

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2022р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за другим (магістерським) рівнем вищої** **освіти**

на тему

**“ Дослідження впливу термомодернізації будівель на їх клас
енергетичної ефективності ”**

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-21М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____Ельвіра АТАКОВА
« ____ » _____ 2022р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____Іван САВЕЛЕНКО
« ____ » _____ 2022 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет факультет будівництва та транспорту

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Атакової Ельвіри Василівни

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Дослідження впливу термомодернізації будівель на їх клас енергетичної ефективності

Study of the impact of thermal modernization of buildings on their energy efficiency class

2. Керівник роботи (проекту) Савеленко Іван Володимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 05.12.2022 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Провести оцінку та аналіз теплових втрат будівлі при проведенні комплексної термомодернізації. Завданням дослідження є визначення зв'язку між енергозберігаючими заходами при комплексній термомодернізації будівлі та рівнем енергоспоживання будівлі

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економічна частина</i>	<i>к.е.н., доц. Журило І.В.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ.</i>	<i>4.10.22</i>	
2	<i>Організація енергетичного обстеження на об'єкті</i>	<i>11.10.22</i>	
3	<i>Дослідження енергетичних показників будівлі головного корпусу</i>	<i>14.10.22</i>	
4	<i>Дослідження можливостей підвищення рівня енергоефективності головного корпусу</i>	<i>22.10.22</i>	
5	<i>Експериментальне дослідження впливу термомодернізації на клас енергоефективності будівлі</i>	<i>28.10.22</i>	
6	<i>Охорона праці</i>	<i>5.11.22</i>	
7	<i>Висновки</i>	<i>22.11.22</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи</i>	<i>25.11.22</i>	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2022 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2022 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Атакова Е.В. Дослідження впливу термомодернізації будівель на їх клас енергетичної ефективності

Study of the impact of thermal modernization of buildings on their energy efficiency class.

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - ОПП «Енергетичний менеджмент». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2022 р.

Актуальність теми полягає у встановленні зв'язку між зниженням енергоспоживання будівлі та її класом енергетичної ефективності.

Метою роботи є оцінка та аналіз теплових втрат будівлі при проведенні комплексної термомодернізації.

Завданням дослідження є визначення зв'язку між енергозберігаючими заходами при комплексній термомодернізації будівлі та рівнем енергоспоживання будівлі.

Об'єкт дослідження – навчальний заклад, а саме спеціалізоване навчальне об'єднання «Лідер».

Предмет дослідження – процеси розподілу теплової енергії у будівлі та зміна класу енергоефективності при проведенні термомодернізації.

**ЕНЕРГОПОТРЕБА, МІНІМАЛЬНІ ВИМОГИ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ,
КЛАС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

ABSTRACT

Atakova E. Study of the impact of thermal modernization of buildings on their energy efficiency class.

Дослідження впливу термомодернізації будівель на їх клас енергетичної ефективності.

Specialty 141 - "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - EPP "Energy Management". - Central Ukrainian National Technical University. - Kropyvnytskyi, 2022

The relevance of the topic lies in the established relationship between the reduction of the building's energy consumption and its energy efficiency class.

The purpose of the work is to assess and analyze the heat losses of the building during comprehensive thermal modernization.

The task of the study is to determine the relationship between energy-saving measures during complex thermal modernization of the building and the level of energy consumption of the building.

The object of the research is an educational institution, namely the specialized educational association "Leader".

The subject of the research is the processes of heat energy distribution in the building and the change in the energy efficiency class during thermal modernization.

ENERGY CONSUMPTION, MINIMUM REQUIREMENTS, ENERGY CONSUMPTION, ENERGY EFFICIENCY CLASS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1. ОРГАНІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ НА ОБ'ЄКТІ	11
1.1.Дослідження поточного стану об'єкту.....	11
1.2.Аналіз споживання енергетичних ресурсів	15
1.2.1. Аналіз споживання теплової енергії	15
1.2.2. Аналіз споживання води	19
1.2.3. Аналіз споживання електричної енергії	20
1.3.Аналіз класифікації будівель за класом енергоефективності.....	21
1.4.Обґрунтування можливості термомодернізації із врахуванням динамічної вартості на енергоносії	24
Висновки до розділу	26
2. АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БУДІВЛІ ГОЛОВНОГО КОРПУСУ	27
2.1. ... Дослідження теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівлі.....	27
2.1.1. Розрахунок теплопередачі трансмісією.....	27
2.1.2. Розрахунок теплопередачі через вентиляцію.....	35
2.1.3. Загальні тепловтрати	35
2.2.Розрахунок теплонадходжень до будівлі.....	36
2.2.1. Внутрішні теплонадходження	36
2.2.2. Сонячні теплонадходження	37
2.3.Розрахунок енергопотреб для опалення та охолодження.....	38
2.4.Розрахунок класу енергетичної ефективності головного корпусу	40
Висновки до розділу	41
3. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО КОРПУСУ	42

3.1.Аналіз енергетичних втрат в системі тепlopостачання	42
3.2.Дослідження економічної ефективності впровадження можливостей енергозбереження.....	43
3.3.Порівняльний аналіз енергетичних втрат в системі тепlopостачання після реновації	47
Висновки до розділу	49
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ НА КЛАС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ.....	50
Висновки до розділу	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	55
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57
Додаток А. Розрахунок заземлення.....	61
Додаток Б. Формування теплофізичних та енергетичних характеристик будівель при термомодернізації огорожуючих конструкцій.	65
Додаток В. Розрахунок заходів з підвищення енергоефективності.	82
Додаток Г. Показники енергоефективності.....	98

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

EN – Європейські норми;

EP – Загальний показник питомого енергоспоживання;

ДСТУ – Державний стандарт України;

ГВП – гаряче водопостачання;

ЕЕ – енергоефективні заходи з енергозбереження;

ІТП – індивідуальний тепловий пункт;

ДБН – Державні будівельні норми;

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Перманентне зростання рівня енергетичної ефективності будівель можливе при виконанні сукупності енергоощадних заходів, спрямованих на модернізацію оболонки будівлі, інженерних систем та джерела теплової енергії.

Значна кількість чинників, що впливають на енергоефективність будівлі потребує комплексного підходу для вирішення проблеми теплових втрат, враховуючи конструктивні обмеження будівель та різними вимогами до мікроклімату у приміщенні.

Сучасні стандарти встановлюють високі вимоги до мінімальних вимог [1] при проектуванні нових та термомодернізації існуючих будівель.

Досягнення високого класу енергоефективності будівлі, на сьогодні можливе лише за умови використання сучасних конструкційних матеріалів та технологій. Проте досягнення високого класу енергоефективності обмежується конструктивною здатністю будівель та вартістю робіт комплексної термомодернізації.

Результати енергетичної сертифікації в нашій країні довели, що часткова термомодернізація або реконструкція інженерних мереж практично не впливає на клас енергоефективності будівлі. Тому в даній ситуації необхідно підтримувати компроміс між зниженням рівня енергоспоживання будівель та економічним ефектом від термомодернізації.

Міжнародне співтовариство приділяє значну увагу питанню енергоефективності будівель, на що вказує гармонізація нормативних документів з відповідними стандартами Європейського Союзу. Процес гармонізації вітчизняних стандартів до європейських обумовлює зміну «мінімальних вимог» до огорожувальних конструкцій [1].

