

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ
ПРИВАТНОГО ГОСПОДАРСТВА**

Виконав студент VI курсу, групи ЕТм-61
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Баник О.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Шелестовський Б. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Банику Олегу Богдановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності будівлі
приватного господарства

Керівник роботи к.т.н., доц. Коваль В.П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «12» листопада 2025 року № 4/7-966

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 20.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Вихідні дані роботи включають плани приміщень будівель
приватного господарства, результати проведеного енергоаудиту та фактичні показники
споживання енергоресурсів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Актуальність теми, мета, завдання та наукова новизна роботи.

2. Аналіз основних вимог та шляхів підвищення енергоефективності житлових будівель.

3. Особливості визначення економічної доцільності впровадження заходів з енергоефективності.

4. Проведення енергоаудиту об'єкту, розробка заходів по збільшенні енергоефективності будівель

5. та розрахунок економічного ефекту впровадження заходів.

6. Розробка заходів з безпеки в надзвичайних ситуаціях та охорони праці.

7. Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. План будівель приватного господарства

2. Визначення теплового навантаження будівлі

3. Аналіз ефективності використання енергоресурсів

4. Запропоновані заходи підвищення енергоефективності

5. Економічний ефект впровадження заходів з підвищення енергоефективності будівлі.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	Гурик О.Я. к.т.н. доцент		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	Теслюк В. М. проректор з адміністративно-господарської роботи та будівництва		
<i>Нормоконтроль</i>	Коваль В.П. к.т.н. зав.кафедри		

7. Дата видачі завдання 12.11.2025 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	з 12.11.2025	
		по 16.11.2025	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	з 16.11.2025	
		по 05.12.2025	
3	Підготовка розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	з 06.12.2025	
		по 08.12.2025	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	з 09.12.2025	
		по 10.12.2025	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	з 11.12.2025	
		по 12.12.2025	
6	Підготовка, оформлення та друк графічного матеріалу кваліфікаційної роботи	з 12.12.2025	
		по 14.12.2025	
7	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	з 14.12.2025	
		по 20.12.2025	

Студент

(підпис)

Баник О.Б.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Банник Олег Богданович - підвищення енергоефективності будівлі приватного господарства. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії.
Кафедра електричної інженерії, спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка група ЕТм–61. – Т.: ТНТУ, 2025.

Сторінки: 89; рисунки: 28; таблиці: 22; джерела: 39; на трьох сторінках 3 додатки.

На меті кваліфікаційної роботи є вибір шляхів підвищення енергоощадності та енергоефективності будівель домашнього господарства шляхом оцінки та аналізу сучасних методів що допомагають зменшити використання енергоносіїв.

За осноу було взято аналіз наявних технічних, економічних та нормативних підходів для покращення енергоспоживання в будівлях приватного господарства сформовано комплексний підхід до вибору ефективних заходів енергомодернізації. Проведений енергетичний аудит дав змогу визначити основні напрямки втрат енергоресурсів та запропонувати конкретні рішення з підвищення рівня енергоефективності. Для кожного із запропонованих заходів виконано розрахунок ключових економічних показників, зокрема терміну окупності та фінансової ефективності.

Ключові слова:

ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ЕНЕРГОРЕСУРСИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ПРИВАТНЕ ГОСПОДАРСТВО.

ЗМІСТ

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Короткий опис об'єкту	8
1.2 Короткий опис інженерних мереж	14
1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні 3 роки	15
1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР	18
1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об'єкта у сфері енергоефективності	19
1.6 Висновки по розділу 1	20
 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	 22
2.1 Оцінка стану та шляхи підвищення енергоефективності будівель приватного господарства	22
2.1.1 Огляд нормативних вимог щодо енергоефективності будівель та сучасного стану справ в сфері ЖКГ	22
2.1.2 Визначення теплового навантаження будівлі	26
2.1.3 Аналіз розрахункових та фактичних даних по споживанню з приведенням до нормативних погодних умов	37
2.1.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій	37
2.1.4.1 Утеплення зовнішніх стін будівлі	37
2.1.4.2 Утеплення підлоги	42
2.1.4.3 Утеплення даху	43
2.1.4.4 Розрахунок тепловтрат	45
2.1.4.5 Економічна ефективність заходів	46
2.1.5 Розроблення типових заходів з енергоефективності для інженерних систем будівлі та джерел енергії	49
2.1.6 Висновки по розділу 2.1	51

	5
2.2 Аналіз ефективності використання електричної енергії на об'єкті	52
2.2.1 Схема електропостачання об'єкту та її аналіз	52
2.2.2 Визначення, коротка характеристика та оцінка енергоефективності суттєвих споживачів електричної енергії	53
2.2.3 Розроблення типових заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електроенергії	59
2.2.4 Висновки по розділу 2.2	63
 3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	 64
3.1 Опис роботи теплового насоса	64
3.2 Вибір теплового насоса	66
3.3 Розрахунок економічного ефекту	68
3.4 Опис роботи фотоелектричної станції	72
3.5 Вибір фотоелектричної схеми	74
3.5.1 Розміщення панелей та електрична конфігурація	74
3.5.2 Графік генерації - модель	74
3.5.3 Порівняння генерації та споживання	75
3.6 Розрахунок економічної доцільності	76
3.7 Висновки до розділу 3	78
 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	 80
4.1 Причини ураження електричним струмом в приміщеннях приватного господарства	80
4.2 Забезпечення належної вентиляції для зменшення накопичення шкідливих газів та пилу	81
4.3 Безпека експлуатації електрообладнання в приватному домогосподарстві	83
ВИСНОВКИ	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛЬНЬ	86
ДОДАТКИ	90

ВСТУП

Стан проблеми: В умовах послідовної інтеграції України до європейського та глобального простору одним із ключових завдань постає вдосконалення системи управління енергетичними ресурсами. Сучасний рівень соціально-економічного розвитку значною мірою визначається раціональністю використання енергії, адже енергоспоживання є важливим чинником конкурентоспроможності економіки, темпів її зростання та якості життя населення.

Наразі перед суспільством постають фундаментальні питання щодо ефективності використання енергетичних ресурсів, можливостей скорочення їх споживання без втрати економічного потенціалу, досягнення зростання продуктивності без збільшення навантаження на довкілля, а також мінімізації негативного впливу на природне середовище шляхом впровадження екологічно безпечних технологій.

Актуальність теми: Досвід країн Європейського Союзу та провідних держав світу свідчить, що значних результатів у зниженні енергоемності економіки можна досягти завдяки впровадженню комплексних підходів до управління енергетичними ресурсами. Центральне місце в цих процесах займає система енергетичного менеджменту, яка дозволяє впорядкувати управління енергоспоживанням та сформувати цілісну стратегію енергозбереження [1].

Для України, з огляду на високу енергоемність економіки та зростання вартості енергоресурсів, питання підвищення енергоефективності набуває особливої актуальності та відповідає стратегічним цілям, визначеним у Національному плані дій з енергоефективності до 2030 року [2].

Мета роботи - Метою роботи є дослідження та обґрунтування шляхів удосконалення системи енергетичного менеджменту з метою підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, зниження енергоспоживання та оптимізації економічних показників домогосподарств без негативного впливу на рівень їх функціонування.

Об'єкт дослідження - Житлові будинки приватного домогосподарства.

Предмет дослідження - Процеси проектування та визначення економічної доцільності впровадження заходів для покращення енергоефективності та енергоощадності.

Наукова новизна отриманих результатів: полягає в комплексному підході до оцінювання ефективності енергозберігаючих заходів з урахуванням не лише економічних, а й технічних, технологічних, соціальних та екологічних чинників. У роботі енергетичний менеджмент розглядається як цілісна система, що охоплює початковий стан об'єкта, процес упровадження енергоефективних рішень та кінцеві результати їх реалізації.

Практичне значення. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованих підходів до моніторингу, аналізу та управління енергоспоживанням на домогосподарствах. Застосування результатів роботи сприятиме розробленню та впровадженню ефективних заходів з енергозбереження, підвищенню продуктивності, зменшенню фінансових витрат на енергоресурси та формуванню умов для сталого розвитку.

Структура роботи. Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань [3].

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Короткий опис об'єкту

Об'єктом дослідження виступає житловий будинок разом із літньою кухнею, які розташовані на території приватного домоволодіння та використовуються для постійного проживання. Місце розташування приватного господарства знаходиться в Львівській області, у селі Золочівського району Струтин, по вулиці Маркіяна Шашкевича, 6. Експлуатація здійснюється безперервно, цілодобово, без вихідних днів, за винятком великих релігійних свят. Будівлі приватного господарства (ПГ) були зведені у 1984 та 2005 роках. Діяльність господарства спрямована на створення комфортних і безпечних умов проживання, а також забезпечення потреб мешканців.

Основними видами діяльності є:

1. Господарські роботи:

- вирощування фруктів, овочів та догляд за садом;
- утримання домашньої живності (кури, свині, гуси та інші тварини).

2. Будівництво і ремонт:

- проведення ремонтних робіт у житловому будинку;
- спорудження додаткових будівель (альтанки, гаража, сараю);
- технічне обслуговування інженерних мереж (системи опалення, водо- та електропостачання).

3. Екологічні практики:

- сортування та переробка побутових відходів;
- використання альтернативних джерел енергії (сонячні батареї, колектори для нагріву води, тепловий насос);
- економне споживання води та інших ресурсів.

4. Хобі та творчі заняття:

- виготовлення власних художніх виробів та декоративних предметів.

5. Технічні інновації:

- впровадження елементів «розумного дому»;
- реалізація проєктів, пов'язаних із новими технологіями.

Перелічені напрямки є лише прикладами, адже спектр можливостей приватного господарства може розширюватися залежно від потреб і зацікавлень його власників.

На рисунку 1.1 представлено генеральний план розміщення будівель, а у таблиці 1.1 наведено їх технічні характеристики.

Таблиця 1.1 - Характеристика будівель приватного господарства:

Позначення	Опис будівлі	Площа, кв.м.
А	Житловий будинок	155
Б	Літня кухня	32
В	Гараж	27,3
Г	Сарай	8,4
Д	Хлів	23,1

Житловий будинок (рис. 1.2) має два поверхи і підвальне приміщення. Планування включає п'ять житлових кімнат, вітальню, кухню, ванну кімнату, туалет і коридор.

- Літня кухня складається з однієї житлової кімнати, кухні та коридору.
- Гараж призначений для зберігання автомобіля та господарських інструментів.
- Сарай використовується як складське приміщення.
- Хлів містить курник і господарське сховище.

Детальне планування житлового будинку наведено на рисунку 1.3, а перелік приміщень — у таблиці 1.2.

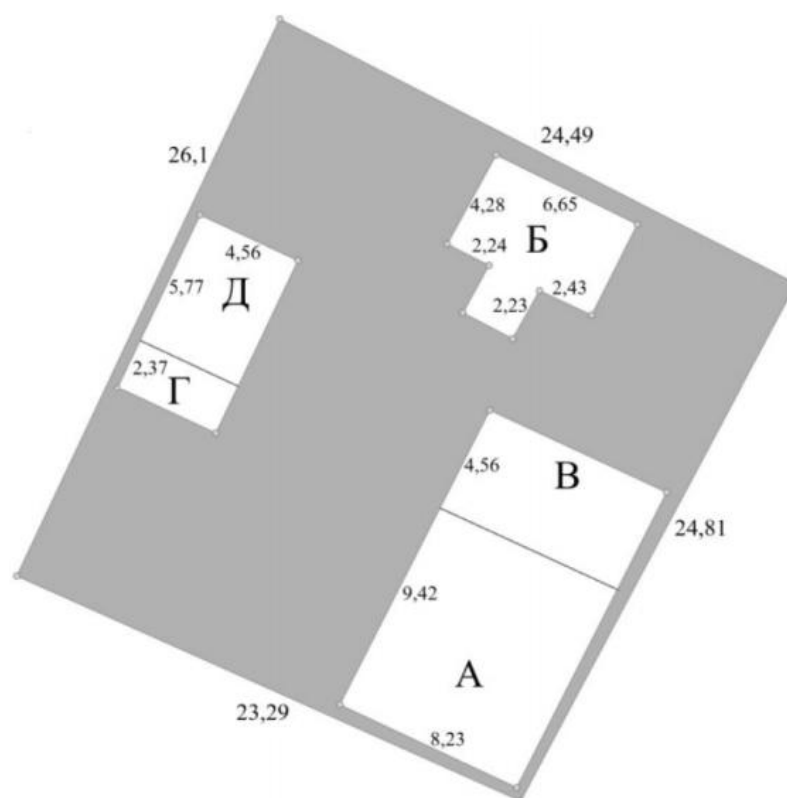


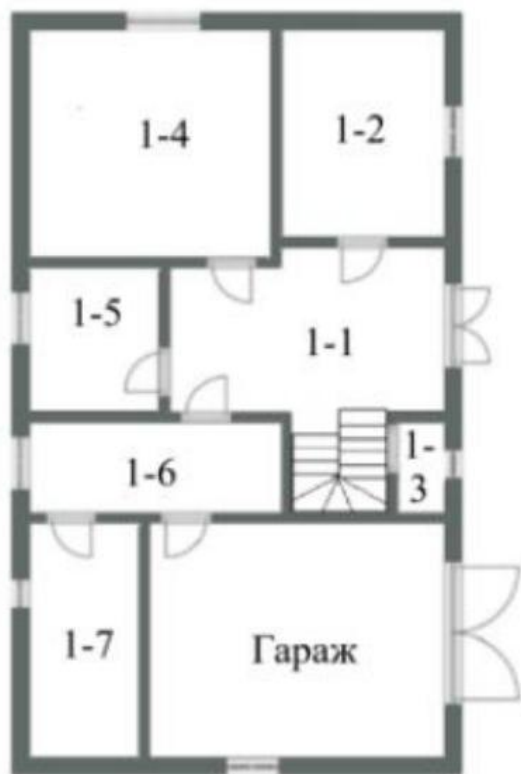
Рисунок 1.1 - Схема розташування будівель на території приватного господарства



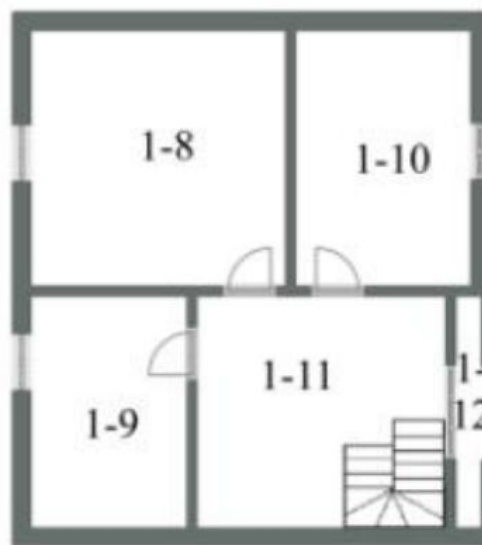
Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд будівель на території приватного господарства

Будинок зведений із цегли товщиною кладки 0,38 м (у півтори цеглини). Зовнішні стіни вкриті шаром штукатурки та цементного оздоблення завтовшки 0,03 м. Внутрішні поверхні вирівняні гіпсовою чи вапняною штукатуркою середньою товщиною 0,02–0,025 м. Літня кухня споруджена з глиняних валків

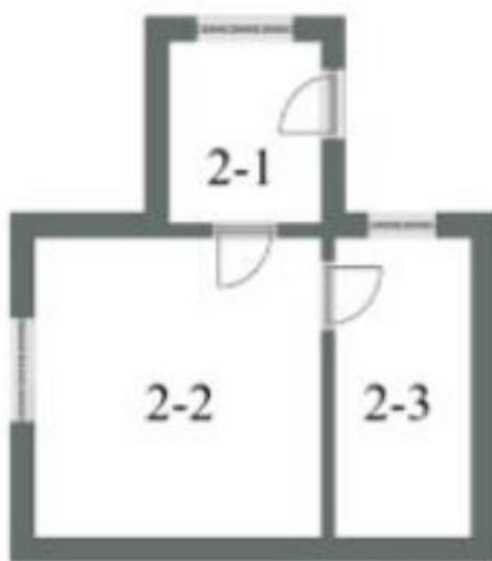
товщиною 0,40 м. Зовнішні стіни мають оздоблення цементним шаром товщиною близько 0,035 м, а внутрішні покриті цементною штукатуркою товщиною до 0,03 м.



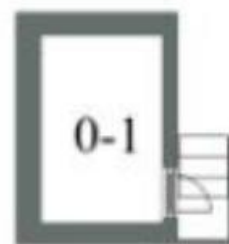
1 Перший поверх житлового будинку



2 Поверх житлового будинку



Літня кухня



Підвал

Рисунок 1.3 - План житлових будівель

Таблиця 1.2 - Характеристика приміщень житлових будівель

Номер на плані	Найменування приміщення	Площа, кв.м.	Також, кв.м.	
			Житлова	Підсобна
Погріб				
0—1	Приміщення підвалу	4,58		4,58
Помешкання				
Поверх перший				
1—1	Хідниця	19,54		19,54
1—2	Кухня	12,75		12,75
1—3	Вбиральня	1,38		1,38
1—4	Кімната	20,7	20,7	
1—5	Кімната	7	7	
1—6	Котельня	8,46		8,46
1—7	Ванна	10		10
Поверх другий				
1—8	Кімната	26,83	26,83	
1—9	Кімната	11,48	11,48	
1—10	Кімната	14,5	14,5	
1—11	Кімната	16,2	16,2	
1—12	Балкон	6,15		6,15
Літня кухня				
2—1	Хідниця	5,6		5,6
2—2	Кімната	16,8	16,8	
2—3	Кухня	8,6		8,6

1.2 Короткий опис інженерних мереж

Організація кондиціонування і вентиляції

Місцево на об'єкті не застосована механічна припливно-витяжна вентиляція. Обмін повітря здійснюється без штучного втручання, самопливом відкриваючи віконні конструкції. Стаціонарних систем кондиціонування не встановлено, а зниження температури в літній період забезпечується шляхом природного провітрювання та використання переносних вентиляторів.

Система опалення

Обігрів літньої кухні відбувається за допомогою твердопаливного обладнання, додатково використовується конвекторний електрообігрівач. У житловому будинку функціонують три джерела теплопостачання: газовий котел, твердопаливний котел та камін що розташований на другому поверсі. Також на другому поверсі змонтована система підігріву підлоги. Опалювальна площа визначається як сукупність житлових приміщень без урахування підвалів, горищ і кладових.

Система водопостачання

Водозабір для житлової будівлі та літньої кухні здійснюється з підземних джерел, а постачання виконує ТОВ «Карпатські мінеральні води». Через відсутність поквартирного обліку холодної води лічильники не встановлювалися. Технічний стан системи задовільний: порушень герметичності трубопроводів, видимих пошкоджень або витоків не виявлено.

Система газопостачання

Газові мережі прокладені до житлового будинку та літньої кухні і призначені для подачі палива до проточного водонагрівача, газової плити та конвекторів. У зв'язку з підвищенням вартості пропан-бутану порівняно з твердим паливом, газ використовується лише для приготування їжі та нагріву води. Контроль обліку здійснюється мембранним лічильником Metrix G10, встановленим у житловому будинку.

Система освітлення

У приміщеннях житлового типу змонтовано 18 світильників зі світлодіодними лампами. У допоміжних нежитлових спорудах застосовуються лампи розжарювання через нерегулярність користування і економічну недоцільність модернізації на сучасні аналоги.

