому секторі України / Проєкт USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». URL: <http://mer.org.ua> (дата звернення: 09.06.2026).
- 25.Відновлювана енергетика для приватних домогосподарств: аналітичні матеріали / Центр екологічних ініціатив «Екодія». URL: <https://ecoaction.org.ua> (дата звернення: 09.06.2026).

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		159

26. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII / Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> (дата звернення: 09.06.2026).
27. Про енергозбереження: Закон України від 16.06.1994 р. № 74/94-ВР / Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 09.06.2026).
28. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель / Мінрегіон України. Київ: Будстандарт, 2021. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=93121 (дата звернення: 09.06.2026).
29. Сучасні системи автоматизації Smart Home та побутовий енергоменеджмент / Інформаційна платформа «Енергореформа». URL: <https://energo-reforma.com.ua> (дата звернення: 09.06.2026).
30. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/4.-Atlas-VDE.pdf> (дата звернення: 09.06.2026).
31. PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (дата звернення: 09.06.2026).
32. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=79885 (дата звернення: 09.06.2026).
33. IEA PVPS Report: Trends in Photovoltaic Applications. URL: <https://iea-pvps.org> (дата звернення: 09.06.2026).
34. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Photovoltaics Report. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de> (дата звернення: 09.06.2026).
35. Huawei FusionSolar. Hybrid Inverter Technologies. URL: <https://solar.huawei.com> (дата звернення: 09.06.2026).
36. Battery University. Lithium Iron Phosphate Batteries. URL: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion> (дата звернення: 09.06.2026).

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		160

37. Методичні рекомендації з оцінки ефективності інвестиційних проєктів та відбору проєктів, що фінансуються за рахунок кредитних ресурсів міжнародних фінансових організацій. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0437-11> (дата звернення: 09.06.2026).
38. ДСТУ ISO 50001:2020 «Системи енергетичного менеджменту. Вимогита настанови щодо використання». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=88039 (дата звернення: 09.06.2026).
39. Deye SUN-5K-SG05LP1-EU Hybrid Inverter. Technical Specification. URL: <https://deyeinverter.com> (дата звернення: 09.06.2026).
40. Deye SE-G5.1 Pro-B Lithium Iron Phosphate Battery. Technical Specification. URL: <https://deyeess.com> (дата звернення: 09.06.2026).
41. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Power Generation Costs. URL: <https://www.irena.org> (дата звернення: 09.06.2026).
42. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic Systems. URL: <https://www.nrel.gov> (дата звернення: 09.06.2026).
43. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65054 (дата звернення: 09.06.2026).
44. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0042588-99> (дата звернення: 09.06.2026).
45. ДСТУ EN 50272-2:2019 «Вимоги безпеки до вторинних батарей та акумуляторних установок». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=84992 (дата звернення: 09.06.2026).
46. ДСТУ EN IEC 62485-5:2023 «Вимоги безпеки до вторинних літієвих батарей та батарейних установок». URL:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.007 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		161

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=105400 (дата звернення: 09.06.2026).

47. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 09.06.2026).
48. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI (уведений на заміну застарілого Закону «Про пожежну безпеку»). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (дата звернення: 09.06.2026).
49. НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15> (дата звернення: 09.06.2026).
50. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98> (дата звернення: 09.06.2026).
51. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Видання 2017 року. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue_2017.pdf (дата звернення: 09.06.2026).
52. Сучасні системи автоматизації Smart Home та побутовий енергоменеджмент / Інформаційна платформа «Енергореформа». URL: <https://energo-reforma.com.ua> (дата звернення: 09.06.2026).