Рівень витрат на енергоресурси в Україні значно менший ніж в країнах Європейського Союзу, проте поступова інтеграція до енергетичних ринків Європи обумовлює ріст цін на енергоносії, тому вирішення проблеми

направленої на зменшення енергетичних втрат в будівлях носить актуальний характер і потребує нагального вирішення.

Комплексний підхід покращення теплової ізоляції та модернізації інженерних мереж будівлі дозволить підвищити клас енергоефективності будівель.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є оцінка та аналіз теплових втрат будівлі при проведенні комплексної термомодернізації. Завданням дослідження є визначення зв'язку між енергозберігаючими заходами при комплексній термомодернізації будівлі та рівнем енергоспоживання будівлі. Для досягнення поставленої задачі в кваліфікаційній роботі вирішено такі завдання:

- розкрити рівень теплових втрат огороджувючих конструкцій;
- провести аналіз розподілу теплових втрат;
- встановити зв'язок між рівнем теплових втрат та класом енергоефективності;
- визначити ефект від впровадження енергоощадних заходів комплексної термомодернізації на рівень енергоспоживання.

Предметом дослідження процеси розподілу теплової енергії у будівлі та їх вплив на клас енергоефективності при проведенні термомодернізації.

Об'єктом дослідження навчальний заклад, а саме спеціалізоване навчальне об'єднання «Лідер».

Методи дослідження. Теоретичною базою кваліфікаційної роботи є нормативні документи, державні будівельні норми, методик визначення класу енергофактивності за умови проведення комплексної термомодернізації. Для вирішення розв'язку завдань у випускній кваліфікаційній роботі використано методи аналізу і дедуктивний – для пошуку шляхів підвищення енергоефективності; методами порівняння – для формулювання рейтингу заходів комплексної термомодернізації; табличні і графічні методи – для оцінки результатів дослідження.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження

отримані в кваліфікаційній роботі мають науково- практичне та можуть бути використані суб'єктами комунальної та державної власності для визначення ефективності комплексної термомодернізації.

Перелік публікацій автора за темою дослідження. Визначення рівня енергоефективності систем внутрішнього освітлення описані в кваліфікаційній роботі викладені в матеріалах міжнародної науково-практичної конференції АКІТ-2022 «Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві» (10-11 червня 2022 р., ЦНТУ);

Структура та обсяг дослідження. Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний обсяг роботи – 60 сторінок, робота містить 30 таблиць, 14 рисунків, 1 додаток, 22 джерело інформації.

1. ОРГАНІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ НА ОБ'ЄКТІ

1.1. Дослідження поточного стану об'єкту

За об'єкт дослідження в роботі обрано будівлю головного корпусу навчально-виховного об'єднання «Лідер» загальноосвітньої школи № 16 зовнішній вид якого зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1. Фрагмент фасаду головного корпусу школи

Головний корпус побудований у 1973 році. Проектна місткість будівлі становить 1000 осіб. Загальні конструктивні особливостей будівлі наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Конструктивні особливості будівлі корпусу

Рік забудови	1973 р.	Кількість поверхів	4; 2
Площа забудови, $S_{\text{заб}}, \text{м}^2$	2233,7	Кондиціонована площа $A_f, \text{м}^2$	5661
Корисна площа приміщень $S_{\text{прим}}, \text{м}^2$	5077,5	Кондиціонований об'єм $V, \text{м}^3$	23591
Розрахункова площа, $S_{\text{розр}}, \text{м}^2$	5771	Висота стелі кожного поверху, м	3,3
Загальна площа внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожувальних конструкцій $A_{\Sigma}, \text{м}^2$	5380,5		

Будівля головного корпусу навчального закладу має Н-подібну форму, на рис 1.2. наведено план типового поверху будівлі.



Рисунок 1.2 – План типового поверху головного корпусу

За планом будівлю головного корпусу можна умовно поділити будівлю на три частини:

А – має два поверхи. На першому - розміщена кухня, приміщення їдальні та спортивна зала. На другому поверсі знаходяться навчальні класи.

Б – має двох поверхи. На першому розміщений холл, роздягальні, а на другому знаходяться службові приміщення та кабінети. Підлога розташована на ґрунті.

В – має чотири поверхи на кожному, з яких розміщені навчальні класи. Під всією частиною будівлі є підвальне приміщення.

Будівля навчального закладу відноситься до закладів міністерства освіти в будівлі наявні типові приміщення, що мають різні вимоги до мікроклімату:

- 1) навчальні класи
- 2) комп'ютерні класи
- 3) їдальня

4) спортивна зала.

Головний корпус є однією з основних будівель навчально-виховного комплексу. Графік роботи закладу – п'ять днів на тиждень з 8⁰⁰ до 17⁰⁰ год. В приміщеннях постійно перебувають учні – 655 осіб та працюючий персонал – 62 особи. Основними енергетичними ресурсами, що використовуються для підтримання навчального процесу виступають: вода, електрична та теплова енергії. В таблиці 1.2. наведенні енергосервісні компанії, що забезпечують потреби школи енергоносіями.

Таблиця 1.2. Найменування організацій, які надають послуги з енергопостачання

Енергоносіїв	Енергосервісні компанії
Теплова енергія	ДП "Кіровоградтепло" ТОВ "ЦНТІ УНГА
Електроенергія	ПрАТ «Кіровоградобленерго»
Водопостачання та водовідведення	ОКВП «Дніпро-Кіровоград»

На рис 1.3-1.5 наведений розподіл обсягів споживання енергоносіїв в 2019-2021 роках.