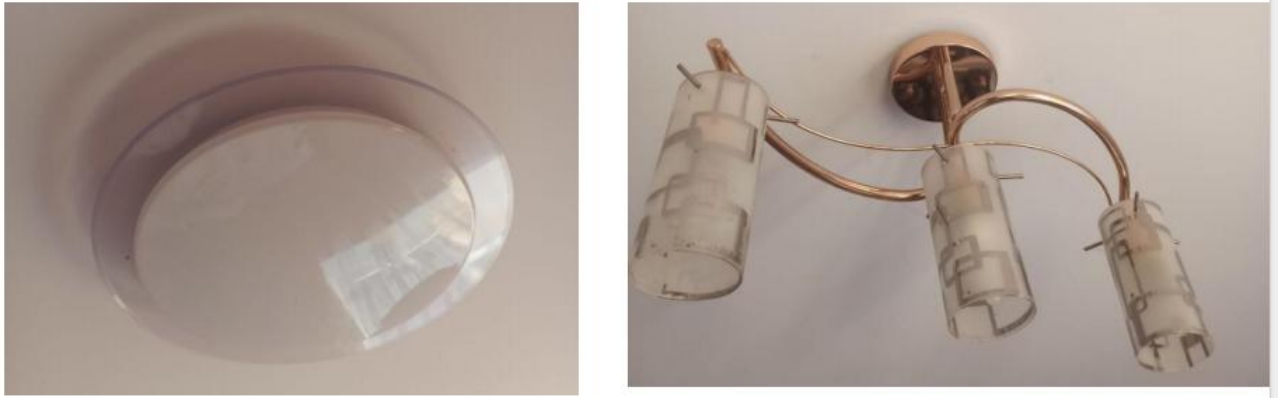


Рис 1.4 - Прилади освітлення

1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні 3 роки

Електрична енергія на об'єкті використовується для функціонування побутової техніки, робочого обладнання, заряджання електронних пристроїв, локального обігріву приміщень, освітлення та нагріву води. Обсяги споживання електроенергії та природного газу за період 2023–2025 років наведені в таблицях 1.3 і 1.4, а також відображені графічно на рисунках 1.5 і 1.6.

Таблиця 1.3 - Споживання електричної енергії за останнє триріччя

№	Місяць	Спожита електроенергія, кВт · год		
		2023 рік	2024 рік	2025 рік
1	Січень	242	263	224
2	Лютий	219	236	265
3	Березень	207	165	218
4	Квітень	203	159	165
5	Травень	188	182	194
6	Червень	171	186	208

Продовження таблиці 1.3

7	Липень	159	206	218
8	Серпень	177	183	167
9	Вересень	205	171	162
10	Жовтень	195	124	177
11	Листопад	201	173	159
12	Грудень	218	224	171
	Разом	2385	2272	2328

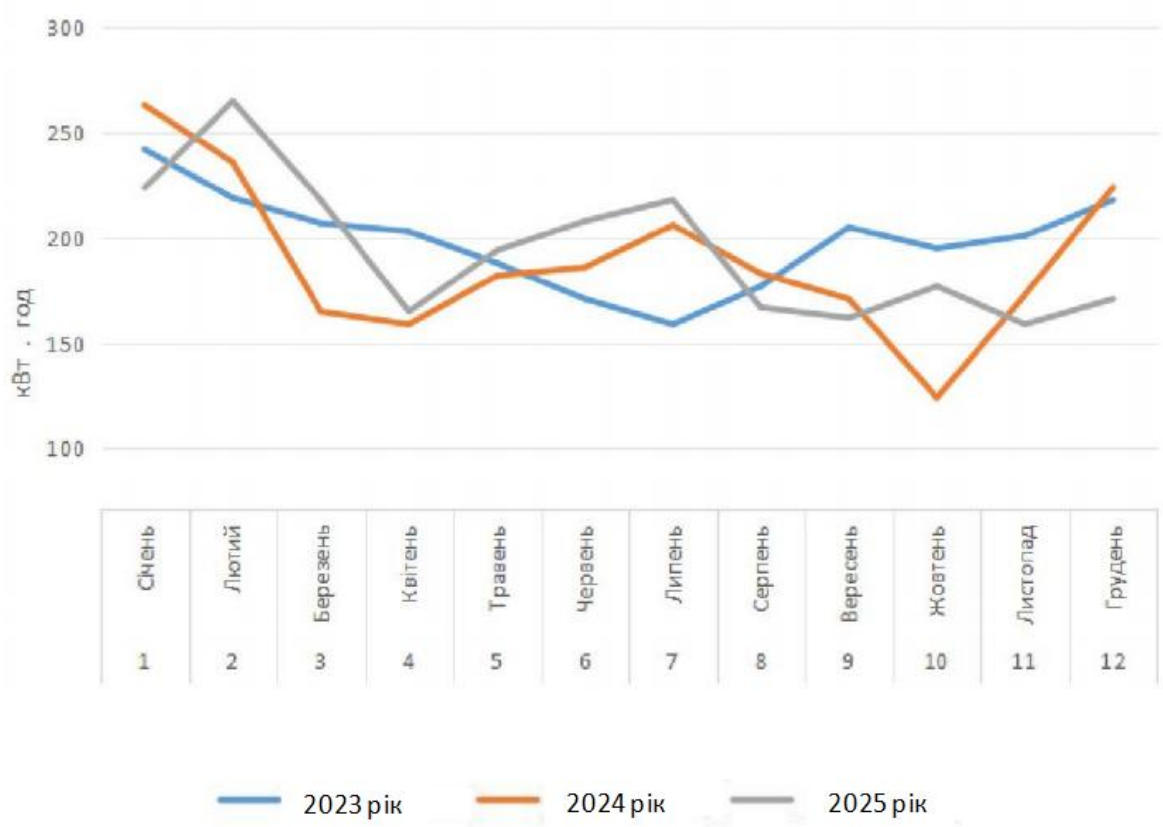


Рисунок 1.5 - Графічна ілюстрація спожитої електроенергії за останнє триріччя

Таблиця 1.4 - Використаний газ за останнє триріччя

№	Місяць	Спожитий газ, м³		
		2023 рік	2024 рік	2025 рік
1	Січень	45	53	39
2	Лютий	44	36	35
3	Березень	43	45	36

Продовження таблиці 1.4

4	Квітень	41	44	38
5	Травень	40	51	44
6	Червень	46	48	45
7	Липень	55	54	46
8	Серпень	48	50	43
9	Вересень	41	55	51
10	Жовтень	42	44	43
11	Листопад	47	40	46
12	Грудень	42	39	43
	Разом	524	559	509

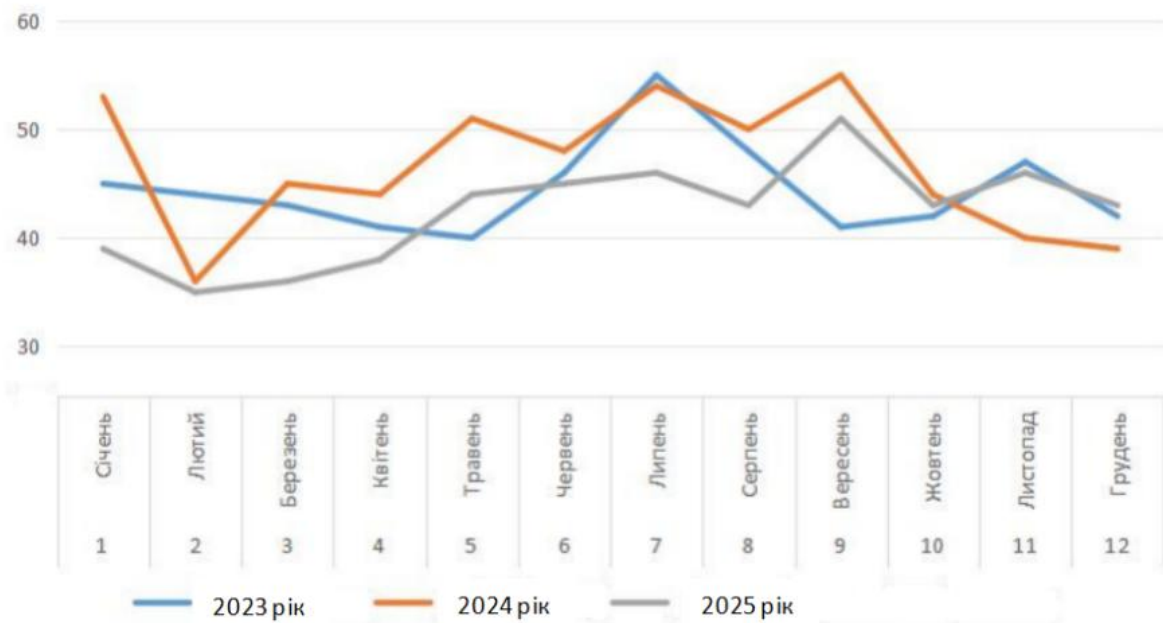


Рисунок 1.6 - Графічна ілюстрація спожитої газу за останнє триріччя

Дослідження даних за три попередні роки свідчить, що помісячне використання паливно-енергетичних ресурсів суттєвих коливань не зазнавало. У зимовий період фіксується помірне зростання електроспоживання, що пов'язане з використанням електроконвекторів, системи «тепла підлога» та збільшенням тривалості штучного освітлення. Натомість основний обсяг

природного газу витрачається на забезпечення гарячого водопостачання. У теплу пору року, коли попит на гарячу воду зростає, відповідно підвищується і витрата пропан-бутану.

1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР

Для спрощення подальших розрахунків приймаємо, що тарифи на електроенергію та природний газ протягом останніх трьох років залишалися стабільними. У розрахунках використані актуальні значення тарифів на дату проведення дослідження, а витрати на транспортування газу (приблизно 0,96 грн/м³) не враховувалися.

Встановлені тарифи становлять:

- електроенергія – 4,32 грн/кВт·год;
- природний газ – 7,96 грн/м³.

Аналіз структури витрат на енергоресурси дозволяє оцінити економічну доцільність впровадження заходів з енергозбереження. Зіставлення витрат на електроенергію та природний газ (рис. 1.6) показує, що домінуючу частку в загальних витратах займає електроенергія – приблизно 70%, тоді як природний газ становить близько 30%. Така диспропорція вказує на потенціал економії саме за рахунок оптимізації використання електричної енергії.

Таблиця 1.5 містить порівняльну характеристику витрат на електроенергію та газ, що дозволяє оцінити тенденції витрат та визначити пріоритетні напрямки підвищення енергоефективності. Графічне відображення даних у вигляді діаграми (рис. 1.7) дає наочне уявлення про структуру витрат та допомагає зупинитися на виваженому виборі для вирішення проблеми що впливає на оптимізацію споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Таблиця 1.5 - Порівняльна характеристика витрат електроенергії та природного газу

	Рік					
	2023		2024		2025	
	грн.	%	грн.	%	грн.	%
Електроенергія	10303	71,18	9815	68,81	10057	71,28
Природний газ	4171	28,82	4450	31,19	4051	28,72
Всього	14474	100	14265	100	14108	100



Рисунок 1.7 - Діагрма витрат електроенергії та газу за останні 3 роки

1.5 Коротка характеристика попередньої діяльності об’єкта у сфері Енергоефективності

За останні роки на об’єкті було реалізовано низку заходів, спрямованих на зниження тепловтрат та оптимізацію використання паливно-енергетичних ресурсів. Першочергово було вирішено монтувати металопластикові вікна із покращеними показниками теплоізоляції. Це дало можливість зменшити інфільтрацію холодного повітря та втрати тепла через огорожувальні конструкції, що особливо актуально у зимовий період.

Крім цього, було виконано часткове утеплення зовнішніх стін житлового будинку. Застосовані теплоізоляційні матеріали дозволили знизити теплопровідність огорожувальних елементів та підвищити загальний рівень теплоефективності будівлі. Хоча утеплення не охопило всю площу фасадів, навіть часткова модернізація позитивно вплинула на збереження внутрішнього мікроклімату та зменшення навантаження на систему опалення.

Також здійснювалися ремонтні роботи різного масштабу. У ряді приміщень проведено косметичне оновлення з метою покращення експлуатаційного стану та усунення локальних дефектів огорожувальних конструкцій. Окремі кімнати пройшли капітальний ремонт, під час якого відбулося удосконалення внутрішніх оздоблювальних шарів, оновлення інженерних мереж та відновлення теплоізоляційних характеристик перекриттів і стін.

Загалом упроваджені заходи не носили комплексного характеру, однак дали змогу зменшити питомі витрати на опалення та підвищити рівень енергетичної стійкості об'єкта. Наявність уже реалізованих рішень свідчить про попередню увагу до тематики енергоефективності та формує основу для подальших удосконалень у цій сфері.

1.6 Висновки по розділу 1

Приватне господарство щороку витрачає суттєві кошти на оплату енергоресурсів, що є одним із ключових факторів формування його загальних експлуатаційних витрат. У 2025 році загальна сума видатків на електроенергію та природний газ склала 14 108 грн. Із цієї суми 10 057 грн було витрачено на електричну енергію, що становить 71,28% від загальних витрат. Решта 4 051 грн припадає на оплату природного газу, тобто 28,72%. Така структура витрат свідчить про те, що електроенергія є головною статтею енергоспоживання, і саме в цьому напрямку найбільш доцільно впроваджувати заходи енергозбереження.

Протягом останніх трьох років обсяги використання електроенергії залишалися практично незмінними. Це може бути пов'язано зі стабільною кількістю електроприладів, незмінним режимом їх експлуатації та сталою чисельністю мешканців. Незважаючи на це, частка електроспоживання у загальних витратах залишається високою, що створює передумови для оптимізації цієї категорії витрат через модернізацію обладнання, перехід на більш ефективні технології або коригування режимів використання техніки.

Щодо природного газу, зафіксовано незначне, але показове скорочення його споживання — з 524 м³ у 2023 році до 509 м³ у 2025 році. Така тенденція може бути зумовлена частковим переходом на альтернативні джерела тепла, оптимізацією процесів нагрівання води або впровадженням елементарних енергозберігаючих дій, як-от утеплення окремих конструкцій будівлі. Зменшення обсягів використання газу навіть за умов зростання тарифів є позитивним сигналом щодо потенціалу підвищення ефективності.

У зв'язку з наведеними показниками для приватного господарства стає особливо актуальним комплексний підхід до зменшення енергоспоживання. Мова ідеться не тільки за технічну складову заходів, а й про організаційні рішення, зміну підходів до використання ресурсів, контроль навантажень та поступову модернізацію систем освітлення, опалення й водонагріву. Скорочення споживання як електроенергії, так і природного газу дозволить зменшити фінансове навантаження на домогосподарство, підвищити рівень енергоефективності та забезпечити стабільність витрат на роки вперед.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Оцінка стану та шляхи підвищення енергоефективності будівель приватного господарства

2.1.1 Огляд нормативних вимог щодо енергоефективності будівель та сучасного стану справ в сфері ЖКГ

Від першого вересня дві тисячі двадцять другого року в Україні набралися чинності оновлені вимоги щодо енергоефективності та теплоізоляції будівель, визначені у ДБН В.2.6-31:2021 [4]. Ці положення встановлюють технічні критерії, спрямовані на зменшення споживання енергоресурсів та підвищення енергоефективності будівель належно до Закону України «Про енергоефективність будівель» [5].

Нові нормативи передбачають посилені вимоги до теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій, енергоефективності інженерних систем та раціонального використання енергії для опалення, кондиціонування та підтримання мікроклімату. Вони застосовуються під час проектування, будівництва, реконструкції, капітального ремонту та термомодернізації будівель, що опалюються, охолоджуються або кондиціонуються. Ці норми також враховуються формуючи затрати на паливно-енергетичні ресурси на опалення, вентиляцію та охолодження.

Територію України поділено на дві кліматичні зони [6]. До першої, з нижчими середньорічними температурами, належать більшість регіонів: Хмельницька, Київська, Чернівецька, Волинська, Полтавська, Донецька, Черкаська, Рівненська, Харківська, Луганська, Сумська, Вінницька, Івано-Франківська, Львівська, Тернопільська, Дніпропетровська, Кіровоградська, Житомирська та Чернігівська області. До другої зони входять південні області та Закарпаття: АР Крим, Закарпатська, Запорізька, Миколаївська, Одеська та Херсонська області (рис. 2.1). Для кожної кліматичної зони встановлено мінімальні нормативні показники опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських споруд (див. табл. 2.1).



Рисунок 2.1 – Температурні зони України

Варто зазначити, що у країнах Європейського Союзу, де клімат загалом м'якший, ніж в Україні, вимоги до енергоефективності будівель є значно жорсткішими. Європейська директива 2010/31/EU від 19 травня 2010 року передбачає поступове підвищення вимог до коефіцієнта теплопередачі будівельних конструкцій [7]. Наприклад, у Польщі для енергоефективних будівель встановлено такі нормативи опору теплопередачі зовнішніх стін:

- з 1 січня 2015 року мінімальне значення $R_{q \min}$ становить $4,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$;
- з 1 січня 2017 року – не менше $4,35 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$;
- з 1 січня 2021 року – щонайменше $5,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$.

Таблиця 2.1 - Значення для громадських та житлових будинків мінімально допустимого опору теплопередачі огорожувальних конструкцій $R_{q \min}$

№	Огороджувальні конструкції за видами	Температурна зона, та $R_{q \min}, (m^2 \cdot K)/W$	
		I	II
1	Огороджувальні конструкції зовнішніх стін	4	3,5
2	Покриття суміщені, які ділять межі із повітрям навколишнього середовища	7	6
3	Покриття горищ що опалюються(технічні поверхні), мансард	6	5,5
4	Перекриття над підвалами що неопалюються і які межують з повітрям навколишнього середовища	5	4
5	Огороджувальні конструкції що пропускають світло	0,9	0,7
6	Зенітні ліхтарі	0,8	0,7
7	Зовнішні двері	0,7	0,6

Нормативно-правове регулювання у сфері енергоефективності спирається на широку базу документів [7–16], які визначають вимоги та стандарти у цій галузі. Останніми роками відбувається активне оновлення чинних нормативів і запровадження нових (див. табл. 2.2), що зумовлено збільшенням кількості вимог до енергетичної ефективності будинків.

Таблиця 2.2 - Останні 7 років змін нормативних документів, що стосуються енергоефективності будинків

№	Назви документів	Прийнятий	Вступив в дію	Замінений на
1	ДСТУ EN ISO 52017-1:2023 Енергоефективність будівель. Навантаження за явною та прихованою теплою і внутрішні температури. Частина 1. Загальні методики розрахунку (EN ISO 52017-1:2017, IDT; ISO 52017-1:2017, IDT) [8]	25.05.2023	01.03.2024	-
2	ДСТУ CEN/TR 15459-2:2017 Енергоефективність будівель. Методика економічного оцінювання для енергетичних систем будівель. Частина 2. Пояснення та обґрунтування EN 15459-1. Модуль M1-14 (CEN/TR 15459-2:2017, IDT [9])	25.05.2023	01.03.2024	-
3	ДСТУ EN 15316-3:2017 Енергоефективність будівель. Метод розрахунку енергопотреб та енергоефективності системи. Частина 3. Розподільні системи (гаряче водопостачання, опалення та охолодження). Модулі M3-6, M4-6, M8-6 (EN 15316-3:2017, IDT) [10]	8.05.2023	01.12.2023	ДСТУ EN 15316-3:2017 (EN 15316-3:2017, IDT)
4	ДСТУ EN 15232-1:2017 Енергоефективність будівель. Частина 1. Вплив функцій автоматизації, контролювання та управління будівлею. Модулі M10-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (EN 15232-1:2017, IDT) [11]	19.10.2022	01.05.2023	-

Прожовження таблиці 2.2

5	ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання [12]	06.10.2022	01.03.2023	ДСТУ Б А.2.2- 12:2015
6	ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [13]	06.10.2022	01.03.2023	ДСТУ Б В.2.6- 189:2013
7	ДБН В.1.2-11:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність [14]	30.12.2021	01.09.2022	ДБН В.1.2- 11- 2008
8	ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [15]	03.10.2018	01.03.2019	ДБН В.2.5- 28- 2006
9	ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування [16]	02.08.2018	01.12.2018	ДБН В.2.6- 33:2008

2.1.2 Визначення теплового навантаження будівлі

Проводячи оцінку тепловтрати через огорожувальні конструкції проведено аналіз їхнього фактичного стану, геометричних параметрів та матеріалів. Необхідні теплофізичні характеристики взяті з довідкових джерел, а товщини шарів визначені шляхом безпосередніх вимірювань.

Зовнішні стіни житлового будинку

Несучі стіни виконані з червоної цегли товщиною 0,38 м. Зовнішня поверхня додатково облицьована шаром цементної штукатурки та декоративного покриття загальною товщиною 0,03 м. Внутрішня обробка включає шар штукатурки (0,025 м) та гіпсове вирівнювання (0,02 м).