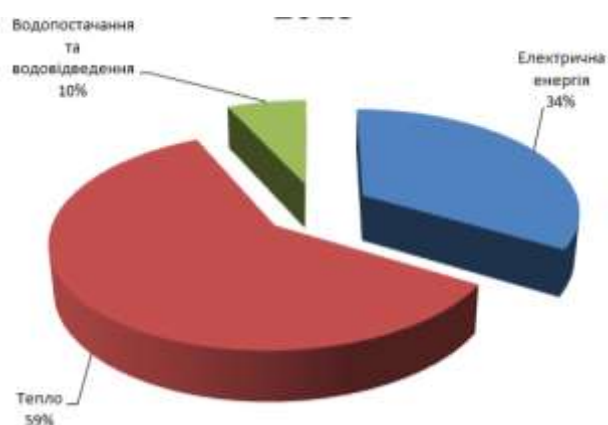


Рис. 1.3. Розподіл обсягів споживання енергоносіїв в 2019 році

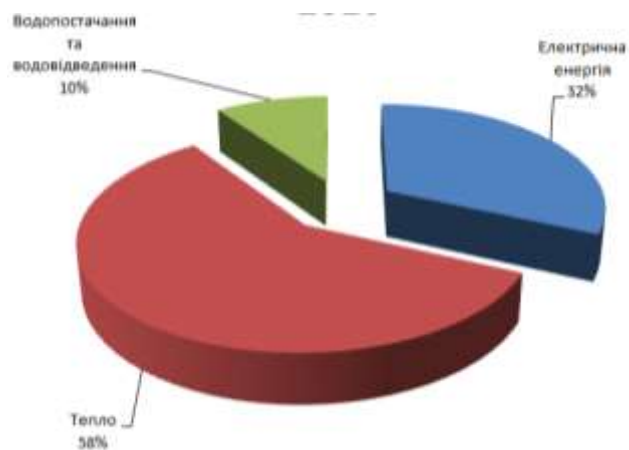


Рис. 1.4. Розподіл обсягів споживання енергоносіїв в 2020 році

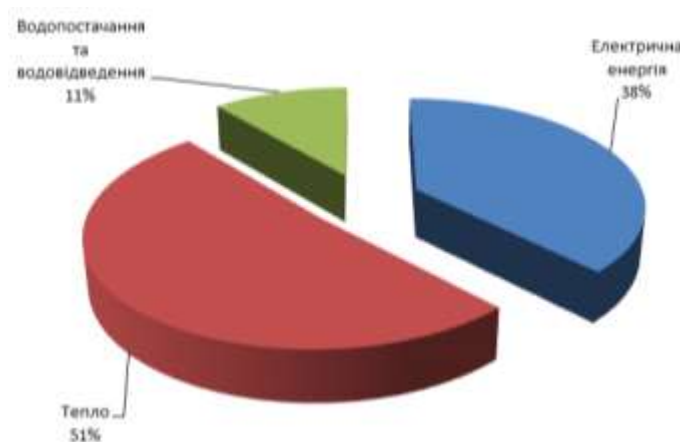


Рис. 1.5. Розподіл обсягів споживання енергоносіїв в 2021 році

Аналіз діаграм на рис 1.3-1.5 показав, що найбільша частка енергетичних витрат припадає на теплову енергію (понад 50 %), основний потенціал енергозаощадження залежить від ефективності використання теплової енергії. Отже, необхідно зосередити увагу на енергоощадних заходах, що направлені на до зменшення споживання теплової енергії.

Для проведення теплотехнічних розрахунків виконаємо опис основних огорожуючих конструкцій будівлі. Опис конструкції огорожувальних конструкцій наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Опис огорожувальних конструкцій будівлі

Тип огорожувальних конструкцій	Конструктивний опис шарів огорожуючої конструкції
Стіни	Силікатна цегла на цементно-піщаному розчині. Зсередини оштукатурені
Вікна	Металопластикові з одинарним склопакетом
Дах	Залізобетонні панелі на цементно-піщаному розчині, вкрито шаром гравію керамзитового та шаром руберойдом. Зсередині стеля має шар штукатурки
Двері	Дерев'яні з тамбуром, металопластикові та металеві утеплені
Підлога	Залізобетонні панелі на цементно-піщаному розчині, цементно-піщана стяжка, ліноліум або керамічна плитка

1.2. Аналіз споживання енергетичних ресурсів

1.2.1. Аналіз споживання теплової енергії

Для визначення базового рівня споживання теплової енергії зробимо вибірку даних за останні три роки, тобто за 2019- 2021 роки представимо в таблиці 1.5

Таблиця 1.5. – Місячне споживання теплової енергії

Місяць	Теплова енергія, Гкал		
	2019	2020	2021
Січень	130,5	153,6	137,3

Продовження таблиці 1.5.

Місяць	Теплова енергія, Гкал		
	2019	2020	2021
Лютий	99,4	128,1	134,6
Березень	96,3	100,8	92,2
Квітень	36,8	45,6	43,1
Травень	0	0	0
Червень	0	0	0
Липень	0	0	0
Серпень	0	0	0
Вересень	0	0	0
Жовтень	8,4	10,2	0
Листопад	86,1	103,1	84,0
Грудень	125,5	122,1	104,2
Разом	582,3	664,5	596,5

Виконаємо приведення поточних значень споживання теплової енергії відносно градусо-днів у місяці.

Таблиця 1.6 – Відносне місячне значення спожитої теплової енергії

Місяць	Приведене до градусоднів значення теплової енергії, Гкал		
	2019	2020	2021
Січень	157,6	146,5	133,2
Лютий	111,2	171,8	137,8
Березень	122,2	120,7	127,5
Квітень	29,8	72,1	52,5
Травень	0	0	0
Червень	0	0	0
Липень	0	0	0
Серпень	0	0	0
Вересень	0	0	0
Жовтень	6,8	7,0	0
Листопад	101,9	97,7	89,5
Грудень	156,9	127,0	129,5
Разом	686,3	742,7	670,0

На рис. 1.6. наведені графіки споживання теплової енергії за 2019-2021 роки.

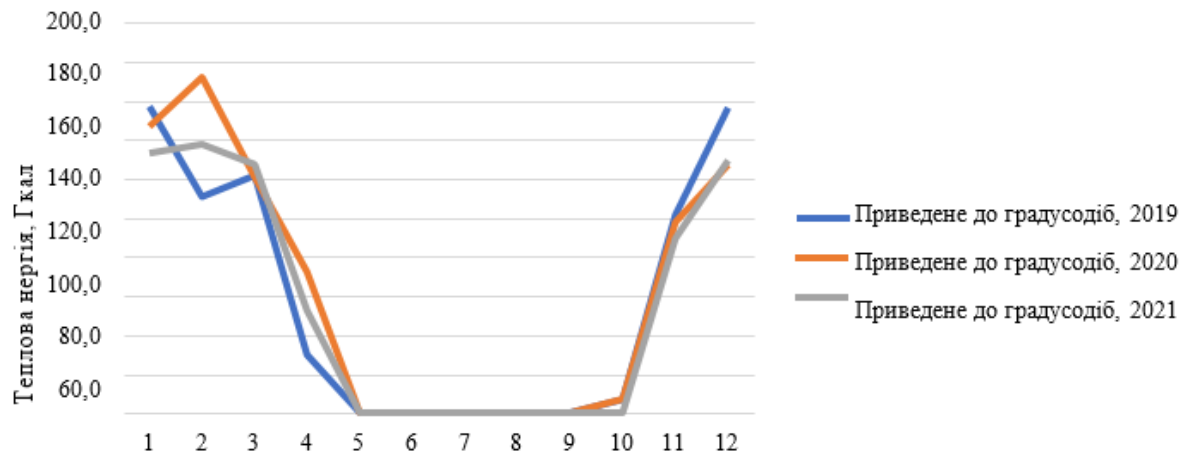


Рисунок 1.6 – Споживання теплової енергії в системі опалення за 2019-2020 роки

З рис. 1.6 очевидно, що форма графіку споживання теплової енергії практично не змінюється за останні три роки. Для перевірки ефективності роботи системи необхідно виконати порівняння місячного споживання теплової енергії з середньомісячними температурами по роках. На рис. 1.7-1.9 наведені місячні значення споживання тепла та зовнішньої температури повітря.

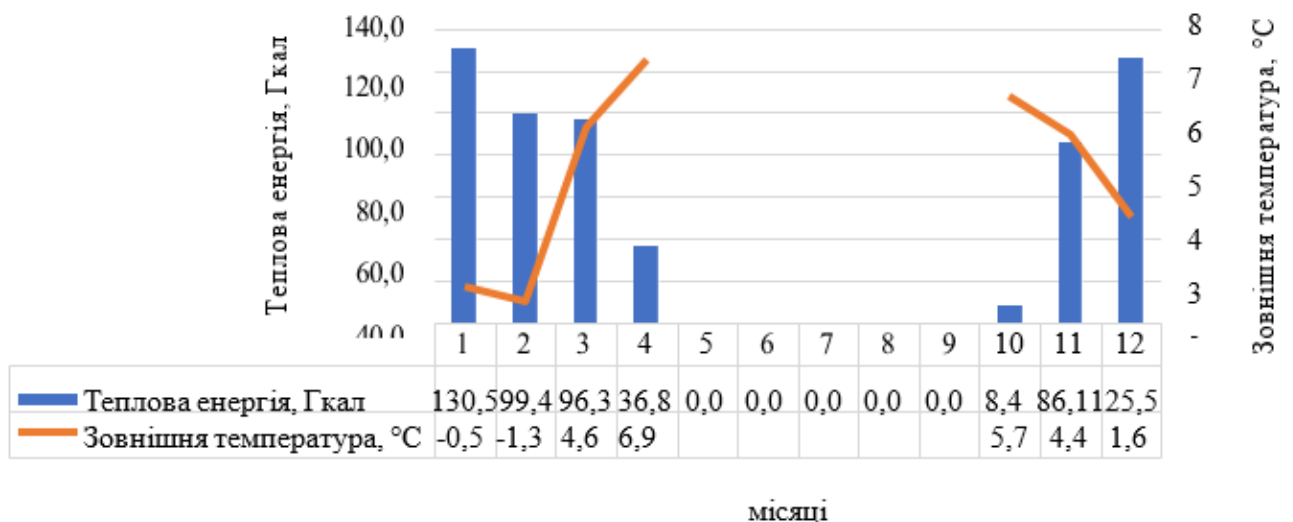


Рисунок 1.7. Графіки місячного споживання теплової енергії та

зовнішньої температури повітря в 2019 році.

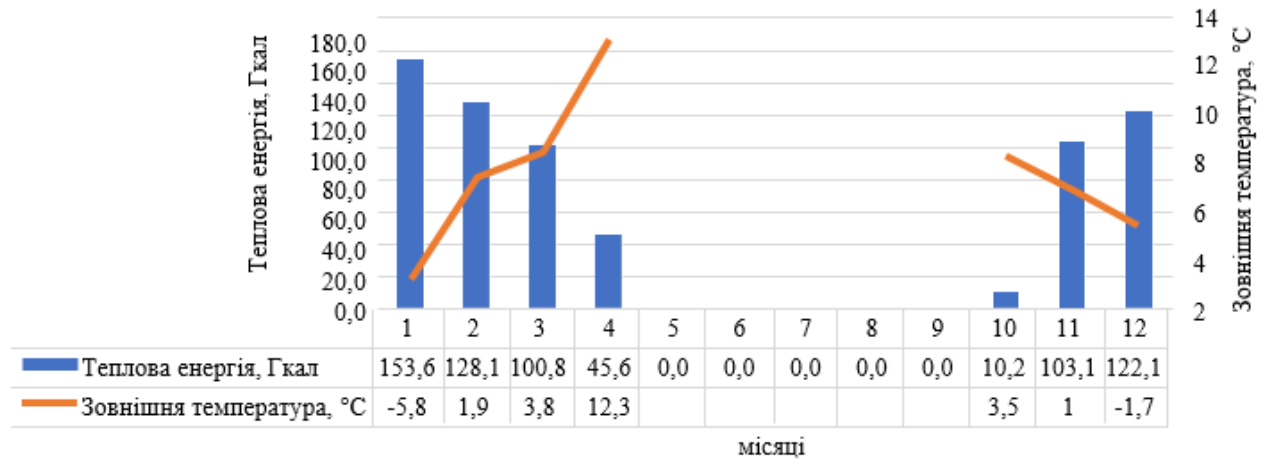


Рисунок 1.8. Графіки місячного споживання теплової енергії та зовнішньої температури повітря в 2020 році.

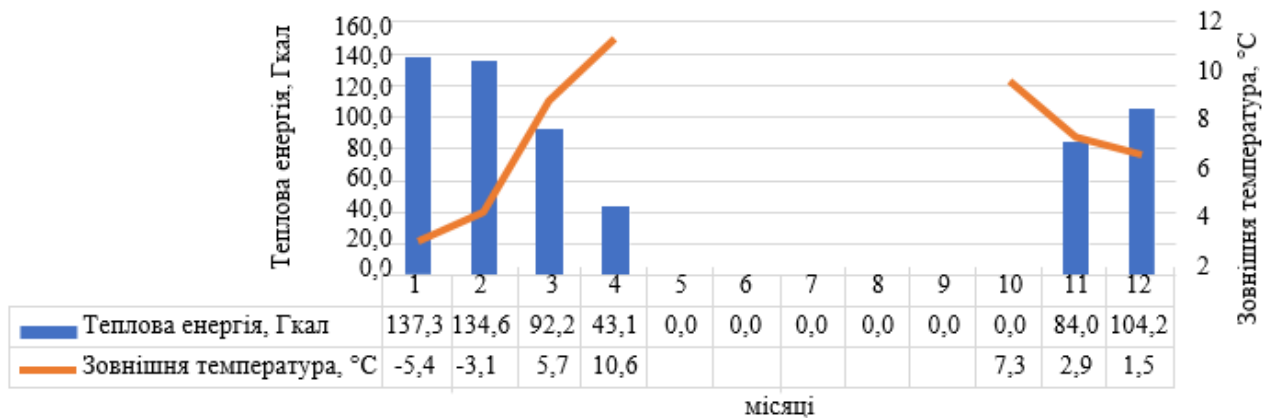


Рисунок 1.9. Графіки місячного споживання теплової енергії та зовнішньої температури повітря в 2021 році.

Аналіз рис 1.7.-1.9 З показав відсутність зв'язку між споживанням теплової енергії та зовнішньою температурою, це вказує на відсутність погодозалежного регулювання.

1.2.2. Аналіз споживання води

Водопостачання головного корпусу здійснюється централізовано від магістральних мереж ОКВП «Дніпро-Кіровоград». В таблиці 1.7 наведено річне споживання холодної води впродовж 2019-2021 років.

Таблиця 1.7 – Споживання холодної води в головному корпусі

Місяць	Вода, м ³		
	2019	2020	2021
Січень	246,0	246,0	246,0
Лютий	246,0	246,0	246,0
Березень	231,0	223,0	228,0
Квітень	246,0	246,0	246,0
Травень	239,0	238,0	240,0
Червень	246,0	246,0	241,0
Липень	239,0	201,0	223,0
Серпень	246,0	175,0	186,0
Вересень	246,0	238,0	240,0
Жовтень	240,0	190,0	197,0
Листопад	246,0	232,0	246,0
Грудень	239,0	221,0	236,0
Всього	2910,0	2705,0	2775,0

На рисунку 1.10 виконано графічний порівняльний аналіз водопостачання впродовж трьох років.

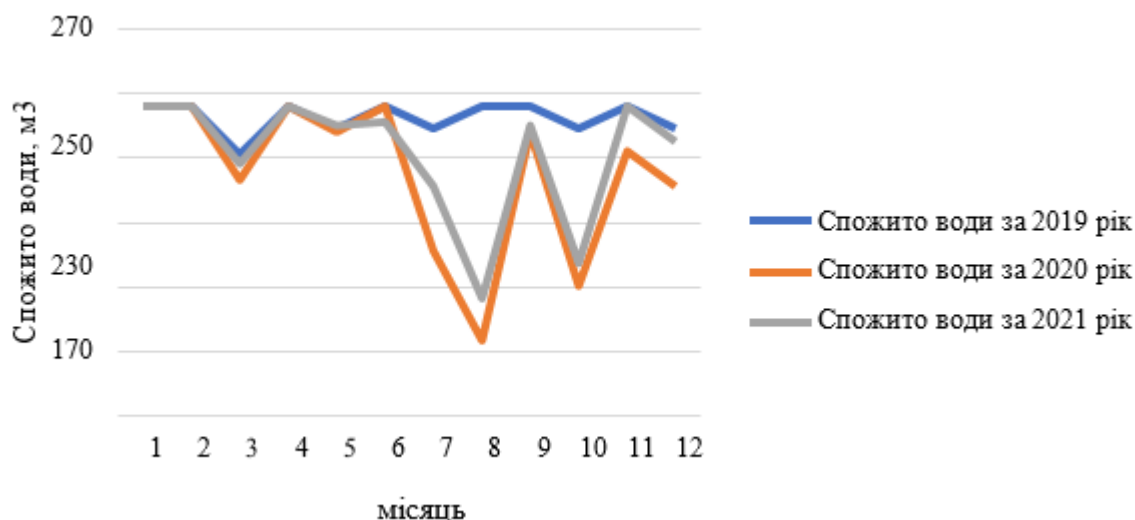


Рисунок 1.10 – Графіки споживання води за 2019-2021 роки

Аналіз графіків споживання води на рис. 1.10 показав що споживання води практично не змінюється, що вказує на відсутність застосування енергоощадних заходів. Відмінність форми графіку водопостачання за 2019 рік може бути обумовлене будівельними, ремонтними роботами або наявністю незапланованих подій.