Розрахунок сумарного термічного опору огорожувальної конструкції без прорізів здійснюється за стандартною методикою:

$$R_c = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

де:

δ_1 - товща шару цегли, $\delta_1 = 0,38$ м;

δ_2 - товща шару зовнішньої штукатурки, $\delta_2 = 0,03$ м;

δ_3 - товща шару внутрішньої штукатурки, $\delta_3 = 0,025$ м;

δ_4 - товща гіпсового шару, $\delta_4 = 0,02$ м;

λ_1 - коефіцієнт теплопровідності червоної цегли, $\lambda_1 = 0,56$ Вт/(м·К°);

λ_2 - коефіцієнт теплопровідності зовнішнього штукатурного шару, $\lambda_2 = 0,87$ Вт/(м·К°);

λ_3 - коефіцієнт теплопровідності внутрішнього штукатурного шару, $\lambda_3 = 0,87$ Вт/(м·К°);

λ_4 - коефіцієнт теплопровідності шару гіпсу, $\lambda_4 = 0,34$ Вт/(м·К°);

α_1 - тепловіддача з внутрішнього боку конструкції, $\alpha_1 = 8,7$ Вт/(м²·К°);

α_2 - тепловіддача з зовнішнього боку конструкції, $\alpha_2 = 23$ Вт/(м²·К°).

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,56} + \frac{0,03}{0,87} + \frac{0,025}{0,87} + \frac{0,02}{0,34} + \frac{1}{23} = 0,959 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}}.$$

Для першої зони мінімальний показник термоопору для конструкцій стін дорівнює:

$$R_{q \min} = 4,0 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}}.$$

Наш випадок:

$$R_{cm} < R_{q \min}.$$

Наявний термоопір конструкцій стін не є на рівні діючих норм, тому в перспективі потрібно провести утеплення фасадів.

Значення коефіцієнта теплопередачі стіни:

$$k_c = \frac{1}{R_c} = \frac{1}{0,959} = 1,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}.$$

Стіни літньої кухні

Стіни допоміжної будівлі зведені з глиняних валків товщиною 0,4 м. Зовнішня поверхня обштукатурена шаром 0,035 м, внутрішня частина покрита цементною штукатуркою товщиною 0,03 м.

Під час візуального огляду пошкоджень, тріщин або дефектів не виявлено, оскільки конструкції були попередньо відремонтовані.

$$R_c = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

де:

δ_1 - товщина шару глини, $\delta_1 = 0,4$ м;

δ_2 - товщина зовнішнього штукатурного шару, $\delta_2 = 0,035$ м;

δ_3 - товщина внутрішнього штукатурного шару, $\delta_3 = 0,03$ м;

λ_1 - коефіцієнт теплопровідності глини, $\lambda_1 = 0,23$ Вт/(м·К°);

λ_2 - коефіцієнт теплопровідності зовнішнього штукатурного шару, $\lambda_2 = 0,87$ Вт/(м·К°);

λ_3 - коефіцієнт теплопровідності шару штукатурки, $\lambda_4 = 0,7$ Вт/(м·К°);

α_1 - тепловіддача з внутрішнього боку конструкції, $\alpha_1 = 8,7$ Вт/(м²·К°);

α_2 - тепловіддача з зовнішнього боку конструкції, $\alpha_2 = 23$ Вт/(м²·К°).

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,4}{0,23} + \frac{0,035}{0,87} + \frac{0,03}{0,7} + \frac{1}{23} = 1,98 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}}.$$

Для першої зони мінімальний показник термічного опору для стін дорівнює:

$$R_{q \min} = 4,0 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}}.$$

Наш випадок:

$$R_{cm} < R_{q \min}.$$

Існуючий термічний опір стін не відповідає встановленим нормам, тому в перспективі потрібно провести утеплення фасадів.

Значення коефіцієнта теплопередачі стіни:

$$k_c = \frac{1}{R_c} = \frac{1}{1,98} = 0,526 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}.$$

Вікна житлового будинку

У житловому приміщенні встановлені металопластикові вікна з подвійним склопакетом типу 4М1-12-4і. Загальна площа світлопрозорих огорожень становить $F_b = 20,32 \text{ м}^2$. Теплотехнічні характеристики відповідають зазначеним виробником.

Загальний термічний опір огорожувальних конструкцій визначається за типовою формулою:

$$R_b = 0,56 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}.$$

Показник теплопровідності пластикового вікна:

$$k_b = \frac{1}{R_b} = \frac{1}{0,56} = 1,786 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}.$$

Для першої зони мінімальний показник термічного опору для вікон дорівнює:

$$R_{q \min} = 0,9 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}, R_b < R_{q \min}.$$

Рівень термічного опору встановлених металопластикових вікон не відповідає нормативним вимогам і є нижчим за необхідний.

Вікна літньої кухні

У літній кухні встановлені аналогічні металопластикові вікна зі склопакетом 4М1-12-4і. Загальна площа становить $F_b = 6,75 \text{ м}^2$. Розрахунок

опору теплопередачі виконується за стандартним виразом:

$$R_b = 0,56 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}.$$

Показник теплопровідності пластикового вікна:

$$k_b = \frac{1}{R_b} = \frac{1}{0,56} = 1,786 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}.$$

Для першої зони мінімальний показник термічного опору для вікон дорівнює:

$$R_{q \min} = 0,9 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}, R_b < R_{q \min}.$$

Рівень термічного опору встановлених металопластикових вікон не відповідає нормативним вимогам і є нижчим за необхідний.

Дверні конструкції

До житлового будинку ведуть двоє входних дверей із металопластиковим заповненням загальною площею $F1 = 6,83 \text{ м}^2$, а до літньої кухні – одні двері площею $F2 = 2,31 \text{ м}^2$. Усі дверні блоки оснащені склопакетами типу 4М1-16-4і, яким відповідає певний нормативний опір.

Розрахунок термічного опору проводиться за відповідною методикою:

$$R_{\text{дв мп}} = 0,59 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі металопластикових дверей:

$$k_{\text{дв мп}} = \frac{1}{R_{\text{дв мп}}} = \frac{1}{0,59} = 1,695 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}.$$

Для першої зони мінімальний показник термічного опору для дверей дорівнює:

$$R_{\text{дв мп}} = 0,7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}.$$

Отримані результати свідчать, що опір теплопередачі існуючих дверей є нижчим за мінімально допустимий норматив (0,59 проти 0,70). Для зменшення

тепловтрат рекомендовано замінити дверні блоки або виконати додаткове утеплення.

Дах житлової будівлі

Конструкція даху житлового будинку складається з таких шарів:

а) гіпсокартон, теплопровідність якого становить $\lambda_{гк} = 0,21 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$, товщина шару - $\delta_{гк} = 0,012 \text{ м}$;

б) повітряний прошарок із теплопровідністю $\lambda_{пп} = 0,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$, і товщиною $\delta_{пп} = 0,1 \text{ м}$;

в) стеля з глини з параметром теплопровідності $\lambda_{гс} = 0,23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$, і товщиною $\delta_{гс} = 0,26 \text{ м}$.

Тепловий опір конструкції визначається за такою формулою:

$$R_{\text{дах}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{гк}}{\lambda_{гк}} + \frac{\delta_{пп}}{\lambda_{пп}} + \frac{\delta_{гс}}{\lambda_{гс}} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Для отримання результату, підставимо значення:

$$R_{\text{дах}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,21} + \frac{0,1}{0,15} + \frac{0,26}{0,23} + \frac{1}{23} = 2,01 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}.$$

Показник, що характеризує швидкість тепловтрат через дах:

$$k_{\text{дах}} = \frac{1}{R_{\text{дах}}} = \frac{1}{2,127} = 0,47 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}.$$

У межах І зони передбачено нижню межу нормативного показника теплопровідності даху:

$$R_{q \min} = 6,0 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}, R_{\text{дах}} < R_{q \min}.$$

Показник термоопору покрівлі не відповідає нормативним вимогам і є нижчим за необхідний.

Дах літньої кухні

Конструкція даху житлового будинку складається з таких шарів:

- а) гіпсокартон, теплопровідність якого становить $\lambda_{гк} = 0,21 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$, товщина шару - $\delta_{гк} = 0,011 \text{ м}$;
- б) повітряний прошарок із теплопровідністю $\lambda_{пп} = 0,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$, і товщиною $\delta_{пп} = 0,1 \text{ м}$;
- в) стеля з глини з параметром теплопровідності $\lambda_{гс} = 0,23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$, і товщиною $\delta_{гс} = 0,32 \text{ м}$.

Тепловий опір конструкції визначається за такою формулою:

$$R_{\text{дах}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{гк}}{\lambda_{гк}} + \frac{\delta_{пп}}{\lambda_{пп}} + \frac{\delta_{гс}}{\lambda_{гс}} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Для отримання результату, підставимо значення:

$$R_{\text{дах}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,011}{0,21} + \frac{0,1}{0,15} + \frac{0,32}{0,23} + \frac{1}{23} = 2,26 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}.$$

Показник, що характеризує швидкість тепловтрат через дах:

$$k_{\text{дах}} = \frac{1}{R_{\text{дах}}} = \frac{1}{2,26} = 0,442 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}.$$

У межах І зони передбачено нижню межу нормативного показника теплопровідності даху:

$$R_{q \min} = 6,0 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}, R_{\text{дах}} < R_{q \min}.$$

Показник термоопору даху не відповідає нормативним вимогам і є нижчим за необхідний.

Підлога житлової будівлі

Підлога в житловому приміщенні складається з кількох шарів: керамограніту з клеєм, цементної стяжки та бетону. Ось їх характеристики:

- а) керамограніт з клеєм має теплопровідність $1,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$ і товщину $0,02 \text{ м}$;

б) цементна стяжка має теплопровідність $0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$ і товщину 0,07 м;

в) бетон має теплопровідність $0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$ і товщину 0,27 м.

Для розрахунку опору теплопередачі використовується відповідна формула.

$$R_{\text{підл}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{к}}} + \frac{\delta_{\text{цс}}}{\lambda_{\text{цс}}} + \frac{\delta_{\text{б}}}{\lambda_{\text{б}}} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Для отримання результату, підставимо значення:

$$R_{\text{підл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{1,1} + \frac{0,07}{0,81} + \frac{0,27}{0,7} + \frac{1}{23} = 0,648 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}.$$

Показник, що характеризує швидкість тепловтрат через підлогу:

$$k_{\text{підл}} = \frac{1}{R_{\text{підл}}} = \frac{1}{0,648} = 1,54 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}.$$

У межах I зони передбачено нижню межу нормативного показника теплопровідності підлоги:

$$R_{\text{q min}} = 5,0 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}, R_{\text{підл}} < R_{\text{q min}}.$$

Показник термоопору підлоги не належить до дійсних нормативних вимог і є нижчим за необхідний.

Підлога літньої кухні

Підлога в житловому приміщенні складається з кількох шарів: керамограніту з клеєм, цементної стяжки та бетону. Ось їх характеристики:

а) керамограніт з клеєм має теплопровідність $1,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$ і товщину 0,017 м;

б) цементна стяжка має теплопровідність $0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$ і товщину 0,04 м;

в) бетон має теплопровідність $0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}$ і товщину 0,24 м.

Для розрахунку опору теплопередачі використовується відповідна формула:

$$R_{\text{підл}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{\delta_{\text{цс}}}{\lambda_{\text{цс}}} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Для отримання результату, підставимо значення:

$$R_{\text{підл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,017}{1,1} + \frac{0,04}{0,81} + \frac{0,24}{0,7} + \frac{1}{23} = 0,566 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}.$$

Показник, що характеризує швидкість тепловтрат через підлогу:

$$k_{\text{підл}} = \frac{1}{R_{\text{підл}}} = \frac{1}{0,566} = 1,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}.$$

У межах I зони передбачено нижню межу нормативного показника теплопровідності підлоги:

$$R_{q \text{ min}} = 5,0 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^0}{\text{Вт}}, R_{\text{підл}} < R_{q \text{ min}}.$$

Показник термоопору підлоги не належить до дійсних нормативних вимог і є нижчим за необхідний.

Таблиця 2.3 – Порівняння показників термічного опору

Огороджуюча конструкція	Теплопередаєчий опір, (м²·К)/Вт		Різниця між найменше дозволеним значенням, в скільки разів
	Дійсний	Нижня межа допустимого відповідно до ДБН	
Стіни ЖБ	0,959	4,0	4,17
Стіни ЛК	1,98	4,0	2,02
М/п вікна ЖБ і ЛК	0,56	0,9	1,61
М/п двері	0,59	0,7	1,19
Дах ЖБ	2,01	6,0	2,98
Дах ЛК	2,26	6,0	2,66
Підлога ЖБ	0,648	5,0	7,71
Підлога ЛК	0,566	5,0	8,84

З таблиці 2.3 підбиваємо висновки, всі перелічені вище огорожуючі конструкції житлової будівлі та літньої кухні не відповідають мінімальним вимогам за тепловим опором і потребують покращення термічного опору шляхом модернізації.

Порахована кількість теплових втрат що проходять через дані огороження розраховуватиметься за допомогою відповідної формули.

$$Q = \sum k_i \cdot F_i (t_b - t_z) \cdot (1 + \sum \beta).$$

де

k_i — значення що відповідає за теплопередачу, Вт/(м²·К);

F_i — розмір огорожувальної поверхні, м²;

t_b — прийнята температура в середині приміщення $t_b = 19$ °С;

t_z — прийнята розрахункова температура повітря навколишнього середовища $t_z = -21$ °С;

$\sum \beta$ — у подальших розрахунках враховуватимуться лише ті додаткові теплові витрати, що зумовлені орієнтацією стін будівлі відносно сторін горизонту. Зокрема, північний фасад спричиняє збільшення втрат приблизно на 10%, східна та західна стіни додають орієнтовно по 5%, тоді як південна сторона не створює додаткових втрат 0 %.

η — коефіцієнт, що враховує зниження різниці температур при розрахунках, і який залежить від розташування зовнішньої поверхні огорожуючих конструкцій відносно повітря назовні, беремо за $\eta = 1$.

Розрахунок тепловтрат всіх огорожувальних конструкцій показано таблицею 2.4.

Кількість тепла, необхідного для обігріву вентиляційного повітря, визначається за допомогою відповідної формули.

$$Q_{вп} = 0,337 \cdot V_{оп} \cdot (t_b - t_z).$$

де $V_{оп}$ - опалювальний об'єм будівлі $V_{опЖБ} = A \cdot h = 122 \cdot 2,3 = 280,6$ м³;

$$V_{опЛК} = A \cdot h = 31 \cdot 2,2 = 68,2$$
 м³.

Підставляємо значення, отримаємо:

$$Q_{\text{впЖБ}} = 0,337 \cdot 280,6 \cdot (19 - (-21)) = 3782,49 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{впЛК}} = 0,337 \cdot 68,2 \cdot (19 - (-21)) = 919,34 \text{ Вт}.$$

Таблиця 2.4 - Обчислення тепловтрат через зовнішні конструкції.

Огороджувальні конструкції	Розрахункові дані					Тепловтрати , Вт
	k, Вт/(м²·К)	F, м²	t _в , °С	t _з , °С	Σβ, %	
Стіни ЖБ (пн-сх)	1,04	36	19	-21	10	1647,4
Стіни ЖБ (пн-зх)	1,04	54	19	-21	10	2471,04
Стіни ЖБ (пд-сх)	1,04	54	19	-21	5	2358,72
Стіни ЖБ (пд-зх)	1,04	36	19	-21	0	1497,6
Стіни ЛК (пн-сх)	0,526	13	19	-21	10	300,87
Стіни ЛК (пн-зх)	0,526	14	19	-21	10	324,02
Стіни ЛК (пд-сх)	0,526	14	19	-21	5	309,29
Стіни ЛК (пд-зх)	0,526	13	19	-21	0	273,52
М/п вікна ЖБ (пн-зх)	1,786	10,95	19	-21	10	860,49
М/п вікна ЖБ (пд-сх)	1,786	7,54	19	-21	5	565,59
М/п вікна ЖБ (пд-зх)	1,786	2,55	19	-21	0	538,66
М/п вікна ЛК (пн-сх)	1,786	0	19	-21	10	0
М/п вікна ЛК (пн-зх)	1,786	0	19	-21	10	0
М/п вікна ЛК (пд-сх)	1,786	2,25	19	-21	5	168,77
М/п вікна ЛК (пд-зх)	1,786	4,5	19	-21	0	321,48
М/п двері	1,695	9,14	19	-21	0	618,59
Дах ЖБ	0,47	61	19	-21	0	1146,8
Дах ЛК	0,442	31	19	-21	0	548,08
Підлога ЖБ	1,54	122	19	-21	0	7515,2
Підлога ЛК	1,76	31	19	-21	0	2182,4
Разом Q _{ок}	23648,52					

Таким чином, загальні теплові втрати будівлі дорівнюють:

$$Q = Q_{\text{ок}} + Q_{\text{вп}} = 23648,52 + 919,34 + 3782,49 = 28350,35 \text{ Вт.}$$

2.1.3 Аналіз розрахункових та фактичних даних по споживанню з приведенням до нормативних погодних умов

Дивлячись на діаграма що відображає поділ теплових витрат через різні елементи огорожувальних конструкцій наведено на рисунку 2.2 (у відсотковому співвідношенні). Проведений аналіз демонструє, що найбільші тепловтрати припадають на стіни, підлогу та вентиляцію. Утрати через вікна та двері мають мінімальне значення й у подальших розрахунках можуть не враховуватися.

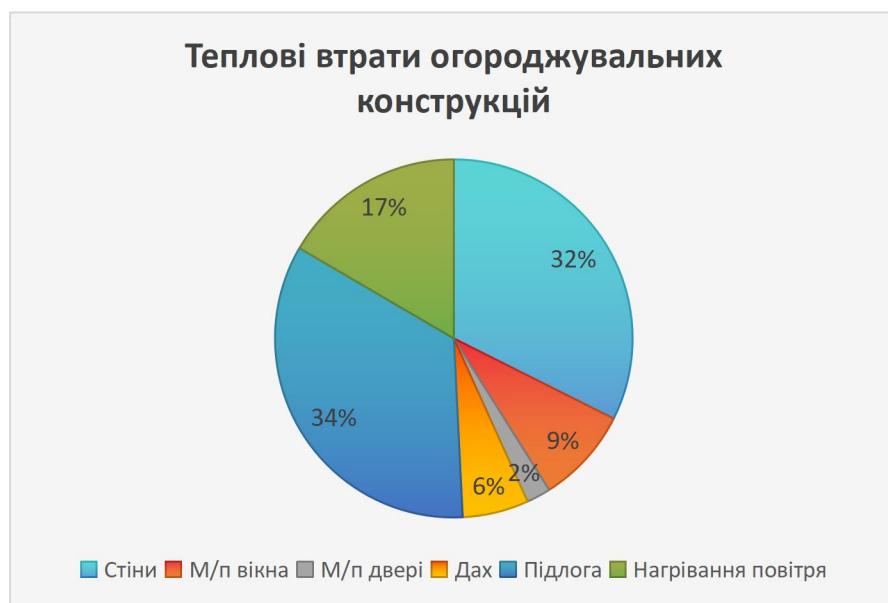


Рисунок 2.2 - Втрачене тепло огорожувальних конструкцій

2.1.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій

2.1.4.1 Утеплення зовнішніх стін будівлі

Надання фасадам належного утеплення є одним із важливих заходів для покращення енергозбереження в будинках не лише для зменшення енергоспоживання на обігрів, а й для забезпечення додаткового захисту від

атмосферної вологи, підвищення шумоізоляції та покращення протипожежних властивостей конструкцій. Використання зовнішньої теплоізоляції сприяє підтримці стабільного температурного режиму в приміщеннях протягом усього року, створює комфортні умови для проживання та допомагає зменшити тепловтрати, водночас захищаючи будівлю від механічних деформацій або руйнувань, спричинених корозією чи старінням матеріалів.

Серед найбільш розповсюджених утеплювальних матеріалів на сьогоднішній день виділяють пінопласт та мінеральну вату [17]. Кожен з цих матеріалів має свої особливості, що визначають їх ефективність у різних умовах експлуатації.

Пінопласт, або пінополістирол, являє собою легкий пористий синтетичний матеріал, що в своєму складі містить полістирольні гранули, які містять в собі наповнення газом. Структура цього матеріалу забезпечує високий рівень теплоізоляції та невелику вагу, що спрощує монтаж на фасаді (рис. 2.3.а).