1.2.3. Аналіз споживання електричної енергії

Постачальником послуг з постачання електричної енергії являється ТОВ «Кіровоградська обласна енергопостачальна компанія». Дана компанія повинна забезпечувати належну якість надання послуг з постачання електричної енергії відповідно до вимог чинного законодавства; проводити обчислення і виставляти рахунки споживачам відповідно до вимог та у порядку, передбачених Правилами роздрібного ринку електричної енергії та ін.

Проведемо аналіз споживання електричної енергії головним корпусом. Дані про місячне споживання представлені в таблиці 1.8, а їх графічна інтрепритація на рисунку 1.11. Для аналізу була використана вибірка за останні три роки.

Таблиця 1.8 – Місячне споживання електричної енергії

Місяць	Електрична енергія, кВт·год		
	2019	2020	2021
Січень	7497	5765	5654
Лютий	5748	9124	10397
Березень	8484	7608	7686
Квітень	7232	6612	5984
Травень	7272	7321	6873
Червень	3732	3040	3582
Липень	1432	1158	1469
Серпень	1280	1404	1568
Вересень	6081	5156	5623
Жовтень	10032	9178	8352
Листопад	8148	8253	8612
Грудень	11069	10384	9347
Всього	78007	75003	75150

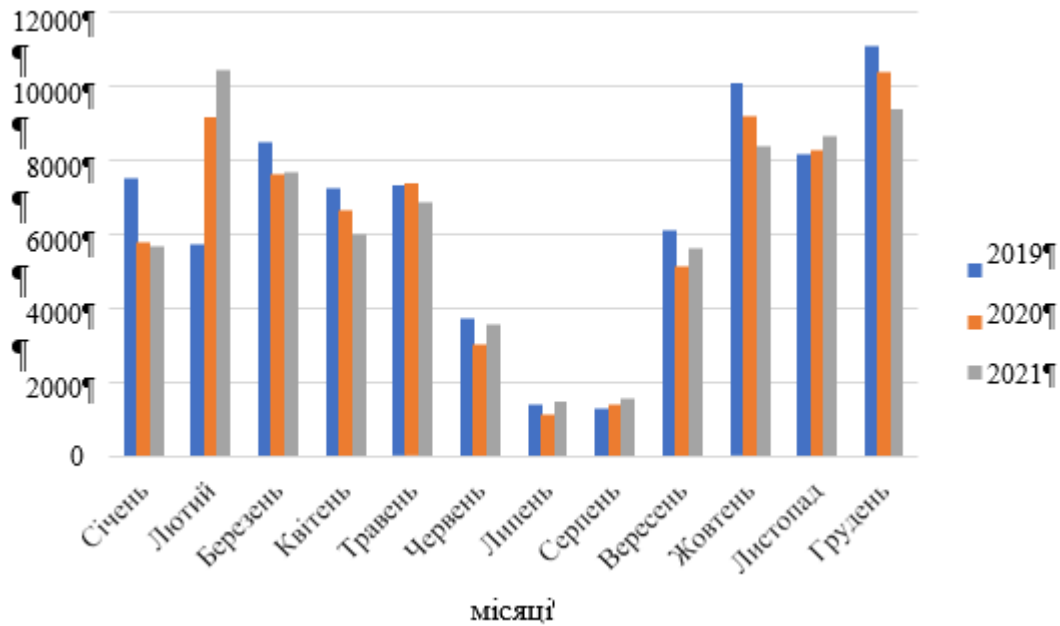


Рисунок 1.11 – Споживання електричної енергії за 2019-2021 рік.

Аналіз графіків на рис. 1.11 показує практично незмінне споживання. Зменшення споживання в літні місяці пояснюється графіком роботи школи.

1.3. Аналіз класифікації будівель за класом енергоефективності

При класифікації будівель в нашій країні згідно їх енергетичної ефективності використовувався порівняльний розрахунок між розрахунковими і нормативними значеннями енергоспоживання встановлених Наказом №260 “Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель”

Тому для оцінювання класу ефективності будівель в Україні визначають сумарне енергоспоживання будівлею на потреби опалення та охолодження.

За показниками розрахованих для еталонних будівель визначені Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель які регламентують теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій будівлі.

За європейським стандартом EN 15217 [7], прийняті межі класів енергоефективності визначаються за усередненими фактичними показниками еталонних будівель.

Такий підхід у поділу на класи енергоефективності повинен стимулювати власників будівель впроваджувати заходи з енергозбереження. В залежності від рівня капіталовкладень та зміні режиму роботи інженерних мереж споживач може перейти до вищого класу, що впливає не тільки на ринкову привабливість будівлі, а й допомагає покращити стан огорожувальних конструкцій будівлі. На рис. 1.12 наведені критерії оцінки класу енергоефективності будівель.

Клас А, якщо:	$EP < 0,5R_r$
Клас В, якщо:	$0,5R_r \leq EP < R_r$
Клас С, якщо:	$R_r \leq EP < 0,5(R_r + R_s)$
Клас D, якщо:	$0,5(R_r + R_s) \leq EP < R_s$
Клас Е, якщо:	$R_s \leq EP < 1,25R_s$
Клас F, якщо:	$1,25R_s \leq EP < 1,5R_s$
Клас G, якщо:	$1,5R_s \leq EP$

Рисунок 1.12. Критерії оцінки класу енергоефективності будівель

Аналіз нерівностей для визначення меж класів енергоефективності на рис. 1.12 показав, що вибір класу енергоефективності залежить від встановленої норми R_r для еталонного будинку та усередненого значення фактичного показнику R_s еталонної будівлі.

Для пояснення критеріїв рівня енергоефективності на рис. 1.11 приведемо класифікацію будівель, що використовувалися в якості еталонних:

- старі будівлі, що побудовані до 2007 року, з споживанням теплоти або охолодження близько 300 кВт·год/м²;
- нові будівлі, які будувалися до 2016 року, з споживанням теплоти або охолодження близько 150 кВт·год/м²;
- будівлі низького споживання енергії, з споживанням теплоти або охолодження близько - 60 кВт·год/м²;

- пасивні будівлі, з споживанням теплоти або охолодження близько - 15 кВт·год/м²;
- будівлі нульової енергії, з споживанням теплоти або охолодження близько - 0 кВт·год/м², споживають виключно тільки ту енергію, яку самі можуть згенерувати;
- будівлі плюс енергія, з генерацією надлишків теплоти або охолодження.

Клас енергетичної ефективності будівель залежить від показника, Δ_{EP} , %, який різницею між розрахунковим показником питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_{use} та граничним значенням питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_p , що береться з довідникової літератури, розраховується за формулою:

$$\Delta_{EP} = [(EP_{use} - EP_p) / EP_p] \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

де EP_{use} – розрахунковий показник питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні; EP_p – граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні житлових та громадських будівель. В таблиці 1.9. наведені критерії вибору класу енергетичної ефективності будівлі згідно формули (1.1).

Таблиця 1.9. – Клас енергетичної ефективності будівлі в Україні*

Клас енергетичної ефективності будівлі	Відсоткові показники, Δ_{EP}
A	$\Delta_{EP} < -50$
B	$-50 \leq \Delta_{EP} < -20$
C	$-20 \leq \Delta_{EP} \leq 0$
D	$0 < \Delta_{EP} \leq 20$
E	$20 < \Delta_{EP} \leq 35$
F	$35 < \Delta_{EP} \leq 50$
G	$50 < \Delta_{EP}$

*Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27.10.2020. № 261. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20>.

1.4. Обґрунтування можливості термомодернізації із врахуванням динамічної вартості на енергоносії

Головною проблемою сьогодення є проблема використання обладнання та матеріалів з низькими енергетичними показниками, що приводить до низькоефективного використання теплової енергії і неможливості підтримувати задані показники мікроклімату в приміщеннях.

Питання підвищення рівня енергоефективності будівлі тісно пов'язане з тепловою ефективністю будівель і залежить від ефективності роботи джерела теплоти та термічного опору зовнішньої оболонки будівлі.

Термомодернізація зовнішніх огорожувальних конструкцій вимагає значних початкових інвестицій, які не просто отримати без участі у регіональній або місцевих програмах з енергоефективності.

При техніко-економічному розрахунку енергоощадних заходів необхідно враховувати динаміку цін на енергоресурси, що споживає встановлене обладнання, для створення нормативних умов мікроклімату у приміщенні.

На рис. 1.13 та 1.14 Наведено динамічний прогноз вартості природного газу та електричної енергії.

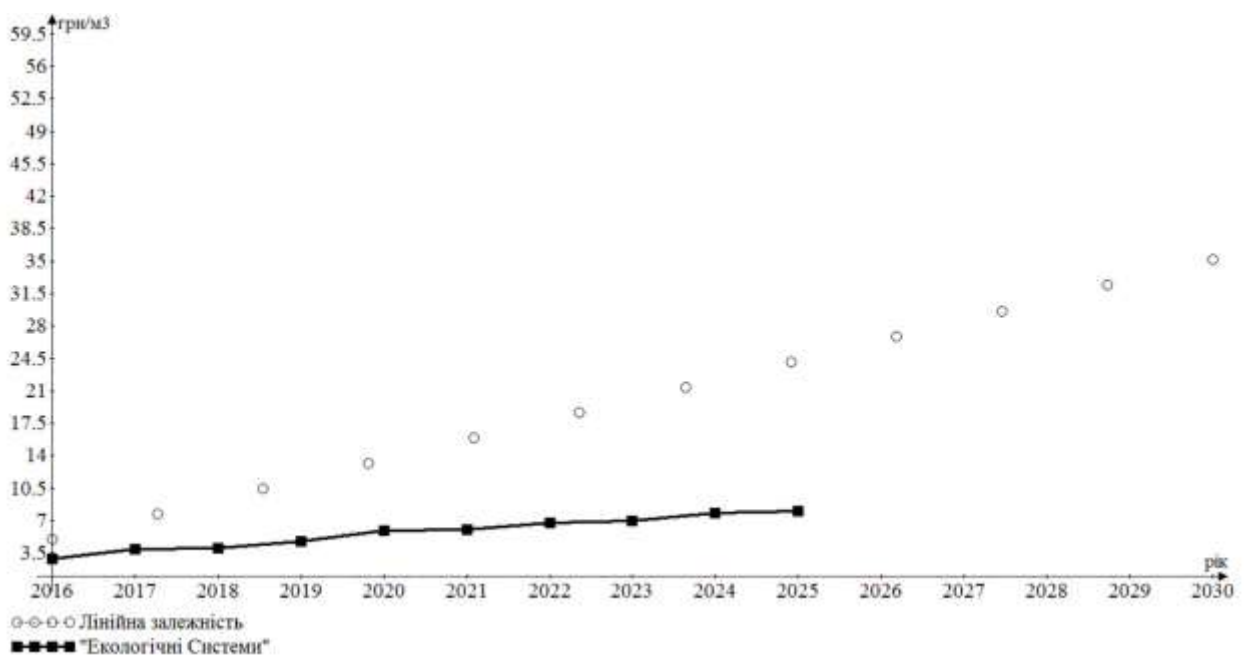


Рисунок 1.13 – Порівняння прогнозів щодо зміни тарифів на газ

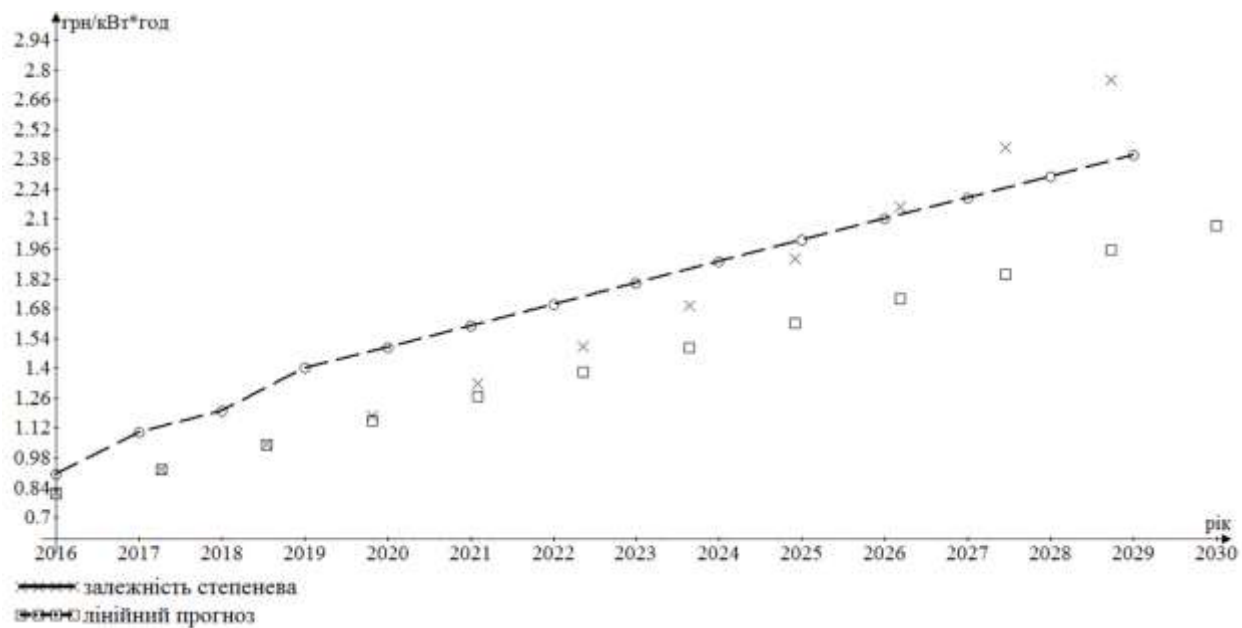


Рисунок 1.14 – Порівняння прогнозів щодо зміни тарифів на електричну енергію.