Мінеральна вата, відома також як кам'яна або базальтова вата, Одержується шляхом переробки розплавлених вулканічних порід, доменного шлаку або їх комбінацій. Вона утворює волокнисту структуру, яка забезпечує хорошу тепло- та звукоізоляцію, а також відзначається високою вогнестійкістю (рис. 2.3.б).

У подальшому буде здійснено порівняльний аналіз цих матеріалів за ключовими параметрами, що визначають їхню ефективність при утепленні стін будівель, з метою вибору оптимального рішення для підвищення енергоефективності.



а)



б)

Рисунок 2.3 - Матеріали для теплоізоляції: а - пінополістерол; б - базальтова вата

Під час вибору фасадних утеплювачів передусім беруть до уваги цілу низку властивостей: здатність проводити тепло, рівень шумоізоляції, пропускання пари, реакцію на вогонь, опір впливу шкідників, простоту встановлення, тривалість служби та цінову доступність [18].

1. Теплопровідність

Цей показник є основним при виборі теплоізоляційного матеріалу. Для пінопласту та мінеральної вати значення теплопровідності практично однакове — близько 0,03–0,04 Вт/(м·К), різниця є невеликою, все залежить від вибору конкретного типу. Відповідно остаточний вибір матеріалу слід робити з урахуванням інших характеристик.

2. Звукоізоляція

Пінопласт забезпечує часткове зниження зовнішнього шуму, тоді як базальтова вата значно ефективніше поглинає звуки, особливо повітряного типу. Щільність матеріалу впливає на рівень шумоізоляції: менш щільна вата краще гасить повітряний шум, більш щільна — ударні звуки.

3. Вогнестійкість

Пінопласт має низьку стійкість до вогню та швидко розгорається, що створює ризики при експлуатації будівлі. Мінеральна вата є негорючим матеріалом із температурою плавлення понад 1000 °С а також при нагріві відсутнє виділення речовин які містять токсини.

4. Паропроникність

Плити з пінополістиролу не пропускають вологу, що може призвести до накопичення конденсату та утворення цвілі. Мінеральна вата завдяки волокнистій структурі має високий рівень паропроникності, що забезпечує природне виведення вологи та підвищує довговічність стін.

5. Стійкість до шкідників

Пінополістерол є хорошим місцем для розмноження і перебування в ньому гризунів. Мінеральна вата не є придатною для їх проживання, що робить її більш безпечною для житлових приміщень.

6. Монтаж

Установка пінопласту є простою та швидкою, утеплення мінватою потребує трохи більшої кваліфікації, справедливості ради що пінопласт, що мінеральну вату можна встановлювати без значних складнощів.

7. Довговічність

Термін експлуатації пінопласту становить 10–15 років, хоча захисні шари можуть подовжити його службу. Мінеральна вата здатна зберігати свої властивості до 50 років, забезпечуючи довготривалий захист і комфорт.

8. Вартість

Пінопласт є більш економічним варіантом, тоді як мінеральна вата коштує дорожче, однак її властивості значно перевищують характеристики пінопласту, що виправдовує додаткові витрати.

Після проведення порівняння можна зробити висновок: пінопласт дешевший та трохи простіший у монтажі, проте мінеральна вата значно перевершує його за шумоізоляцією, вогнестійкістю, паропроникністю, стійкістю до шкідників і довговічністю. Вона виробляється з розплавлених гірських порід (часто базальтового походження), що надає матеріалу надійність і популярність для утеплення фасаду будинків показано на рисунку 2.3 (б).

Рисунок 2.4 показує приклад утеплення фасаду мінеральною ватою. Для стін житлового будинку обирають мінераловатні плити завтовшки $\delta_{\text{мв}} = 0,12$ м і теплопровідністю $\lambda_{\text{мв}} = 0,035$ Вт/(м·К). Плити кріпляться до стіни за допомогою клею товщиною $\delta_{\text{кр}} = 0,005$ м і теплопровідністю $\lambda_{\text{кр}} = 0,7$ Вт/(м·К). Зовні наноситься додатковий клейовий шар із армувальною сіткою $\delta_{\text{крс}} = 0,005$ м і теплопровідністю $\lambda_{\text{крс}} = 0,7$ Вт/(м·К). Завершальним етапом є декоративна штукатурка товщиною $\delta_{\text{дш}} = 0,005$ м і теплопровідністю $\lambda_{\text{дш}} = 0,2$ Вт/(м·К).



Рисунок 2.4 - Технологія покращення теплоізоляційних властивостей стін кам'яною ватою

Провівши заходи для утеплення зовнішніх огорожень їхній опір теплопередачі розраховуватиметься за наступною формулою:

$$R_c = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_{\text{мв}}}{\lambda_{\text{мв}}} + \frac{\delta_{\text{кр}}}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{\delta_{\text{крс}}}{\lambda_{\text{крс}}} + \frac{\delta_{\text{дш}}}{\lambda_{\text{дш}}} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Після підстановки значень у формулу, вийшло:

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,56} + \frac{0,03}{0,87} + \frac{0,025}{0,87} + \frac{0,02}{0,34} + \frac{0,12}{0,035} + \frac{0,005}{0,7} + \frac{0,005}{0,7} + \frac{0,005}{0,2} + \frac{1}{23} = 4,38 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}};$$

$$R_{\text{ст}} > R_{\text{q min}}.$$

Показник передачі тепла через стіну після проведення заходів з утеплювача:

$$k_c = \frac{1}{R_c} = \frac{1}{4,38} = 0,228 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}.$$

Щоб покращити теплоізоляцію стін літньої кухні буде використано такі ж матеріали, як для стін житлового будинку

Після проведення утеплення стін їхній опір теплопередачі розраховуватиметься за наступною формулою:

$$R_c = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{\text{мв}}}{\lambda_{\text{мв}}} + \frac{\delta_{\text{кр}}}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{\delta_{\text{крс}}}{\lambda_{\text{крс}}} + \frac{\delta_{\text{дш}}}{\lambda_{\text{дш}}} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Після підстановки значень у формулу, вийшло:

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,4}{0,23} + \frac{0,035}{0,87} + \frac{0,03}{0,7} + \frac{0,12}{0,035} + \frac{0,005}{0,7} + \frac{0,005}{0,7} + \frac{0,005}{0,2} + \frac{1}{23} = 5,45 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}};$$

$$R_{\text{ст}} > R_{\text{q min}}.$$

Показник передачі тепла через стіну після проведення заходів з утеплювача:

$$k_c = \frac{1}{R_c} = \frac{1}{5,45} = 0,184 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}.$$

2.1.4.2 Утеплення підлоги

Для забезпечення ефективного теплоізоляційного захисту підлоги житлового будинку планується використання пінопласту з щільністю 35 кг/м³. Товщина шару утеплювача встановлена на рівні 0,15 м, що обумовлено необхідністю досягнення мінімального термоопору щоб підвищити рівень комфорту проживання а також зменшення втрат теплової енергії. Монтаж утеплювача здійснюватиметься на стелі підвальних приміщень, розташованих безпосередньо під житловими кімнатами, що дозволяє ізолювати приміщення від холоду, що надходить знизу (рис. 2.5).

Для досягнення необхідних теплофізичних характеристик підлоги передбачено створення багатошарової конструкції: базовий пінополістирольний шар укладається на підготовлену основу, після чого можливе нанесення додаткових вирівнювальних або монтажних шарів. Такі шари забезпечують надійну фіксацію плит та додатковий захист від механічних пошкоджень.

а) пінопласт $\lambda_n = 0,033 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}$, товщиною $\delta_n = 0,15$ м;

б) шар клею та армуючої сітки $\lambda_{\text{кc}} = 0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}$, товщиною $\delta_n = 0,03$ м;

Декоративне покриття або фінішна штукатурка в даному випадку не застосовується, оскільки основне завдання полягає у максимальному збереженні тепла та зменшенні втрат енергії. Розрахунковий показник термічного опору після покращення теплоізоляційних характеристик визначається за відповідними формулами, що враховують товщину та теплопровідність кожного шару конструкції.

$$R_{\text{підл}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{к}}} + \frac{\delta_{\text{цс}}}{\lambda_{\text{цс}}} + \frac{\delta_{\text{б}}}{\lambda_{\text{б}}} + \frac{\delta_{\text{п}}}{\lambda_{\text{п}}} + \frac{\delta_{\text{кc}}}{\lambda_{\text{кc}}} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Після підстановки значень у формулу, вийшло:

$$R_{\text{підл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{1,1} + \frac{0,07}{0,81} + \frac{0,27}{0,7} + \frac{0,15}{0,033} + \frac{0,03}{0,7} + \frac{1}{6} = 5,36 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}}.$$

Значення що характеризує властивості теплопередачі підлоги:

$$k_{\text{підл}} = \frac{1}{R_{\text{підл}}} = \frac{1}{5,36} = 0,187 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}.$$

Якщо говорити про літньої кухні, проведення утеплення підлоги технічно утруднене через необхідність демонтажу існуючого покриття. Такі роботи є фінансово та технологічно не вигідними, оскільки вони потребують значних матеріальних витрат і складних монтажних процесів. Тому підлога літньої кухні залишиться без змін, що забезпечує оптимальне співвідношення витрат і ефективності в рамках проекту. Розрахунки теплового опору для літньої кухні також виконуються за стандартними формулами з урахуванням відсутності утеплювача.

$$R_{\text{підл}} = 0,566 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}}; k_{\text{підл}} = 1,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}.$$

2.1.4.3 Утеплення даху

Для забезпечення належної теплоізоляції даху житлового будинку планується застосування мінераловатних плит з товщиною $\delta_{\text{мвп}} = 0,15$ м та теплопровідністю $\lambda_{\text{мвп}} = 0,035$ Вт/(м·К). Цей шар утеплювача дозволяє значно зменшити тепловтрати через покрівлю та стабілізувати внутрішню температуру приміщень у зимовий та літній період. Після завершення монтажу утеплювача тепловий опір покрівлі визначається за відповідною формулою:

$$R_{\text{дах}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{гк}}}{\lambda_{\text{гк}}} + \frac{\delta_{\text{пп}}}{\lambda_{\text{пп}}} + \frac{\delta_{\text{гс}}}{\lambda_{\text{гс}}} + \frac{\delta_{\text{мв}}}{\lambda_{\text{мв}}} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Після підстановки значень у формулу, вийшло:

$$R_{\text{дах}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,21} + \frac{0,1}{0,15} + \frac{0,26}{0,23} + \frac{0,15}{0,035} + \frac{1}{23} = 6,3 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}}.$$

Показник втрат тепла через дах після виконання теплоізоляції:

$$k_{\text{дах}} = \frac{1}{R_{\text{дах}}} = \frac{1}{6,3} = 0,159 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}.$$

Аналогічні роботи з утеплення виконуються на даху літньої кухні, де також передбачено застосування мінераловатних плит завтовшки $\delta_{\text{мвп}} = 0,15$ м з аналогічними теплофізичними характеристиками $\lambda_{\text{мвп}} = 0,035$ Вт/(м·К). Такий підхід забезпечує ефективну теплоізоляцію будівлі та сприяє економії енергії для опалення. Приклад розташування та монтажу мінераловатних плит на даху представлено на рисунку 2.6.

Опір теплопередачі гірського перекриття робіт за відповідною формулою:

$$R_{\text{дах}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{гк}}}{\lambda_{\text{гк}}} + \frac{\delta_{\text{пп}}}{\lambda_{\text{пп}}} + \frac{\delta_{\text{гс}}}{\lambda_{\text{гс}}} + \frac{\delta_{\text{мв}}}{\lambda_{\text{мв}}} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Після підстановки значень у формулу, вийшло:

$$R_{\text{дах}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,011}{0,21} + \frac{0,1}{0,15} + \frac{0,32}{0,23} + \frac{0,15}{0,035} + \frac{1}{23} = 6,55 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}{\text{Вт}}.$$

Показник втрат тепла через дах після виконання теплоізоляції:

$$k_{\text{дах}} = \frac{1}{R_{\text{дах}}} = \frac{1}{6,55} = 0,153 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^\circ}.$$



Рисунок 2.5 – Утеплення стелі підвального приміщення пінополістирольними плитами



Рисунок 2.6 – Утеплення мансардного приміщення базальтовою ватою

2.1.4.4 Розрахунок тепловтрат

Результати проведених розрахунків теплових втрат через утеплені огорожувальні конструкції, а також сумарні теплові втрати по всьому об'єкту, наведені у таблицях 2.5 та 2.6. Дані дозволяють оцінити ефективність застосованих заходів із теплоізоляції та визначити внесок кожного елементу конструкції у загальні енергетичні витрати будівлі.

Таблиця 2.5 - Визначення втрат тепла після проведення теплоізоляційних робіт

Стіни	Дані для прорахунку					Тепловтрати, Вт
	$k, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	$F, \text{м}^2$	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{з}}, ^\circ\text{C}$	$\Sigma\beta, \%$	
ЖБ (пн-сх)	0,228	36	19	-21	10	361,15
ЖБ (пн-зх)	0,228	54	19	-21	10	541,73
ЖБ (пд-сх)	0,228	54	19	-21	5	517,1
ЖБ (пд-зх)	0,228	36	19	-21	0	328,32
ЛК (пн-сх)	0,184	13	19	-21	10	105,25

Продовження таблиці 2.5

Стіни ЛК (пн-зх)	0,184	14	19	-21	10	113,34
Стіни ЛК (пд-сх)	0,184	14	19	-21	5	108,19
Стіни ЛК (пд-зх)	0,184	13	19	-21	0	95,68
Дах ЖБ	0,159	61	19	-21	0	387,96
Дах ЛК	0,153	31	19	-21	0	189,72
Підлога ЖБ	0,187	122	19	-21	0	912,56
Разом Q _{ок}						3661

Таблиця 2.6 - Розрахунок економії теплової енергії

Огороджувальни конструкція	Тепловтрати до утеплення, Вт	Тепловтрати після утеплення, Вт	Економія теплової енергії, Вт
Стіни ЖБ	7974,76	1748,3	6226,46
Стіни ЛК	1207,7	422,46	785,24
Дах ЖБ	1146,8	387,96	758,84
Дах ЛК	548,08	189,72	358,36
Підлога ЖБ	7515,2	912,56	6602,64
Підлога ЛК	2182,4	2182,4	0
М/п вікна	2455	2455	0
М/п двері	618,59	618,59	0
Нагрівання вентиляційного повітря	4701,8	4701,8	0
Всього	28350,35 (100 %)	13618,8 (48,04 %)	14731,55 (51,96 %)

2.1.4.5 Економічна ефективність заходів

Для визначення річної економії електроенергії кожного заходу з підвищення енергоефективності застосовується методика, наведена у джерелі [19].

$$\Delta Q_{\text{рік}} = \Delta Q \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_0 \cdot 24 \cdot 10^{-3}.$$

Для міста Львів: $t_{\text{с.о.}} = -0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$, $n_0 = 184$ доби [7].

Підставивши значення, отримаємо:

а) покращення теплоізоляційних властивостей стін

$$\Delta Q_{сЖБ} = 6226,46 \frac{19 - (-0,2)}{19 - (-21)} \cdot 184 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 13198,1 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}};$$

$$\Delta Q_{сЛК} = 785,24 \frac{19 - (-0,2)}{19 - (-21)} \cdot 184 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 1664,46 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

б) покращення теплоізоляційних властивостей даху

$$\Delta Q_{дахЖБ} = 758,84 \frac{19 - (-0,2)}{19 - (-21)} \cdot 184 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 1608,49 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}};$$

$$\Delta Q_{дахЛК} = 358,36 \frac{19 - (-0,2)}{19 - (-21)} \cdot 184 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 759,61 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

в) покращення теплоізоляційних властивостей підлоги

$$\Delta Q_{підлЖБ} = 6602,64 \frac{19 - (-0,2)}{19 - (-21)} \cdot 184 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 13995,48 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

При умові, що тариф на електроенергію становить $C = 4,32$ грн/кВт·год, зменшення витрат з кожної дії складатиме:

$$E_{сЖБ} = \Delta Q_{сЖБ} \cdot C = 13198,1 \cdot 4,32 = 57279,75 \text{ грн};$$

$$E_{сЛК} = \Delta Q_{сЖБ} \cdot C = 1664,46 \cdot 4,32 = 7223,76 \text{ грн};$$

$$E_{дахЖБ} = \Delta Q_{сЖБ} \cdot C = 1608,49 \cdot 4,32 = 6980,85 \text{ грн};$$

$$E_{дахЛК} = \Delta Q_{сЖБ} \cdot C = 759,61 \cdot 4,32 = 3296,71 \text{ грн};$$

$$E_{підлЖБ} = \Delta Q_{сЖБ} \cdot C = 13995,48 \cdot 4,32 = 60740,38 \text{ грн}.$$

В об'єктах застосовуються твердопаливні каміни, які не потребують електроживлення для функціонування. Відповідно, розрахунки зосереджено на визначенні обсягів заходів та оцінці економії витрат на тверде паливо.

Додатково враховується часткове зниження споживання електроенергії системами теплої підлоги та конвекційними обігрівачами.

Середня вартість утеплення одного квадратного метра фасаду будівлі становить 1200 грн, що включає матеріали, монтажні роботи та гарантійне обслуговування. До робіт входять:

- монтаж утеплювача завтовшки 120 мм;
- фіксація утеплювача дюбелями-грибками;
- герметизація стиків монтажною піною;
- нанесення клейового шару;
- укладання армувальної сітки;
- обробка декоративною штукатуркою.

Вартість утеплення стін базальтовою ватою завтовшки 50 міліметрів складає 400 грн/м², що включає матеріали, демонтаж старих азбестових листів із повторним монтажем, укладання утеплювача та герметизацію швів і тріщин.

Для утеплення даху застосовується базальтова вата завтовшки 150 міліметрів з ціною 950 грн/м². Утеплення підлоги здійснюється за допомогою пінополістирольних плит завтовшки 150 міліметрів з врахуванням клею, дюбелів і робіт, що оцінюється у 600 грн/м².

Сумарні витрати на реалізацію кожного заходу визначаються за спеціальною формулою.

$$B = F \cdot C_{\text{роб.}}$$

де

F - огорожувальні конструкції за площею, м²;

C_{роб} - вартість роботи з врахуванням матеріалів, грн/м².

Період повернення витрат на впроваджені заходи:

$$T = \frac{B}{E}.$$

Результати проведених розрахунків наведено в таблиці 3.7. Аналіз економічної доцільності свідчить про прийнятні строки окупності для більшості заходів з підвищення енергоефективності. Винятком є утеплення

даху літньої кухні, термін окупності якого перевищує 10 років, що робить його менш ефективним з економічної точки зору.

Таблиця 2.7 - Обчислення базового періоду повернення інвестицій

№	Проведені заходи з утеплення	Площа F, м ²	Ціна за роботу, C _{роб} грн./ м ²	Сума витрат В, грн.	Скорочення фінансових витрат на електроенергію Е, грн.	Періоду повернення інвестицій Т, років
1	Зовнішні стін ЖБ	176	1200	211200	57279,75	3,7
2	Зовнішні стін ЛК	54	400	21600	7223,76	3
3	Дах ЖБ	61	950	57950	6980,85	8,3
4	Дах ЛК	31	950	29450	3296,71	9
5	Підлога ЖБ	122	600	115900	60740,38	2

2.1.5 Розроблення типових заходів з енергоефективності для інженерних систем будівлі та джерел енергії

В житловому будинку встановлено електричний бойлер моделі Ariston PRO1 R 100 230V, номінальна потужність якого складає 1,8 кВт (рис. 2.7) [20]. При середньому щоденному використанні 1,5 години, бойлер функціонує приблизно 45 годин на місяць, що в річному обчисленні дорівнює 972 кВт·год споживання електроенергії.

Для оцінки вартості використання бойлера застосовано тариф на електроенергію 4,32 грн/кВт·год. Без додаткових заходів, експлуатація бойлера призводить до значних щомісячних витрат на електроенергію.

Для зменшення споживання та підвищення економічності пропонується встановити оптимальну температуру нагріву води на рівні 45–47 °С. Це дозволяє підтримувати комфортні умови використання бойлера, зменшуючи енергоспоживання приблизно на 25–35 %. Додатковим заходом є використання

програмованого таймера, який обмежує роботу бойлера лише до часу, необхідного для нагріву води, виключаючи безцільне підтримання температури. Реалізація такого заходу зменшує споживання електроенергії на додаткові 30 %, а також сприяє продовженню терміну служби приладу (рис. 2.8) [21].

Розрахунок економічної ефективності проведено за відповідними формулами.

Отже вартість впровадження даного заходу:

$$B = 0 + 450 = 450 \text{ грн.}$$

Річна економія електроенергії:

$$\Delta Q = W \cdot 0,3 = 972 \cdot 0,3 = 291,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

При тарифі на електроенергію $C=4,32 \text{ грн/кВт}$, економія коштів на рік буде складати:

$$E = \Delta Q \cdot C = 291,6 \cdot 4,32 = 1259,71 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Термін окупності:

$$T = \frac{B}{E} = \frac{450}{1259,71} = 0,36 \text{ року.}$$

Згідно з отриманими даними, термін окупності заходу з встановлення програмованої розетки з таймером становить менше одного року, що робить його фінансово доцільним і ефективним з точки зору зниження енергоспоживання.



Рисунок 2.7 - Бойлер
Ariston PRO1



Рисунок 2.8 - Програмована розетка з
таймером включення і відключення

2.1.6 Висновки по розділу 2.1

Таблиця 2.8 - Технічні та економічні характеристики впровадження запланованих заходів з підвищення енергоефективності.

Енергозберігаючий захід	Інвестиції (витрати), грн.	Економія коштів, грн/рік.	Простий термін окупності, років
Утеплення зовнішніх стін ЖБ	211200	57279,75	3,7
Утеплення зовнішніх стін ЛК	21600	7223,76	3
Утеплення даху ЖБ	57950	6980,85	8,3
Утеплення даху ЛК	29450	3296,71	9
Утеплення підлоги ЖБ	115900	60740,38	2
Встановлення програмованої розетки	450	1259,71	0,36

2.2 Аналіз ефективності використання електричної енергії на об'єкті

2.2.1 Схема електропостачання об'єкту та її аналіз

Електрична енергія до всіх будівель приватного господарства подається з трансформаторної підстанції, оснащеної силовим трансформатором марки ТМ 250/10 номінальною потужністю 250 кВА з параметрами напруги 10/0,4 кВ. Подача електроенергії виконується по повітряній лінії електропередачі, збудованій із використанням проводу марки А-35, загальна довжина якої становить близько 325 метрів. Внутрішнє освітлення споруд під'єднане до мережі через груповий розподільний щит.

У житловому будинку встановлений трифазний лічильник електричної енергії типу NIK 2303 AP6 T.802.M.1.1, розрахований на напругу $3 \times 220/380$ В (рис. 2.9).

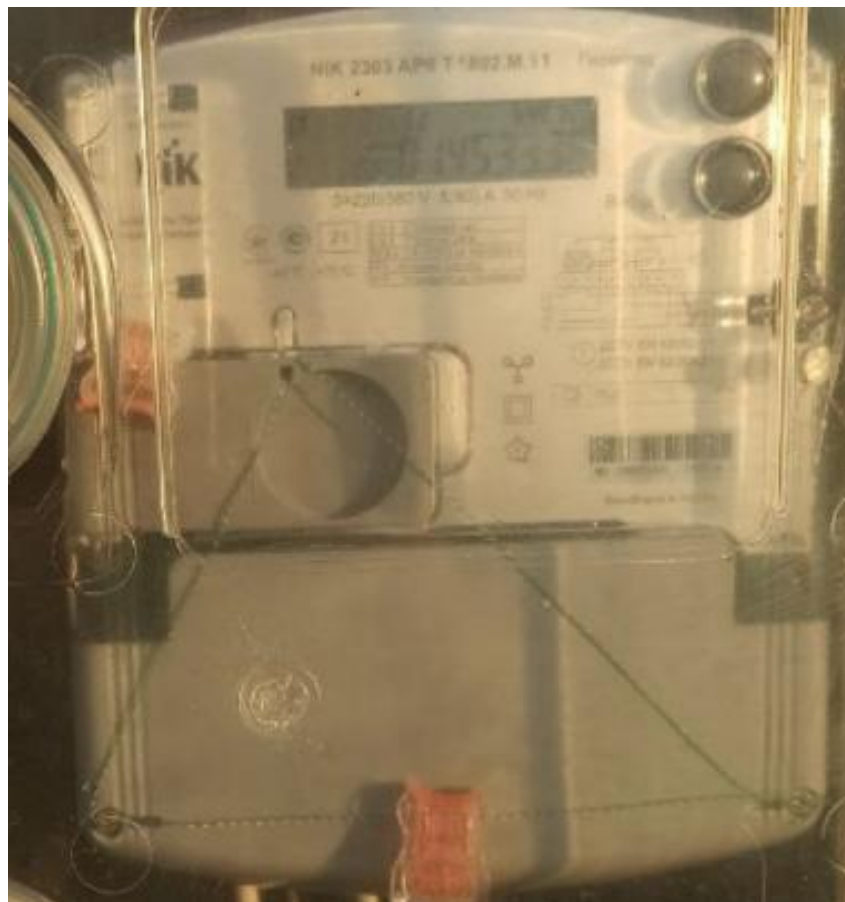


Рисунок 2.9 - Лічильник електроенергії NIK2303AP6T.802.M.1.1 $3 \times 220/380$ V

2.2.2 Визначення, коротка характеристика та оцінка енергоефективності суттєвих споживачів електричної енергії

На таблиці 2.9 видно перелік електроприймачів, згрупованих відповідно до приміщень житлового будинку. Таблиця 2.10 містить відомості про середню тривалість роботи обладнання та добові обсяги споживання електроенергії для кожної групи навантажень.

Таблиця 2.9 - Прилади що споживають електричну енергію

Номер приміщення	Назва приладу	Обсяг, шт	Потужність за номіналом, Вт
Житловий будинок			
1 Поверх			
1-1	Світильник	2	20
1-2	Світильник	1	100
	Електрична духовка	1	1800
	Мікрохвильова піч	1	900
	Кухонна витяжка	1	210
	Електрочайник	1	1200
	Холодильник	1	160
	Морозильна камера	1	115
	Інші кухонні пристрої (кавомолка, блендер, міксер, та інші)	1	350
1-3	Світильник	1	15
1-4	Світильник	1	100
1-5	Світильник	1	50
	Телевізор + T2 тюнер	1	100
	Зарядне для смартфона	2	15

Прожовження таблиці 2.9

Номер приміщення	Назва приладу	Обсяг, шт	Потужність за номіналом, Вт
1-6	Світильник	1	100
	Пральна машина	1	1800
	Електронасос	1	1200
1-7	Світильник	2	20
2 Поверх			
1-8	Світильник	1	100
	Зарядне до ноутбука	1	75
	Настільна лампа	1	20
	Заряде до смартфонів	1	18
1-9	Світильник	1	100
	Зарядне до ноутбука	1	65
	Настільна лампа	1	20
	Зарядне до смартфонів	1	15
1-10	Світильник	1	100
	Телевізор	1	350
	Роутер + термінал	1	15
	Зарядне до смартфона	2	18
1-11	Світильник	1	100
	Тепла підлога	1	1600
	Електронний годинник	1	10
1-12	Світильник	1	20

Прожовження таблиці 2.9

Літня кухня			
2-1	Світильник	1	24
2-2	Світильник	1	100
	Телевізор + T2 тюнер	1	100
	Зарядне для смартфона	1	18
	Конвекційний обігрівач	1	1500
	Електронний годинник	1	10
2-3	Світильник	1	100

Таблиц 2.10 - Спожита електрична енергія за добу окремими групами споживачів

№	Групи споживачів	К-сть	Потужність номінальна	Час роботи, год.	Добове споживання , кВт·год.
1	Світильники підвалу	2	0,02	0,5	0,02
2	Світильники ЖБ	14	0,02+0,1+0,05 +0,015	2,5	2,16
3	Світильники ЛК	3	0,1 + 0,024	4,5	1,008
4	Лампи	2	0,02	3,5	0,14
5	Тепла підлога	1	1600	5	8,0
6	Конвекційний обігрівач	1	1500	1,5	2,25
7	Зарядне для смартфонів	6	0,015+0,018	1,5	0,15
8	Зарядне для ноутбуків	2	0,075+0,065	2	0,28
9	Електрочайник	1	1200	0,2	0,24
10	Телевізор + T2 тюнер	2	0,200	3,5	1,4
11	Телевізор	1	0,200	4	0,8
12	Електронний годинник	2	0,010 + 0,010	24	0,48
13	Холодильник	1	0,160	5	0,8
14	Морозильна камера	1	0,115	5	0,575

Прожовження таблиці 2.10

11	Телевізор	1	0,200	4	0,8
12	Електронний годинник	2	0,010 + 0,010	24	0,48
13	Холодильник	1	0,160	5	0,8
14	Морозильна камера	1	0,115	5	0,575
15	Кавоварка	1	1000	0,2	0,2
16	Кухонна витяжка	1	0,21	2	0,42
17	Інші кухонні пристрої	1	0,350	0,5	0,150
18	Роутер + термінал	1	0,015	24	0,36
19	Пральна машинка	1	1800	0,5	0,9
20	Електронасос	1	1200	1,5	1,8
Всього					27,633

До основних споживачів електричної енергії належать: система освітлення житлових приміщень, тепла підлога, конвекційні електрообігрівачі, електронасос, пральна машина та телевізори з T2-приймачем. Тепла підлога та конвекційні обігрівачі функціонують як додаткові джерела опалення і застосовуються виключно у холодний період року, тому їх можна не враховувати в базових розрахунках постійного навантаження. Водночас ці пристрої споживають орієнтовно половину загального обсягу електроенергії та експлуатуються понад шість місяців на рік, що обґрунтовує необхідність визначення заходів зі зниження їх енергоспоживання.

На рисунках 2.10.а та 2.10.б представлено розподіл електроспоживання між групами електроприймачів у період опалювального сезону та в неопалюваний період відповідно.

Споживання електроенергії в опалювальний сезон

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 Світильники підвалу | 2 Світильники ЖБ | 3 Світильники ЛК |
| 4 Лампи | 5 Тепла підлога | 6 Конвекційний обігрівач |
| 7 Зарядне для смартфонів | 8 Зарядне для ноутбуків | 9 Електрочайник |
| 10 Телевізор + T2 тюнер | 11 Телевізор | 12 Електронний годинник |
| 13 Холодильник | 14 Морозильна камера | 15 Кавоварка |
| 16 Кухонна витяжка | 17 Інші кухонні пристрої | 18 Роутер + термінал |
| 19 Пральна машинка | 20 Електронасос | |

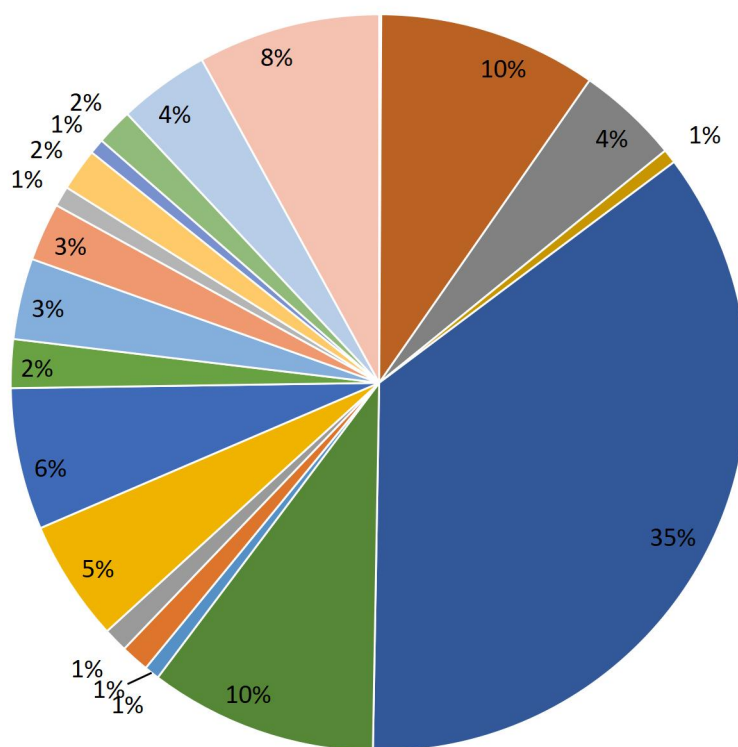


Рисунок 2.10.а - Пропорція використання електроенергії різними категоріями споживачів протягом опалювального сезону

Споживання електроенергії в неопалювальний сезон

- | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 Світильники підвалу | 2 Світильники ЖБ | 3 Світильники ЛК |
| 4 Лампи | 5 Зарядне для смартфонів | 6 Зарядне для ноутбуків |
| 7 Електрочайник | 8 Телевізор + T2 тюнер | 9 Телевізор |
| 10 Електронний годинник | 11 Холодильник | 12 Морозильна камера |
| 13 Кавоварка | 14 Кухонна витяжка | 15 Інші кухонні пристрої |
| 16 Роутер + термінал | 17 Пральна машинка | 18 Електронасос |

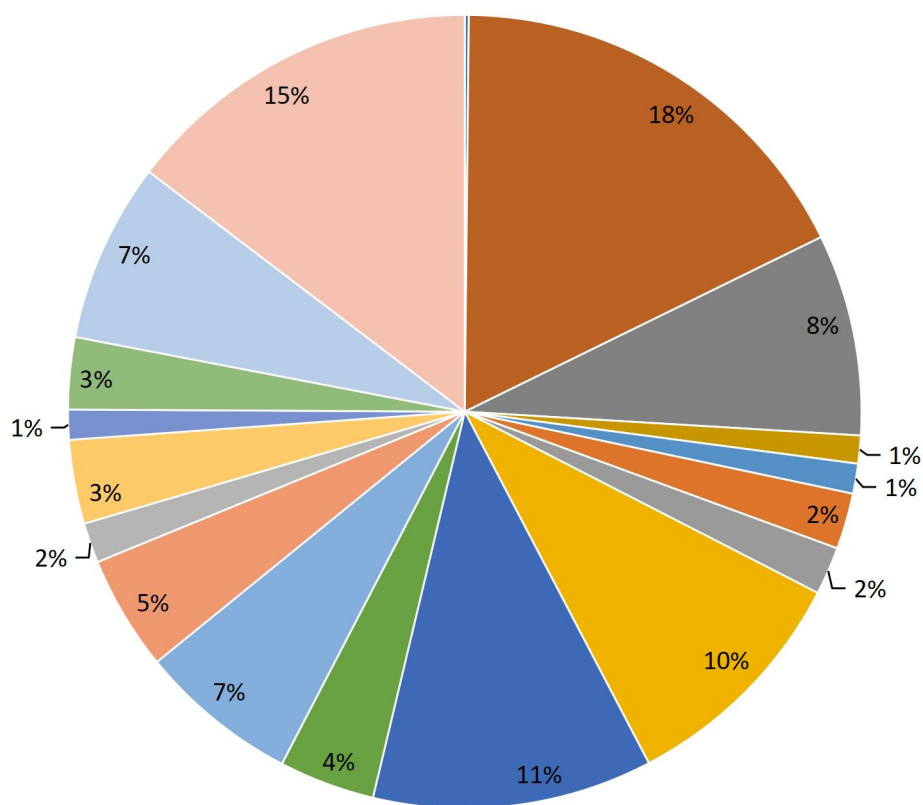


Рисунок 2.10.6 - Пропорція використання електроенергії різними категоріями споживачів протягом неопалювального сезону

2.2.3 Розроблення типових заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електроенергії

Підлога з підігрівом потужністю 1,6 кВт є одним із найінтенсивніших споживачів електроенергії, оскільки охоплює площу приміщення 16,2 м². Зменшення її встановленої потужності або скорочення зони обігріву технічно не передбачене, тому доцільним є впровадження заходів, спрямованих на оптимізацію витрат електроенергії. З цією метою раніше було встановлено двозонний лічильник, який дозволяє використовувати диференційований тариф: у нічний період (з 23:00 до 07:00) вартість електроенергії знижується з 4,32 грн до 2,16 грн. Це також забезпечує економію під час роботи пральної машини.

Для автоматизації функціонування системи підігріву підлоги заплановано використання реле часу, яке активуватиме її після 23:00, а також здійснюватиме запуск за 30 хвилин до повернення мешканців із роботи. З метою скорочення споживання електроенергії конвекційними обігрівачами пропонується впровадити «розумні» розетки з терморегуляторами, які керуватимуть роботою приладів залежно від встановлених температурних параметрів.

Щодо телевізора та T2-тюнера, їх планується замінити на сучасні енергоощадні моделі з вбудованим тюнером або функціоналом SMART TV, які зберігають попередні габарити екрана, але характеризуються суттєво нижчим енергоспоживанням.

Для реалізації заходів обрано реле часу марки АСКО-УКРЕМ, модель ТНС15-ТС А0090040004 (рис. 2.11). Для терморегульованого керування обігрівачами заплановано використання розеток TERNEO RZ (рис. 2.12). Як приклад сучасного телевізора розглядається модель Satelit 24H9100ST (рис. 2.13).



Рисунок 2.11 - Реле часу
ТНС15-ТС А0090040004



Рисунок 2.12 - Розетка з
терморегулятором TERNEO RZ[34]



Рисунок 2.13 - Телевізор із SMART TV Satelit 24H9100ST

Результати обчислення рівня споживання електроенергії після реалізації запропонованих заходів буде узагальнено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Розрахунок енергоефективних заходів

№	Перелік заходів	Вжиті заходи	К-сть	Номінальна потужність, Вт.	Час роботи, год	Добове споживання, кВт. год.
1	Встановлення розетки з терморегулятором	Розетка з терморегулятором TERNEO RZ	1	1 500	0,5	0,75
2	Заміна телевізора на новий	Телевізор із SMART TV Satelit 24H9100ST	3	40	3,5	0,42
3	Встановлення реле часу для теплої підлоги	THC15-TC A0090040004	1	1 600	3,5	5,6
Загальні витрати						6,77

Для оцінки енергоефективності передбачено реалізацію таких заходів, як заміна лічильника для системи теплої підлоги та оптимізація роботи пральної машини. Економію електроенергії буде досягнуто за рахунок скорочення часу роботи обладнання вдвічі. Оскільки пральна машина вже оснащена функцією відкладеного запуску, додаткове інсталяційне реле для її часу не є необхідним. Водночас використання терморегулятора дозволило скоротити тривалість роботи обігрівачів на 60%.

Річне споживання електроенергії розраховується на основі передумови, що рік складається з 365 днів.

а) використовуючи старе обладнання:

$$W_1 = 365 \cdot 2,25 = 821,25 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_2 = 365 \cdot 1,4 = 511 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_3 = 365 \cdot 8 = 2\,920 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

б) використовуючи нового обладнання:

$$W'_1 = 365 \cdot 0,75 = 273,75 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W'_2 = 365 \cdot 0,42 = 153,3 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W'_3 = 365 \cdot 5,6 = 2\,044 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Дані щодо зекономленої електроенергії в результаті реалізації запропонованих заходів будуть узагальнені в таблиці 2.12, а розрахунок строку повернення інвестицій представлено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.12 - Заощадження електроенергії з урахуванням впровадженні енергоефективних заходів.

№	Вжиті заходи	Споживання за рік до заходів, кВт·год	Споживання за рік після заходів, кВт·год	Економія електричної енергії за рік, кВт·год	Економія коштів за рік оплати електроенергії, грн
1	Встановлення розетки з терморегулятором	821,25	273,75	247,5	1 069,2
2	Заміна телевізора на новий	511	153,3	357,7	1 545,26
3	Встановлення реле часу для теплої підлоги	2 920	2044	876	3 784,32
Загалом				1 481,2	6 398,78

Таблиця 2.13 - Розрахований простий термін окупності вжитих заходів

№	Вжиті заходи	К-сть	Ціна, грн.	Сума, грн	Економія коштів за рік оплати електроенергії, грн	Простий термін окупності (повний термін), років
1	Встановлення розетки з терморегулятором	1	840	840	1069,2	0,79 (1,58)
2	Заміна телевізора на новий	3	4800	14 400	1545,26	9,32

Прожовження таблиці 2.13

3	Встановлення реле часу для теплої підлоги	1	772	772	3784,32	0,2 (0,4)
---	---	---	-----	-----	---------	--------------

Оскільки система теплої підлоги та конвектори використовуються лише протягом 6-7 місяців на рік, фактичний термін їх окупності буде вдвічі довшим за розрахований простий термін.