Тому зважаючи на динаміку ціни на енергоносії необхідно враховувати ціновий ризик від зміни вартості енергоносіїв при виборі енергоефективного джерела теплоти.

Висновки до розділу

В цьому розділі було розглянуто об'єкт досліджень, проведено дослідження його поточного стану та виконано аналіз споживання енергетичних ресурсів.

Виконано аналіз класифікації будівель за класом енергоефективності та описані критерії оцінки класу енергоефективності будівель. Приведена класифікація еталонних будівель.

Проведено обґрунтування можливості термомодернізації із врахуванням динаміки вартості на енергоносії та було проаналізовано зміну вартості енергоносіїв в часі.

2. АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БУДІВЛІ ГОЛОВНОГО КОРПУСУ

2.1. Дослідження теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівлі

2.1.1. Розрахунок теплопередачі трансмісією

Теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій визначаються за фактичними даними відповідно до ДБН В.2.6-31.

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції згідно з ДБН В.2.6-31 розраховується за формулою:

$$R_c = \frac{1}{\alpha_v} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_z},$$

де α_v , α_z – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К); λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К); δ_i – товщина i -го шару конструкції.

– зовнішні стіни

Зовнішні стіни будівлі.

$$R_c = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{1}{\alpha_z} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,54}{0,81} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{23} = 0,847 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_1 – товщина шару силікатної цегли, $\delta_1 = 0,54$ м; λ_{1p} – теплопровідність силікатної цегли на цементно-піщаному розчині, $\lambda_{1p} = 0,87$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина шару цементно-піщаної штукатурки, $\delta_2 = 0,02$ м; λ_{2p} – теплопровідність цементно-піщаної штукатурки, $\lambda_{2p} = 0,81$ Вт/(м·К); $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_z = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої та зовнішньої сторони будівлі.

Зовнішні стіни підвалу

Стіни цокольного поверху відносяться до огорожуючих конструкцій, що контактують з ґрунтом. Згідно (ДСТУ-Н Б.А.2.2-5:2007) опір теплопередачі складає для І зони стіни:

$$R_{сцІ} = R_{пц} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} = 2,1 + \frac{0,54}{0,87} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{0,01}{1,1} = 2,792 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_1 – товщина шару силікатної цегли, $\delta_1 = 0,54$ м; λ_1 – теплопровідність силікатної цегли на цементно-піщаному розчині, $\lambda_1 = 0,87$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина шару цементно-піщаної стяжки, $\delta_2 = 0,05$ м; λ_{cm} – теплопровідність цементно-піщаної стяжки, $\lambda_{cm} = 0,81$ Вт/(м·К); δ_3 – товщина облицювальної плитки, $\delta_3 = 0,01$ м; λ_3 – теплопровідність облицювальної плитки, $\lambda_3 = 1,1$ Вт/(м·К);

Опір теплопередачі для ІІ зони стіни складає:

$$R_{сцІІ} = R_{пц} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} = 4,3 + \frac{0,54}{0,87} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{0,01}{1,1} = 4,992 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

– вікна

Дерев'яні вікна:

$$R_{вд} = 0,42 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

ПВХ вікна

$$R_{впвх} = 0,38 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

– входні двері

Дерев'яні двері:

$$R_{довд} = \frac{1}{\alpha_с} + \frac{\delta_d}{\lambda_{dp}} + \frac{1}{\alpha_з} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,18} + \frac{1}{23} = 0,381 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_d – товщина дерев'яної двері, $\delta_d = 0,04$ м; λ_{dp} – теплопровідність деревини, $\lambda_{dp} = 0,18$ Вт/(м·К); $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_z = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторони будівлі.

Металічні двері:

$$R_{dv.m} = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_z} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,003}{58} + \frac{1}{23} = 0,158 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_m – товщина металічної двері, $\delta_d = 0,003$ м; λ_m – теплопровідність сталі, $\lambda_m = 58$ Вт/(м·К); $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_z = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторони будівлі.

– підлога

$$R_{пз} = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_{пл}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{см}} + \frac{1}{\alpha_z} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,16}{1,86} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{1}{23} = 0,306 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_1 – товщина шару бетонної плити на щебні з природнього каменю, $\delta_1 = 0,16$ м; $\lambda_{пл}$ – теплопровідність бетонної плити, $\lambda_{пл} = 1,86$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина шару цементно-піщаної стяжки, $\delta_2 = 0,05$ м; $\lambda_{см}$ – теплопровідність цементно-піщаної стяжки, $\lambda_{см} = 0,81$ Вт/(м·К); $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_z = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторони будівлі.

Підлога підвалу відноситься до огорожуючих конструкцій, що контактують з ґрунтом. Опір теплопередачі для І зони підлоги складає:

$$R_{пцл} = R_{пц} + \frac{\delta_1}{\lambda_{см}} = 2,1 + \frac{0,1}{0,81} = 2,223 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_1 – товщина шару цементно-піщаної стяжки, $\delta_1 = 0,1$ м; $\lambda_{см}$ – теплопровідність цементно-піщаної стяжки, $\lambda_{см} = 0,81$ Вт/(м·К);

Опір теплопередачі для ІІ зони підлоги складає:

$$R_{\text{пцII}} = R_{\text{пц}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{\text{cm}}} = 4,3 + \frac{0,1}{0,81} = 4,423 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Опір теплопередачі для III зони підлоги складає:

$$R_{\text{пцIII}} = R_{\text{пц}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{\text{cm}}} = 8,6 + \frac{0,1}{0,81} = 8,723 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Опір теплопередачі для IV зони підлоги складає:

$$R_{\text{пцIV}} = R_{\text{пц}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{\text{cm}}} = 14,2 + \frac{0,1}{0,81} = 14,323 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

– суміщеного перекриття:

$$R_{\text{нк}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,25}{1,86} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{1}{23} = 0,355 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_1 – товщина шару бетонної плити на щебні з природнього каменю, $\delta_1 = 0,25$ м; λ_1 – теплопровідність бетонної плити, $\lambda_1 = 1,86$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина шару цементно-піщаної стяжки, $\delta_2 = 0,05$ м; λ_2 – теплопровідність цементно-піщаної стяжки, $\lambda_2 = 0,81$ Вт/(м·К); $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_3 = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторони даху.

Приведений опір теплопередачі

Приведений опір теплопередачі визначається на основі вимог ДБН В.2.6-31. В якості розрахункових значень прийняті фактичні значення опору теплопередачі для кожного окремого виду огорожувальної конструкції.

Приведений опір теплопередачі зовнішніх непрозорих стінових огорожувальних конструкцій – $R_{\Sigma \text{ пр.нп.}}$. Так як є неоднорідність стінових

огорожувальних конструкцій за рахунок цокольного поверху, то приведений опір розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^i \frac{F_i}{R_i}}.$$

Отже, для нашого випадку

$$R_{\Sigma_{пр.нп}} = \frac{F_{пр.нп}}{\frac{F_c}{R_c} + \frac{F_{цI}}{R_{цI}} + \frac{F_{цII}}{R_{цII}}} = \frac{1077,1}{\frac{886,84}{0,847} + \frac{161,44}{2,792} + \frac{28,82}{4,992}} = 0,97 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де F_c – загальна площа стін, що контактують з повітрям визначена у внутрішніх межах;

$F_{цI}$, $R_{цI}$ – відповідно площа (визначена у внутрішніх межах) та термічний опір стін, що контактують з ґрунтом в межах першої зони;

$F_{цII}$, $R_{цII}$ – відповідно площа (визначена у внутрішніх межах) та термічний опір стін, що контактують з ґрунтом в межах другої зони.