2.2.4 Висновки по розділу 2.2

Проведений аналіз електроспоживання житлових будівель приватного господарства дав змогу ідентифікувати обладнання, яке формує найбільше навантаження на електричну мережу. До ключових споживачів віднесено систему електричної теплої підлоги, конвекційні обігрівачі, електронасос та телевізійне обладнання зі встановленим T2-тюнером. На основі отриманих результатів було сформовано перелік технічних рішень, спрямованих на зниження витрат електроенергії, серед яких:

- запровадження реле часу для автоматизованої роботи теплої підлоги;
- встановлення розеток з терморегулятором для оптимізації функціонування конвекторів;
- заміна застарілого телевізора з зовнішнім тюнером на сучасний енергоощадний аналог.

Очікуваний річний ефект від реалізації цих заходів становить 1 481,2 кВт·год невикористаної електроенергії, що еквівалентно зменшенню фінансових витрат на суму 6 398,87 грн на рік.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Опис роботи теплового насоса

Щоб опалювати будинок в наш час використовують різні типи теплогенерувального обладнання. Найпоширенішими залишаються газові й електричні котли, а також установки що дозволяють спалювати біомасу або вугілля. Одночасно з тим зростає популярність систем, що використовують енергію відновлюваних джерел. Одним із найперспективніших напрямів розвитку теплогенераційних технологій є впровадження теплових насосів [22].

Насос тепловий — система, за допомогою якої відбувається перенесення енергії тепла від джерела з низьким температурним потенціалом (наприклад, зовнішнє повітря або ґрунт) до споживача з вищою температурою. Для функціонування такого пристрою необхідне зовнішнє джерело енергії — електричної, механічної або хімічної.

Теплові насоси можуть працювати як на природних, так і на штучних джерелах тепла. До природних належать:

- тепло землі;
- підземні води (артезіанські, термальні або ґрунтові);
- повітря.

До штучних джерел низькотемпературної енергії відносять:

- побутові теплові виділення;
- промислові викиди;
- стічні води;
- технологічні процеси, що супроводжуються відведенням тепла.

Типологія теплових насосів ґрунтується на принципі їх роботи. Серед найбільш поширених систем:

- сорбційні установки (абсорбційні та адсорбційні);
- струменеві або пароінжекторні системи, що ефективно використовуються для утилізації надлишкового тепла;

- термоелектричні насоси, які застосовують у компактному обладнанні, зокрема автомобільних холодильниках.

Найбільш поширеним типом теплових насосів є парокомпресійні установки, функціонування яких базується на циклі Карно. Цей цикл є єдиним оборотним процесом у замкненій системі, що може працювати як у прямому, так і в зворотному режимах. Завдяки цьому парокомпресійні насоси можуть виконувати функції як нагріву, так і кондиціювання повітря. Живлення таких установок здійснюється за рахунок електричної енергії.

Схема будови та принцип дії парокомпресійного теплового насоса наведені на рис. 3.1. До його основних компонентів належать:

- конденсатор;
- дросельний клапан;
- випарник;
- компресор.

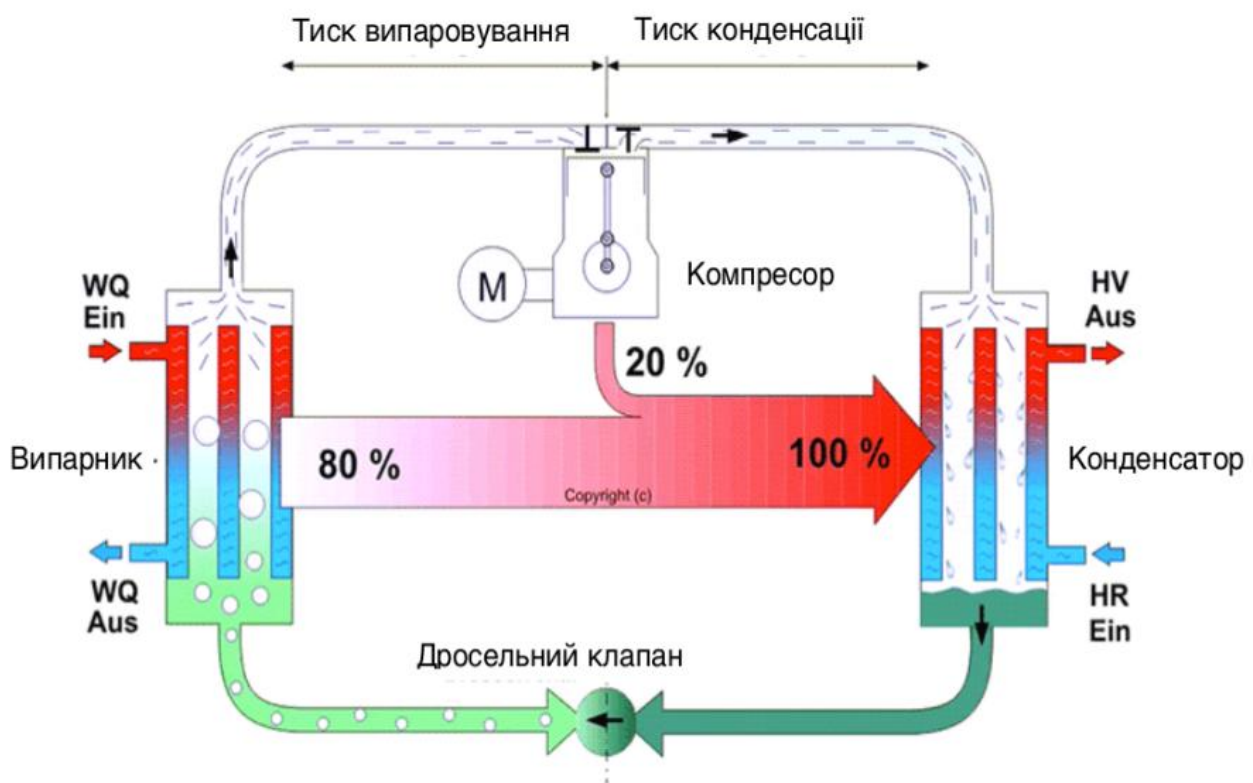


Рисунок 3.1 - Принцип та будова роботи теплового насосу [22]

Компресор є ключовим елементом, який визначає технічні характеристики обладнання. У парокомпресійних системах застосовують два основні типи компресорів:

- роторні — використовуються в установках малої потужності;
- спіральні — ефективні для систем малої та середньої продуктивності.

Спіральні компресори мають низку переваг: висока ефективність, низький рівень шуму, надійність та тривалий термін експлуатації. Використання інверторних технологій забезпечує стабільну продуктивність у широкому діапазоні теплових навантажень.

Для систем середньої та великої потужності застосовується схема з двома компресорами, відома як тандем. Таке конструктивне рішення дозволяє ефективно адаптувати роботу теплового насоса до змінних умов експлуатації та оптимізувати енергоспоживання.

3.2 Вибір теплового насоса

Житлові будівлі приватного господарства мають загальну площу $S = 187 \text{ м}^2$. До проведення теплоізоляційних робіт сумарні тепловтрати становили 28 351 Вт, однак після утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій цей показник знизився до 13 619 Вт, що підтверджується даними з таблиці 2.6.

Постачання гарячої води в будинку здійснюється за допомогою електричного бойлера потужністю 1,8 кВт, тобто тепла потужність системи гарячого водопостачання складає $Q_{\text{гвп}} = 1,8$ кіловат.

Загальна тепла потужність, необхідна для опалення та гарячого водопостачання:

$$Q = Q_{\text{оп}} + Q_{\text{гвп}} = 11819 + 1800 = 13619 \text{ Вт.}$$

Щоб досягнути максимальної енергоефективності систем опалення і гарячого водопостачання прийнято рішення застосувати прилади, для роботи яких рушійною силою є відновлювальні джерела енергії. Провівши техніко-економічного аналізу було

обрано геотермальний тепловий насос системи “вода–вода”, який забезпечує стабільну роботу навіть за низьких температур навколишнього середовища.

З урахуванням опалювальної площі будівель та розрахованих теплових втрат, оптимальним варіантом є модель Raymer RAY-17WW із тепловою потужністю 17 кВт. Це обладнання поєднує надійність, високий коефіцієнт перетворення енергії (COP), а також доступну вартість для свого класу. На рисунку 3.2 представлено зовнішній вигляд обраного теплового насоса [23].

Технічні характеристики моделі наведено у таблиці 3.1, а принцип її роботи продемонстровано на рисунку 3.3.



Рисунок 3.2 - Тепловий насос ґрунтовий Raymer RAY-17WW

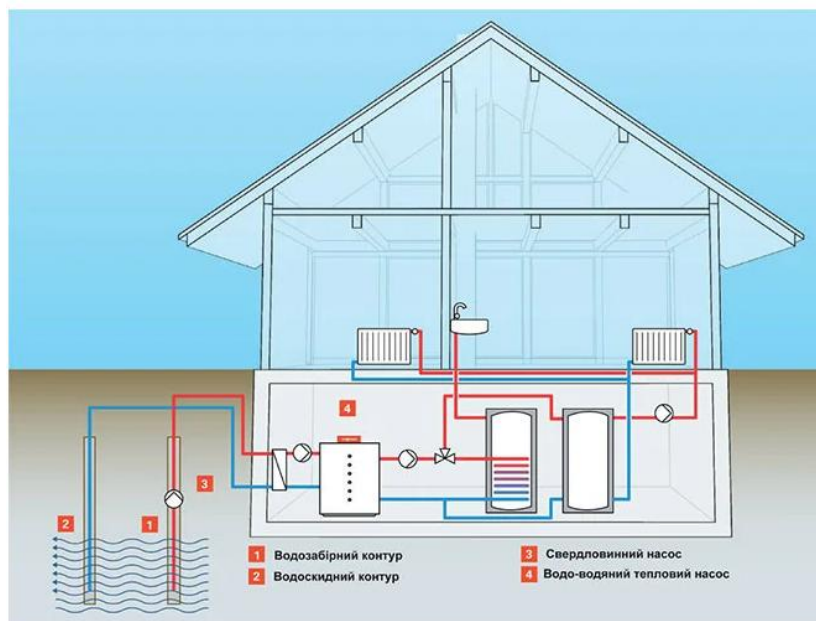


Рисунок 3.3 - Принципова схема роботи теплового насоса Raymer RAY-17WW

Таблиця 3.1 - Параметри та властивості теплового насоса RAY-17WW

Марка	Raymer
Рівень енергозбереження відповідно до стандартів ЄС № 811/2013	A ⁺⁺
Потужність за номінальними показниками, кВт	17
Охолоджувальна здатність, кВт	15
Потужність споживання, кВт	3,9
Показник ефективності використання електричної потужності ϵ (COP)	4,35
Довжина, мм	700
Ширина, мм	700
Висота, мм	1000
Маса, кг	120
Вартість, грн.	143 000

3.3 Розрахунок економічного ефекту

Дивлячись на наявні житлові будівлі для забезпечення обігріву використовуються твердопаливні каміни. Проте через конструктивні особливості споруд та нестачу вимірювальних даних виконати точне визначення теплової потужності, витраченої на опалення, неможливо.

З метою спрощення подальших розрахунків приймемо, що джерелом тепла є електричний котел із номінальною потужністю 20 кВт, який працює в середньому 15 годин з 24 годин враховуючи коефіцієнт використання потужності $k_{\text{вик}} = 0,8$.

За опалюваний період, який становить 184 доби [24] буде витрачено:

$$W_{\text{оп}} = 20 \cdot 15 \cdot 0,8 \cdot 184 = 44160 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Після проведення теплоізоляційних робіт, згідно з результатами таблиці 2.6, загальні теплові втрати будинку знизилися з 28,351 кВт до 13,619 кВт, що

становить приблизно 48 % від початкового значення. Відповідно, пропорційно зменшилося й енергоспоживання електричного котла.

$$W_{\text{оп}} = 44160 \cdot 0,48 = 21197 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для забезпечення гарячого водопостачання використовується бойлер потужністю 1,8 кВт, який працює приблизно півтори години на добу. За рік він споживає таку кількість електроенергії 972 кВт·год, що було визначено у пункті 3.5.

$$W_{\text{гвп}} = 972 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таким чином, загальний річний обсяг споживання електроенергії для систем опалення і гарячого водопостачання провівши заходи з покращення теплоізоляційних властивостей даху, стін і підлоги, але до встановлення теплового насоса, становитиме:

$$W_{\text{опЕЕЗ}} = W_{\text{оп}} + W_{\text{гвп}} = 21197 + 972 = 22169 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

При тарифі на електроенергію $C_{\text{ЕЕ}} = 4,32$ грн за кВт · год, річні витрати склали:

$$E_{\text{ЕЕ}} = 4,32 \cdot 22169 = 95770 \text{ грн.}$$

Після монтажу теплового насоса його робота буде виглядати так:

а) в період опалення теплового насоса працює цілодобово ($k_{\text{вик}} = 0,8$), а загальне споживання електроенергії за весь опалювальний сезон дорівнюватиме:

$$W_{\text{опТН}} = 3,9 \cdot 24 \cdot 0,8 \cdot 184 = 13778 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

б) у міжсезонні тепловий насос працює цілодобово ($k_{\text{вик}}=0,1$), а споживання електроенергії становить:

$$W_{\text{опТН}} = 3,9 \cdot 24 \cdot 0,1 \cdot (365 - 184) = 1694 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Обсяг електроенергії, що споживається протягом року на опалення та гаряче водопостачання після монтажу теплового насоса.

$$W_{\text{загТН}} = 13778 + 1694 = 15472 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Так як тепловий насос працює цілодобово, незалежно від сезону варто врахувати ціну за електроенергію в день і в ночі, що складаю $C_{\text{ЕЕд}} = 4,32$ грн. і $C_{\text{ЕЕн}} = 2,16$ грн. відповідно.

Трати які стосуються електроенергії становлять:

$$E_{\text{загТН}} = 15472 \cdot 3,24 = 50130 \text{ грн.}$$

Тому, інтеграція цієї системи впливатиме на скорочення річних витрат на електроенергію, забезпечуючи економію коштів:

$$\Delta E = E_{\text{ЕЕ}} - E_{\text{загТН}} = 95770 - 50130 = 45640 \text{ грн.}$$

Розрахунки показали, що після монтажу теплового насоса затрати на електричну енергію суттєво знизилися на 45 640 грн на рік. Це свідчить про високу економічну доцільність реалізації заходу. Встановлення теплового насоса дозволило знизити поточні витрати без збільшення річного енергоспоживання.

Окрім того, необхідно врахувати капітальні витрати, пов'язані з монтажем, налаштуванням та введенням у експлуатацію обладнання. Приблизна вартість впровадження проєкту наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Приблизна вартість впровадження проєкту

Техніка, сервіс	Сума, грн
Ціна за тепловий насос	143 000
Інсталяційні роботи з монтажу насоса	33 600
Роботи з під'єднання до електричної мережі, включно з прокладанням кабелю, встановленням автоматики та виконанням монтажу	23 600
Роботи з приєднання обладнання до систем опалення та гарячого водопостачання	33 600
Разом	233 800

Для визначення ефективності впровадження заходу проведено розрахунок простого та дисконтованого період повернення інвестицій з урахуванням витрат на експлуатацію, що зазначено в таблиці 3.3).

У розрахунках прийнято, що експлуатаційні витрати становлять 1 % від капітальних вкладень, строк служби обладнання становить 20 років, ставка дисконту дорівнює $R_{\text{диск}} = 7,5 \%$.

Таблиця 3.3 - Визначення терміну окупності з урахуванням дисконтування майбутніх грошових потоків

Рік	Великі витрати, грн.	Витрати на обслуговування, грн.	Збереження коштів, грн.	CF, грн	CF (кумулятивна), грн.	Коефіцієнт дисконтування	CF дисконтоване, грн	CF кумулятивне, грн
1	233 800	2 338	0	-233 800	-233 800	1,000	-233 800	-233 800
2	0	2 338	45 640	43 302	-190 498	0,930	40 271	-193 529
3	0	2 338	45 640	43 302	-147 196	0,865	37 456	-156 073
4	0	2 338	45 640	43 302	-103 894	0,749	32 433	-123 640
5	0	2 338	45 640	43 302	-60 592	0,697	30 182	-93458
6	0	2 338	45 640	43 302	-17 290	0,648	28 060	-65 398
7	0	2 338	45 640	43 302	26 012	0,603	26 111	-39 287
8	0	2 338	45 640	43 302	69 314	0,561	24 292	-14 995
9	0	2 338	45 640	43 302	112 616	0,522	22 604	7609
10	0	2 338	45 640	43 302	155 918	0,485	21 001	28 610
11	0	2 338	45 640	43 302	160 250	0,451	19 530	48 140
12	0	2 338	45 640	43 302	203 552	0,420	18 187	66 327
13	0	2 338	45 640	43 302	246 854	0,391	16 931	86 258
14	0	2 338	45 640	43 302	290 156	0,363	15 719	101 977
15	0	2 338	45 640	43 302	333 548	0,338	14 636	116 613
16	0	2 338	45 640	43 302	376760	0,314	13 560	130 173
17	0	2 338	45 640	43 302	420062	0,292	12 644	142 817
18	0	2 338	45 640	43 302	463 364	0,272	11 778	154 595
19	0	2 338	45 640	43 302	506 666	0,253	10 956	165 551
20	0	2 338	45 640	43 302	549 968	0,235	10 176	175 727
Простий термін окупності, роки					6,37	NPV, тис. грн.		175 727
Термін окупності за дисконтом, роки					8,82	IRR, %		23,64

3.4 Опис роботи фотоелектричної станції

Робота сонячної станції спрямована на перетворення сонячної енергії в електричну енергію. Основою є такий елемент станції як сонячні панелі, які поглинають сонячну енергію, яка конвертується в енергію постійного струму (DC), що майже не використовуються побутовими споживачами. Важливим аспектом є правильний підбір сонячних панелей для високої ефективності використання. На це впливають такі фактори як: потужність панелей, площа покриття панелями даху будівлі, можливі затінення, розташування панелей відносно сонця [25].

Інвертор це наступний елемент системи, що змінює енергію постійного струму в енергію змінного струму (AC). Також одним з елементів деяких фотоелектричних станцій можуть бути акумулятори, які накопичують електричну енергію, якщо вона в надлишку, або при відсутності загально мережевого електропостачання. Важливим елементом для продажу електричної енергії є електричний лічильник, який монтований на виході.

Фотоелектрична станція, спроектована для приватного господарства у селі Струтин (Львівська область), базуватиметься на 25 модулях Longi Solar LR5-72HPH615M (615 Вт) вартістю 87 \$ за штуку, та гібридному інверторі Deye SUN-15KSG03LP3-EU вартістю 2300 \$ одна штука.

Встановлена потужність домогосподарства — 17 кВт· год, що відповідає технічним умовам Золочівського РЕМ.

Компоненти та принцип роботи:

- Панелі: Longi 615 Вт утворюють два рядки (стрінги) — по 6 панелей на одному скаті даху та 19 на іншому, що покривають всю частину даху.
- Інвертор гібридного типу дозволяє працювати як у мережевому, так і в автономному режимах: він перетворює постійний струм (DC) від панелей на змінний (AC), розподіляє його на навантаження, заряд акумуляторів або на мережу.

- Акумулятори: два модуля Deye SE-G5.1 (100 А·год, 51,2 В) вартістю 820 \$ за одиницю, сумарна номінальна ємність 10,24 кВт·год, корисна — близько 9,2 кВт·год — забезпечують резерв живлення вночі або при відключеннях мережі.
- Кріплення: оцинковані профілі, прижими, болти — гарантують довговічність і механічну стійкість, вартістю за комплект для нашої кількості сонячних панелей 750 \$.
- Схема підключення: ФЕС працює за гібридною схемою. При наявному сонячному світлі вона забезпечує живлення навантаження, заряд АКБ, а надлишок передається в мережу. При вечірньому падінні сонячного випромінювання інвертор переводиться на живлення з АКБ. При повному зниженні заряду — система переходить на мережу.

Ця схема дає змогу не лише максимально використовувати власну сонячну генерацію, але й забезпечувати власний резерв живлення, схема зображена на рисунку 3.4. Особливо важливо, що при відключеннях мережі система з АКБ може підтримувати критичні споживачі (освітлення, холодильник, комунікації).

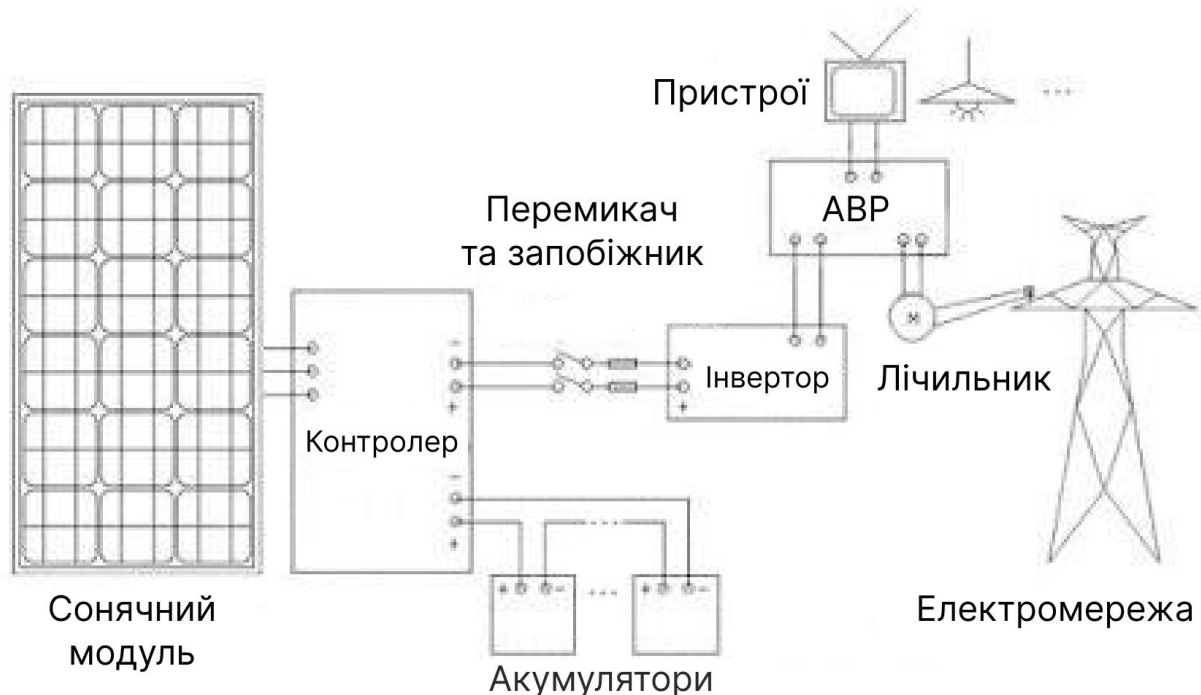


Рисунок 3.4 - Мнемосхема фотоелектричної станції

3.5 Вибір фотоелектричної схеми

3.5.1 Розміщення панелей та електрична конфігурація

Оскільки дах дає дві частини з кутом нахилу 32° , орієнтація — південь-захід, було обрано розподіл 25 панелей таким чином, щоб обидві частини максимально покривали пік сонячного світла [27]. Також дуже важливим питанням є розташування будинку, і розташованих біля нього об'єктів, це впливає на затінення панелей, швидкість їхнього забруднення і відповідно ефективність, яка залежить від цих факторів [28]. Схематичний вид зверху зображений на рисунку 3.4.

Кріплення на даху виконано за допомогою оцинкованого профілю, що дозволяє надійно зафіксувати панелі та запобігти корозії.

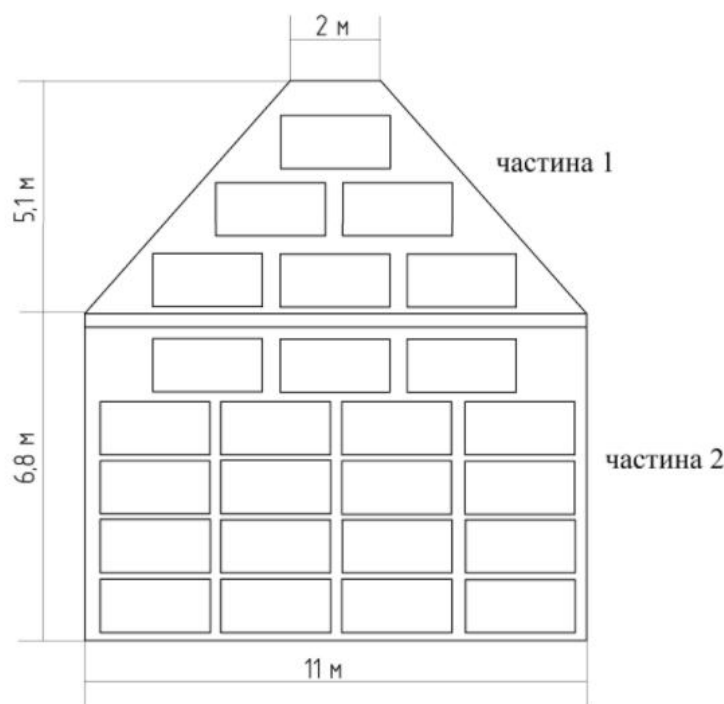


Рис. 3.4 - Вид зверху схематичне розташування сонячних панелей на даху будівлі [29].

3.5.2 Графік генерації — модель

Щоб оцінити річний виробіток, зроблено модель місячної генерації, виходячи з середніх значень інсоляції у Львівській області [30]. При потужності 15,375 кВт та реалістичних системних втрат (інвертор, кабелі, температура)

прийнято перетворення на рівні $\approx 85\%$. Розподіл генерації по місяцях (модель) може виглядати так.

Таблиця 3.4 - Генерація ФЕС по місяцях

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Виробіток кВт·год/міс.	600	800	1200	1600	1800	1850	1900	1850	1700	1400	900	650

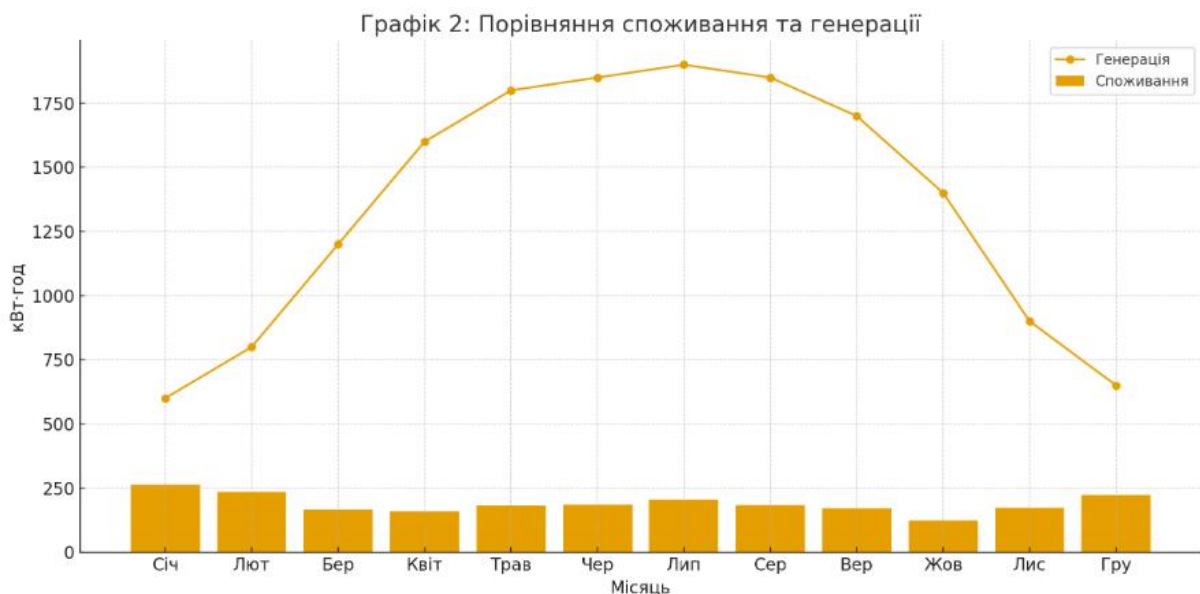
(Ці цифри — модельні, ілюструють очікуваний тренд: низька генерація взимку, пік влітку).

Графік показує, що найвища генерація припадає на червень-липень, а найнижча — на січень і грудень. Це типово для сонячних систем у середньому кліматі України.

3.5.3 Порівняння генерації та споживання

Далі — порівняння моделі споживання та моделюваної генерації.

Рисунок 3.5 - Графік споживання та генерації



- Бар показує місячні споживчі дані: січень 263 кВт·год, лютий 236, ..., грудень 224.
- Лінія показує модель виробітку ФЕС згідно з припущеннями вище.

Таке порівняння демонструє, що генерація значно перевищує споживання.

3.6 Розрахунок економічної доцільності

Для прорахунку економічної доцільності варто враховувати низку факторів які впливають на вихідний результат, такі як ціна за електроенергію для побутових споживачів, вартість такої сонячної системи, ціна за зеленим тарифом на продаж електроенергії, річне споживання електроенергії домашнім господарством, термін окупності даної системи.

Вихідні дані для прорахунку:

- Річна генерація (модель) $\approx 16\,250$ кВт·год
- Річне споживання — $2\,272$ кВт·год
- Ціна за кВт·год електроенергії для побутових споживачів $4,32$ грн [31].
- Ціна за “зеленим тарифом” за кВт·год станом на 2025 рік становить приблизно $5,82$ грн [32].
- Вартість сонячної електростанції включно з роботою для даного домогосподарства станом на 2025 рік 8876 \$ тобто $371\,016,8$ грн [33].

Розрахована реальна вартість ФЕС потужністю $15,3$ кВт показано в таблиці 3.4.

Таким чином можемо прорахувати ефективність такої системи. Річне споживання в нас становить $2\,272$ кВт·год, вартість одиниці електроенергії $4,32$ грн за кВт·год.

$$2\,272 \cdot 4,32 = 9\,815 \text{ грн.}$$

Річна генерація з таблиці 3.4 становить $16\,250$ кВт·год, надлишок електроенергії:

$$16\,250 - 2\,272 = 13\,978 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Продаючи надлишок електроенергії за “зеленим тарифом”, отримаємо:

$$13\,978 \cdot 5,82 = 81\,351,96 \text{ грн.}$$

Також від даної суми варто відняти податок: 18% ПДФО та 5% військовий збір:

$$100\% - 18\% - 5\% = 77\%.$$

Відповідно річний заробіток становить:

$$81\,351,96 \cdot 0,77 = 62\,641 \text{ грн.}$$

Таблиця 3.5 - Розрахована вартість фотоелектростанції станом на кінець 2025 року.

Назва товару	Модель	Міра вимірювання	Чисельність	Вартість, грн	Ціна, грн
Фотоелемент	Longi Solar LR5-72HPH615M	шт.	25	3 636,6	90 915
Гібридний інвертор	Deye SUN-15KSG03LP3-EU	шт.	1	96 140	96 140
Система кріплення	Оцинкований профіль	шт.	25	1 254	31 350
Електрофорнітура	стяжки, гофра, тримачі, дюбеля, короб, анкера, кронштейн	набір	1	6 270	6 270
	Конектори MC4	шт.	22	125,4	2 758,8
	Кабель сонячний 6 мм.кв	м.	150	54,34	8 151
	Група захисту АС	набір	1	12 540	12 540
	Група захисту DC	набір	1	7 106	7 106
	Кабель ПВС 4*10	м.	10	125,4	1 254
Акумуляторна батарея	Deye SE-G5.1 (100 А·год, 51,2 В)	шт.	2	34 276	68 552
Контур заземлення		набір	1	6 270	6 270
Монтаж	Монтаж на налаштування	послуга	1	39 710	39 710
Підсумок					371 016,8

Сумарно річний заробіток, з врахуванням покриття власних потреб становить $\approx 62\,642$ грн.

Окупність системи:

$$\frac{371\,016,8}{62\,642} = 5,9 \text{ років.}$$

Відповідно можемо підсумувати доцільність використання даного заходу з встановленням сонячної електростанції, окупність системи складатиме від 6 до 7 років.

3.7 Висновки до розділу 3

У розрахунково-дослідницькому розділі було здійснено комплексну оцінку ефективності впровадження в приватному домогосподарстві сучасних енергоощадних технологій: теплового насоса типу «вода–вода» та мережевої фотоелектричної станції потужністю 15,375 кВт. Проведений аналіз підтвердив, що попередня тепла модернізація будівлі істотно зменшила тепловтрати та забезпечила можливість застосування обладнання з оптимальною тепловою потужністю без перевитрати енергії.

Встановлення теплового насоса Raymer RAY-17WW дало змогу істотно знизити річні витрати на електроенергію для опалення та гарячого водопостачання. За підсумками розрахунків річна економія становить близько 45,6 тис. грн, що показує досить високий рівень енергетичної та фінансової ефективності переходу на геотермальну систему. Додаткові переваги забезпечуються стабільністю роботи незалежно від температури повітря та високим коефіцієнтом перетворення.

Щодо фотоелектричної станції, виконано технічний аналіз параметрів даху, можливих втрат, орієнтації та конфігурації панелей. Запропоноване розміщення 25 модулів Longi Solar дозволило досягти оптимального використання площі двох скатів даху з урахуванням реальної інсоляції Львівської області. Модель генерації показала річний виробіток на рівні $\approx 16,25$ МВт·год, що суттєво перевищує потребу домогосподарства. Надлишок енергії забезпечує значні

надходження за «зеленим тарифом» — приблизно 62,6 тис. грн/рік після сплати податків.

Економічна оцінка засвідчила, що встановлення фотоелектричної станції є інвестиційно привабливим заходом: орієнтовний термін окупності системи становить 6–7 років, що відповідає сучасним тенденціям розвитку приватної генерації в Україні. Комбінація ФЕС та теплового насоса формує енергонезалежну інфраструктуру, яка зменшує фінансові витрати, підвищує надійність електропостачання та забезпечує екологічні переваги унаслідок переходу на поновлювані форми енергії.

Таким чином, результати розрахунково-дослідницького розділу підтвердили технічну доцільність і високу економічну ефективність впровадження обраних енергоефективних рішень, а також їхню здатність забезпечити сталу та екологічно безпечну роботу систем життєзабезпечення будинку.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Причини ураження електричним струмом в приміщеннях приватного господарства

Ураження електричним струмом є однією з найпоширеніших та найнебезпечніших причин травматизму в умовах приватних господарств. Це зумовлено як технічними факторами, так і недостатнім рівнем знань власників щодо безпечної експлуатації електрообладнання [34].

Основні причини ураження електричним струмом:

1) Пошкоджена або зношена електропроводка. У старих будинках часто експлуатується проводка, що не відповідає сучасним нормам (ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання» [35]; Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [36]). Ізоляція поступово руйнується, що створює небезпеку витoku струму на корпуси приладів або будівельні конструкції.

2) Використання саморобних або несправних електроприладів. У приватних господарствах поширено застосування кустарно виготовлених пристроїв (обігрівачів, подовжувачів, насосів), які часто не відповідають вимогам електробезпеки.

3) Відсутність системи захисного заземлення та пристроїв захисного відключення (ПЗВ). У багатьох приватних будинках електромережа виконується без урахування сучасних вимог безпеки. Відсутність заземлення чи ПЗВ значно підвищує ризик ураження.

4) Підвищена вологість у приміщеннях. Погано вентильовані підвали, кухні, лазні, господарські приміщення часто мають високий рівень вологості, що зменшує опір шкіри людини й підвищує ризик смертельного ураження.

5) Неправильна експлуатація електрообладнання. Використання приладів у приміщеннях із підвищеною небезпекою (гаражі, майстерні, теплиці) без спеціального захисту може призвести до аварійних ситуацій.

6) Низький рівень електротехнічної культури користувачів. Власники часто нехтують правилами: торкаються оголених проводів, ремонтують прилади без вимкнення живлення, перевантажують мережу.

Наслідки ураження електричним струмом можуть бути різними — від легкого шоку до смертельних випадків. За даними досліджень, уже напруга 36 В у вологому середовищі може становити небезпеку для життя людини [37].

Заходи безпеки в приватному господарстві:

- Використання якісної ізольованої проводки, виконаної відповідно до діючих нормативів.
- Обов'язкове встановлення автоматичних вимикачів, ПЗВ та заземлення.
- Застосування побутових приладів лише із сертифікатом відповідності.
- Заборона експлуатації електрообладнання з пошкодженою ізоляцією.
- Регулярні перевірки опору ізоляції, стану щитків та розеток.
- Навчання користувачів основам електробезпеки.

Дотримання цих вимог значно зменшує ризик ураження електричним струмом у приватних будинках.

4.2. Забезпечення належної вентиляції для зменшення накопичення шкідливих газів та пилу

У приміщеннях приватних господарств часто виникають умови, що сприяють накопиченню шкідливих газів, парів і пилу. Це стосується як житлових приміщень, так і господарських будівель — гаражів, підвалів, майстерень, сараїв для зберігання зерна чи кормів.

Основні небезпеки недостатньої вентиляції:

- 1) Накопичення чадного газу (CO). У разі несправної роботи печей, камінів або генераторів можливе утворення CO, який є безбарвним і без запаху, але смертельно небезпечним [38].

2) Підвищена концентрація вуглекислого газу (CO_2). У підвалах та погребях без вентиляції можливе зниження вмісту кисню і підвищення рівня CO_2 , що призводить до задухи.

3) Виділення метану. У приміщеннях, де зберігаються органічні добрива чи тваринні відходи, може виділятися метан, який створює вибухонебезпечні концентрації.

4) Накопичення пилу. У майстернях часто утворюється пил, який не лише шкодить здоров'ю (пилові бронхіти, алергії), а й може призвести до вибухів при високій концентрації [38].

Вимоги до систем вентиляції приватних господарств:

- Природна вентиляція. Передбачає наявність вентиляційних каналів, фрамуг, витяжок. Її достатньо для житлових приміщень за умови регулярного провітрювання.
- Примусова вентиляція. Використовується в майстернях, гаражах, теплицях. Встановлюються вентилятори для виведення відпрацьованого повітря.
- Локальні системи очищення повітря. Рекомендуються для місць із високою концентрацією пилу (деревообробка, зварювання).
- Автоматичний контроль повітря. Використання датчиків CO , метану та вологи дозволяє своєчасно реагувати на небезпечні зміни мікроклімату.

Практичні заходи для власників приватних господарств:

- Регулярне провітрювання приміщень.
- Очищення вентиляційних каналів від засмічення.
- Використання побутових рекуператорів у житлових будинках.
- Встановлення сигналізаторів чадного газу в приміщеннях із пічним опаленням або генераторами.
- Своєчасне прибирання пилу та відходів у майстернях і зерноскладах.

Забезпечення належної вентиляції є критично важливим елементом охорони праці у приватних господарствах. Воно не лише знижує ризик захворювань і

отруєнь, а й запобігає пожежам та вибухам, що можуть виникати через накопичення шкідливих газів чи пилу.

4.3 Безпека експлуатації електрообладнання в приватному домогосподарстві

Електрообладнання є невід’ємною складовою сучасного приватного домогосподарства, оскільки забезпечує комфортні умови проживання та функціонування побутових і інженерних систем. Разом із тим використання електричної енергії пов’язане з підвищеною небезпекою, тому дотримання правил безпеки експлуатації електрообладнання є важливою умовою збереження життя, здоров’я мешканців та матеріальних цінностей [36].

Основними небезпечними чинниками під час експлуатації електрообладнання є ураження електричним струмом, короткі замикання, перегрів електропроводки та виникнення пожеж. Особливу загрозу становить використання застарілої або пошкодженої електромережі, перевантаження розеток і подовжувачів, а також підключення приладів, що не відповідають технічним характеристикам мережі. У приватних будинках, де одночасно експлуатується значна кількість побутових електроприладів, імовірність аварійних ситуацій суттєво зростає.

Для забезпечення безпечної експлуатації електрообладнання необхідно використовувати лише справні електроприлади заводського виготовлення, які мають сертифікати відповідності та відповідають чинним стандартам. Забороняється експлуатація електроприладів з пошкодженою ізоляцією, оголеними струмопровідними частинами або слідами перегріву. Підключення обладнання повинно здійснюватися відповідно до інструкцій виробника та вимог нормативно-правових актів у сфері електробезпеки [36].

Важливу роль у забезпеченні електробезпеки відіграють захисні пристрої, зокрема автоматичні вимикачі, пристрої захисного відключення та система заземлення. Їх застосування дозволяє автоматично відключати

електроживлення у разі перевантажень, коротких замикань або витоку струму, що значно знижує ризик ураження людини електричним струмом та виникнення пожежі [35]. Регулярна перевірка справності захисних пристроїв є обов'язковою умовою безпечної експлуатації електромережі.

Під час користування електрообладнанням необхідно дотримуватися елементарних правил безпеки: не торкатися електроприладів мокрими руками, не використовувати їх у приміщеннях з підвищеною вологістю без відповідного захисту, не залишати ввімкнені прилади без нагляду. Особливу увагу слід приділяти безпеці дітей — розетки мають бути оснащені захисними елементами, а електрощити повинні бути закриті та недоступні для сторонніх осіб.

Електромонтажні та ремонтні роботи в приватному домогосподарстві необхідно виконувати лише після повного відключення електроживлення. У разі відсутності відповідних знань і навичок доцільно залучати кваліфікованих спеціалістів. Регулярне технічне обслуговування та профілактичні огляди електрообладнання дозволяють своєчасно виявляти несправності та запобігати виникненню надзвичайних ситуацій.

Таким чином, безпека експлуатації електрообладнання в приватному домогосподарстві ґрунтується на дотриманні технічних вимог, використанні захисних засобів та відповідальному ставленні мешканців. Виконання встановлених правил електробезпеки сприяє зменшенню ризику нещасних випадків і забезпечує безпечні умови проживання.

ВИСНОВКИ

1. Проведено короткий опис домогосподарства, а також опис технічних комунікацій. Було здійснено детальне дослідження динаміки використання паливно-енергетичних ресурсів за трирічний період, а також проведено аналіз чинних тарифів, що регламентують їх придбання.
2. В ході аналізу визначено фундаментальні вимоги енергоощадності та теплоізоляції житлових будівель у ДБН В.2.6-31:2021.
3. Оцінено стан будівель господарства для подальшого вибору шляху підвищення енергоефективності.
4. Визначено теплові втрати огорожувальних конструкції і проведено аналіз, відповідно розроблено типові заходи для огорожувальних конструкції з енергоефективності.
5. Перевірено на скільки ефективно споживається електроенергія в приватному господарстві, аналіз включав в себе: коротку характеристика та оцінку енергоефективності споживачів які використовують левову частку електричної енергії; проведено розробку типових заходів щоб збільшити енергоефективність та енергоощадність для систем які споживають велику частину електроенергії.
6. Проведено аналіз одного з методів підвищення енергоефективності, тепловий насос.
7. Розрахована економічна доцільність вибраного теплового насосу для домашнього господарства.
8. Описана робота фотоелектричної станції, а також представлена мнемосхема роботи ФЕС.
9. Розглянуті заходи з питань безпеки в надзвичайних ситуаціях та охорони праці

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баник О. Б. Інтеграція альтернативних джерел енергії у будинки приватного сектора, як шлях до підвищення їх енергоефективності / О. Б. Баник // Матеріали МНТК “Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій” 28-29 травня 2025 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А. 2025, — С. 10-11.
2. України Д.А.З.Е.Т.Е. “Енергоефективність у приватному секторі” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://saee.gov.ua/uk>.
3. Коваль В.П., Тарасенко М.Г., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.
4. ДБН В.2.6-31:2021 “Теплова ізоляція та енергоефективність будівель”, чинний з 01.09.2022.
5. Закон України від 22 червня 2017 року № 2118-VIII “Про енергетичну ефективність будівель”.
6. Нові вимоги до енергоефективності будівель в Україні та ЄС. Температурні зони України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.maximuscentr.com.ua/temperaturni-zony-ukrainy/>, дата звернення: 01.06.2023.
7. ДСТУ-Н Б В.2.6-101:2010 “Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій”, чинний з 01.10.2010.
8. ДСТУ EN ISO 52017-1:2023 “Енергоефективність будівель. Навантаження за явною та прихованою теплотою і внутрішні температури”. Частина 1, чинний з 01.03.2024.

9. ДСТУ CEN/TR 15459-2:2017 “Енергоефективність будівель. Методика економічного оцінювання для енергетичних систем будівель”. Частина 2, чинний з 01.03.2024.
10. ДСТУ EN 15316-3:2017 “Енергоефективність будівель. Метод розрахунку енергопотреб та енергоефективності системи”. Частина 3. Розподільні системи, чинний з 15.12.2017.
11. ДСТУ EN 15232-1:2017 “Енергоефективність будівель. Частина 1. Вплив функцій автоматизації, контролювання та управління будівлею”, чинний з 01.05.2023.
12. ДСТУ 9190:2022 “Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання”, чинний з 01.03.2023.
13. ДСТУ 9191:2022 “Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель”, чинний з 01.03.2023.
14. ДБН В.1.2-11:2021 “Основні вимоги до будівель і споруд”. Енергозбереження та енергоефективність, чинний з 01.09.2022.
15. ДБН В.2.5-28:2018 “Природне і штучне освітлення”, чинний з 01.03.2019.
16. ДБН В.2.6-33:2018 “Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією”. Вимоги до проектування, чинний з 01.09.2022.
17. Утеплення фасаду будинку: що вибрати мінвату чи пінопласт? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://starti.com.ua/ua/articles/uteplennya-fasadu-budinku-shchovibrati>.
18. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 “Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі”. Будівельна кліматологія, чинний з 01.11.2011.
19. ДСТУ Б В.2.6-34:2008 “Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією”. Класифікація і загальні технічні вимоги, чинний з 01.06.2009.
20. Бойлер Ariston PRO1 R 100 230V [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ariston-shop.com.ua/ariston-pro1-r-100-v5-194808.html>.

21. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 “Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель”, чинний з 01.01.2017.
22. Тепловий насос / частина 1 - принцип роботи та будова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://сахара.ua/kompaniya-statti-teplovoj-nasos-tehnologija-scho>.
23. Геотермальний тепловий насос Raymer RAY-17WW [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sils.in.ua/product/ray-17ww/>.
24. В.В. Дубровська, В.І. Шкляр. “Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи тепlopостачання”: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 116 с.
25. Герєга С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герєга, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали ІІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202.
26. ДСТУ EN ISO 52017-1:2023 “Енергоефективність будівель. Навантаження за явною та прихованою теплою і внутрішні температури”. Частина 1, чинний з 01.03.2024.
27. Коваль В. П. Шляхи підвищення енергоефективності фотоелектричних систем / Д. П. Драпалюк, А. В. Коваль, В. О. Ковальчук, М. В. Королевич // Матеріали ХІІ Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 224.
28. Коваль В. П. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // Збірник тез доповідей ХVІІ наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. — Т.: ТНТУ, 2013. — Том І : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53.
29. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Енергопостачання. Енергетика. Енергоаудит. - 2015. - № 3. - С. 2-10.

30. Сонячна електростанція під ключ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://alteco.in.ua/ua/rishennia-alternatyvnoi-enerhetyky/soniachni-elektrostantsii-dlia-domu/merezheva-sonyachna-stantsiya-15-kvt>.
31. Тарифи на електроенергію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lez.com.ua/clients/tarif>.
32. Зелений тариф в Україні 2025: умови та перспективи для власників СЕС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://protocol.ua/ua/zeleniy_tarif_v_ukraini_2026_umovi_zmini_ta_perspektivi_dlya_vlasnikov_ses/.
33. Правильне електроживлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sunenergy.com.ua/portfolio/20?srsId=AfmBOoqiFtdiaNY17YNuoyocVXQKnIfZfAjc5bhqn6FASLhQFcKlp0yQ>.
34. Мартинов В.В. “Охорона праці в електроенергетиці”. – Київ: Політехніка, 2018.
35. Електрообладнання. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.
36. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – Харків: Фактор, 2019.
37. Лебедєв А.В. Електробезпека: навчальний посібник. – Київ: КНЕУ, 2020.
38. ДСанПіН 2.2.4-171-10 “Гігієнічні вимоги до повітря робочої зони”. – Київ: МОЗ України, 2010.
39. Закон України «Про охорону праці». Посилання URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/>.

Додаток А - План розташування будівель і приміщень приватного господарства

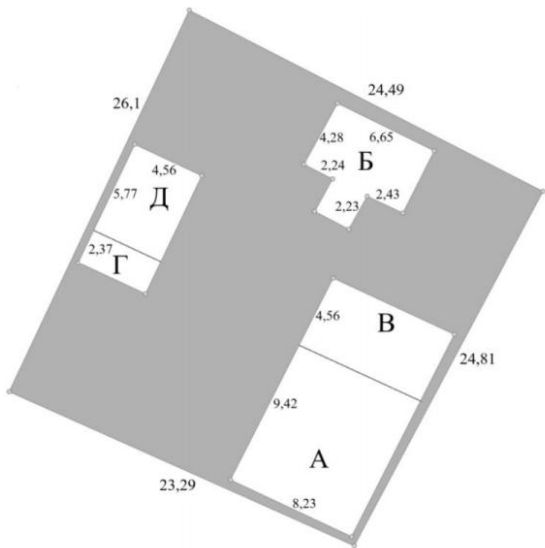


Схема розташування будівель

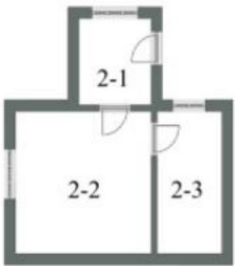


1 і 2 поверхи житлового будинку

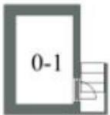
Характеристика приміщень житлових будівель

Номер на плані	Найменування приміщення	Площа, кв.м.	Також, кв.м.	
			Житлова	Підсобна
Підвал				
0-1	Підвальне приміщення	4,57		4,57
Житловий будинок				
1 Поверх				
1-1	Коридор	19,55		19,55
1-2	Кухня	12,75		12,75
1-3	Вбиральня	1,38		1,38
1-4	Кімната	20,7	20,7	
1-5	Кімната	7	7	
1-6	Котельня	8,46		8,46
1-7	Ванна	10		10
2 Поверх				
1-8	Кімната	26,83	26,83	
1-9	Кімната	11,48	11,48	
1-10	Кімната	14,5	14,5	
1-11	Кімната	16,2	16,2	
1-12	Балкон	6,15		6,15
Літня кухня				
2-1	Коридор	5,6		5,6
2-2	Кімната	16,8	16,8	
2-3	Кухня	8,6		8,6

Літня кухня



Підвал



Додаток Б - Таблиці і діаграми споживання електроенергії і газу за останні три роки

Останні три роки споживання електроенергії

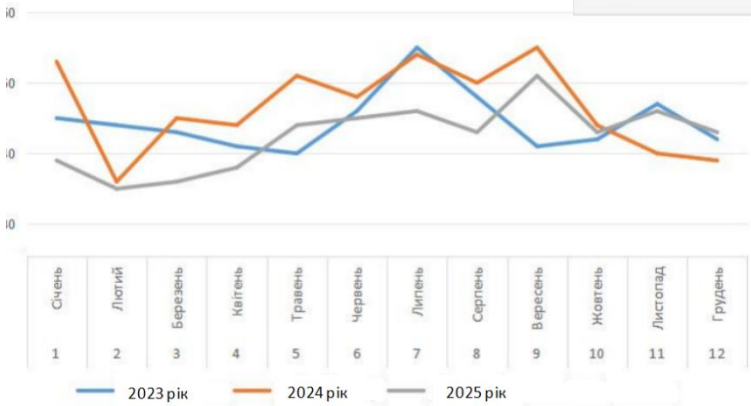
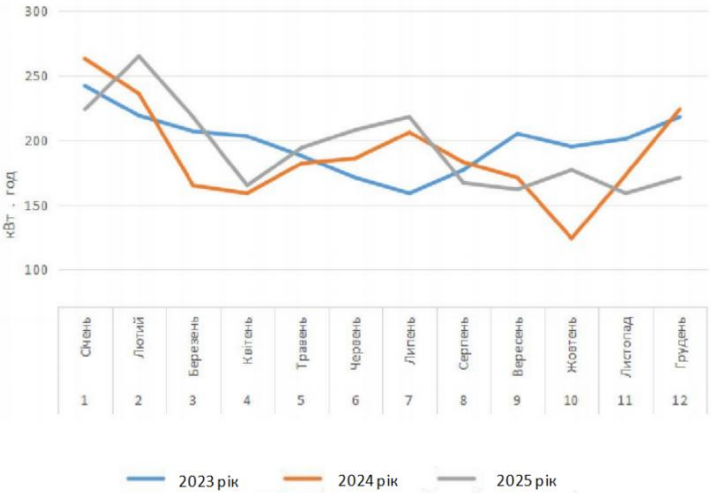
Останні три роки споживання газу

Порівняльна характеристика витрат електроенергії та природного газу

№	Місяць	Спожита електроенергія, кВт · год		
		2023 рік	2024 рік	2025 рік
1	Січень	242	263	224
2	Лютий	219	236	265
3	Березень	207	165	218
4	Квітень	203	159	165
5	Травень	188	182	194
6	Червень	171	186	208
7	Липень	159	206	218
8	Серпень	177	183	167
9	Вересень	205	171	162
10	Жовтень	195	124	177
11	Листопад	201	173	159
12	Грудень	218	224	171
	Разом	2385	2272	2328

№	Місяць	Спожитий газ, м ³		
		2023 рік	2024 рік	2025 рік
1	Січень	45	53	39
2	Лютий	44	36	35
3	Березень	43	45	36
4	Квітень	41	44	38
5	Травень	40	51	44
6	Червень	46	48	45
7	Липень	55	54	46
8	Серпень	48	50	43
9	Вересень	41	55	51
10	Жовтень	42	44	43
11	Листопад	47	40	46
12	Грудень	42	39	43
	Разом	524	559	509

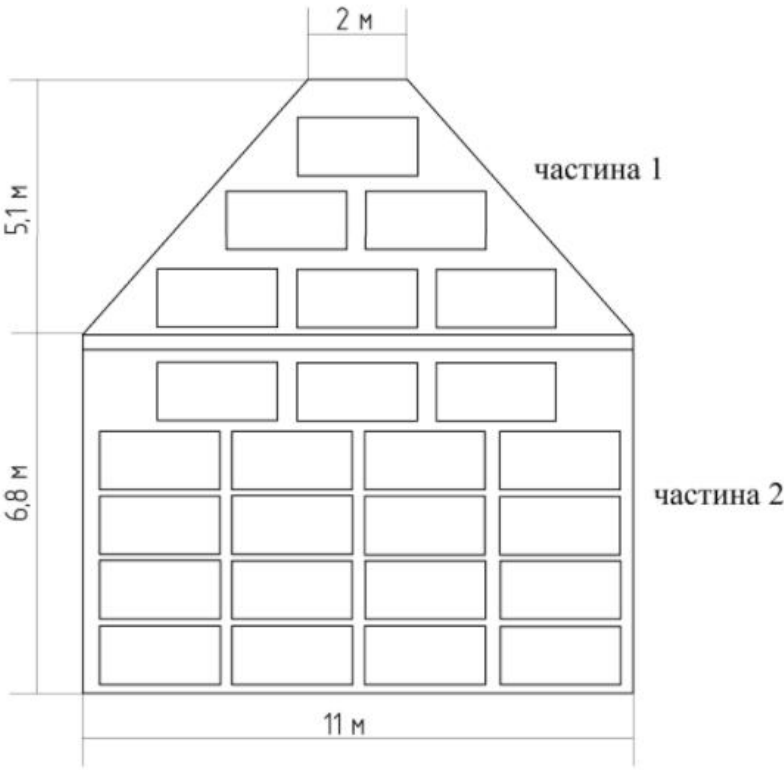
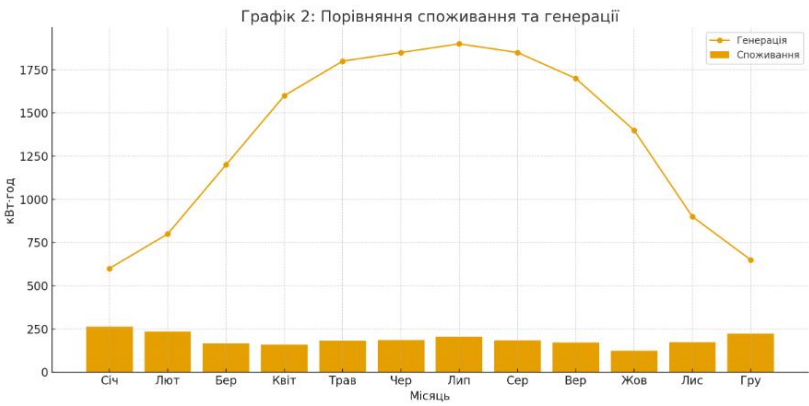
	Рік					
	2023		2024		2025	
	грн.	%	грн.	%	грн.	%
Електроенергія	10303	71,18	9815	68,81	10057	71,28
Природний газ	4171	28,82	4450	31,19	4051	28,72
Всього	14474	100	14265	100	14108	100



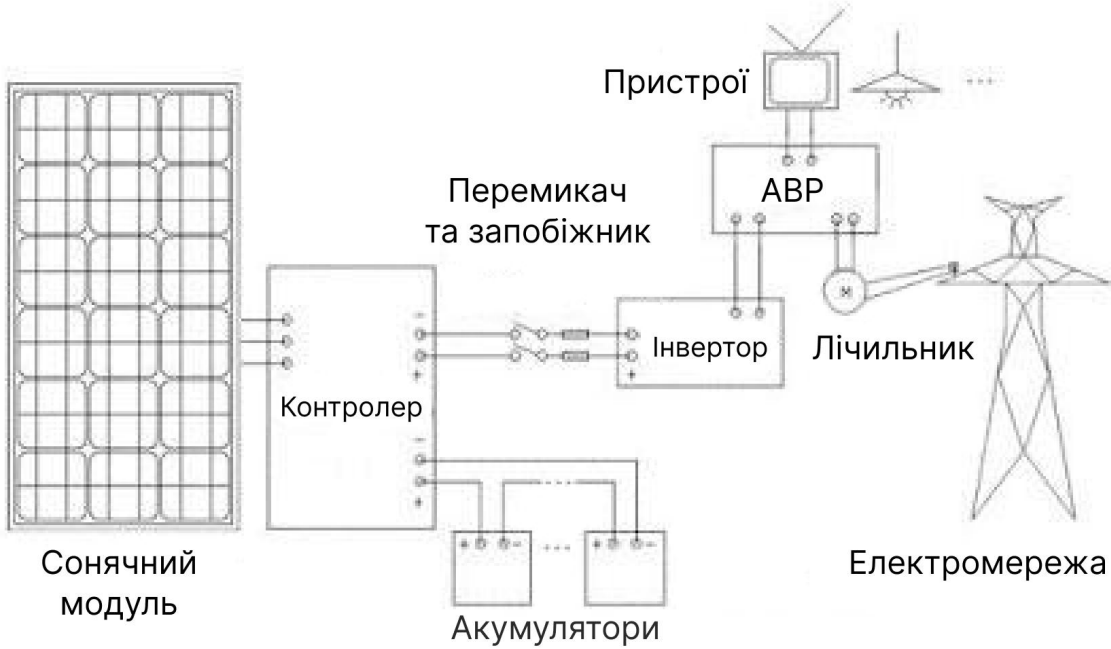
Додаток В - Схема роботи і розташування панелей. Генерація і споживання електроенергії.

Генерація ФЕС по місяцях

Місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Кві.	Тра.	Чер.	Лип.	Сер.	Вер.	Жов.	Лис.	Гру.
Генерація кВт·год/міс.	600	800	1200	1600	1800	1850	1900	1850	1700	1400	900	650



Вид зверху схематичне розташування сонячних панелей на даху будівлі



Мнемосхема фотоелектричної станції