Приведений опір теплопередачі суміщеного покриття – $R_{\Sigma_{пк}} = 0,355 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Приведений опір теплопередачі підлоги підвалу:

$$R_{\Sigma_{пр.ц}} = \frac{F_{\Sigma_{пр.ц}}}{\frac{F_{пцI}}{R_{пцI}} + \frac{F_{пцII}}{R_{пцII}} + \frac{F_{пцIII}}{R_{пцIII}} + \frac{F_{пцIV}}{R_{пцIV}}} = \frac{506,4}{\frac{40,95}{2,223} + \frac{149,17}{4,423} + \frac{145,97}{8,723} + \frac{170,35}{14,323}} = 6,269 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де $F_{\Sigma_{пр.ц}}$ – загальна площа підлоги цокольного поверху;

$F_{пцI}$, $F_{пцII}$, $F_{пцIII}$, $F_{пцIV}$, $R_{пцI}$, $R_{пцII}$, $R_{пцIII}$, $R_{пцIV}$ – відповідно площа та термічний опір підлоги цокольного поверху по зонах.

Приведений опір теплопередачі зовнішніх світлопрозорих огорожувальних конструкцій – $R_{\Sigma_{пр.сп.в}}$

$$R_{\Sigma np \text{ в }} = \frac{F_{\Sigma cn}}{\frac{F_{\Sigma в д}}{R_{в д}} + \frac{F_{\Sigma в пвх}}{R_{в пвх}}} = \frac{299,3}{\frac{76,7}{0,42} + \frac{222,6}{0,38}} = 0,39 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де $F_{\Sigma cn}$ – загальна площа світлопрозорих конструкцій; $F_{\Sigma в д}$, $R_{в д}$ – відповідно площа та термічний опір дерев'яних вікон; $F_{\Sigma в пвх}$, $R_{в пвх}$ – відповідно площа та термічний опір ПВХ вікон.

Приведений опір теплопередачі входних дверей у будинок – $R_{\Sigma np.д.}$

$$R_{\Sigma np д} = \frac{F_{\Sigma д}}{\frac{F_{\Sigma д.д}}{R_{д.д}} + \frac{F_{\Sigma д.м}}{R_{д.м}}} = \frac{16,2}{\frac{13,0}{0,381} + \frac{3,2}{0,158}} = 0,298 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де $F_{\Sigma д}$ – загальна площа зовнішніх дверей; $F_{\Sigma д.д}$, $R_{д.д}$ – відповідно площа та термічний опір дерев'яних дверей; $F_{\Sigma д.м}$, $R_{д.м}$ – відповідно площа та термічний опір металічних дверей.

Для розрахунку теплопередачі трансмісією зведемо площі огорожувальних конструкцій до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Площа огорожувальних конструкцій головного корпусу

№	Огорожувальні конструкції	Площа, A_i , м ²
1	Зовнішні стіни, з орієнтацією на: - північ - схід - південь - захід	431,2 923,9 434,0 1024,5
2	Покриття	2251
3	Підлога	2251
4	Двері	35,88
5	Вікна в тому числі орієнтованих на: - північ - схід - південь - захід	91,88 576,26 100,7 482,69

Сумарна теплопередача трансмісією Q_{tr} , Вт·год, визначаємо для кожного місяця. Попередньо необхідно визначити загальний коефіцієнта теплопередачі трансмісією, результати розрахунку якого представлені в таблиці 2.2.

Окремо розраховується теплопередача трансмісією для періоду опалення та охолодження. Результати розрахунку представлені в таблиці 2.3

Для періоду опалення теплопередача трансмісією визначається за формулою:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} (\theta_{int,set,H} - \theta_e) t ; \quad (2.1)$$

Для періоду охолодження теплопередача трансмісією визначається за формулою:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} (\theta_{int,set,C} - \theta_e) t , \quad (2.2)$$

де $H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією зони, Вт·К;

$\theta_{int,set,H}$ – задана температура в головному корпусі для опалення, °С; $\theta_{int,set,C}$ – задана температура в головному корпусі для охолодження, °С; θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С; t – тривалість розрахункового місяця, год.

Таблиця 2.2. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі трансмісією через огорожувальні конструкції головного корпусу

№	Огороджувальні конструкції	Площа, A_i , м ²	R , м ² ·К/Вт	U , Вт/м ² ·К	Коефіцієнти		$H_{tr,H}$, Вт/К	$H_{tr,C}$, Вт/К
					$b_{tr,H}$	$b_{tr,C}$		
1	Зовнішні стіни будівлі	2813,6	0,78	1,3	1	1	3664,84	3664,84
2	Світлопрозорі конструкції	1251,53	0,41	2,5	1	1	3134,1	3134,1
3	Суміщене покриття	2251	1,72	0,58	1	1	1499,95	1499,95
4	Підлога на ґрунті	1332,83	2,86	0,35	0,3	0,3	665,32	665,32
	Підлога над підвалом	917,96	0,62	1,65	1	1	477,05	477,05
5	Зовнішні двері	35,88	0,45	2,21	1	1	79,45	79,45

На рис. 2.1 Зображено кругову діаграму теплопередачі трансмісією через огорожувальні конструкції головного корпусу у відсотках.

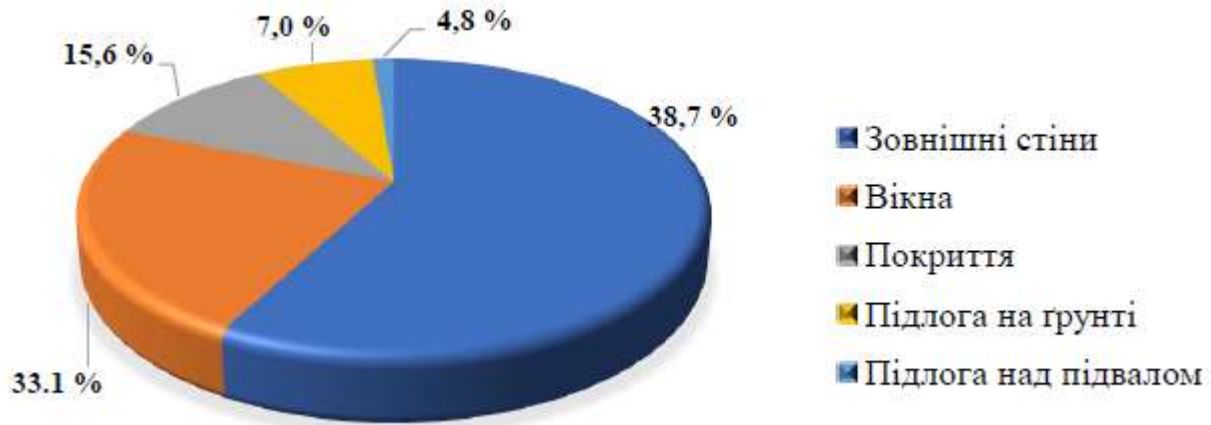


Рисунок 2.1. Теплопередача трансмісією через огорожувальні конструкції головного корпусу

Таблиця 2.6. Розрахунок трансмісійних теплових втрат за періоди опалення та охолодження

[illegible]

2.1.2. Розрахунок теплопередачі через вентиляцію

Теплопередачу вентиляцією визначають для всіх систем вентиляції в будівлі. За відсутності механічної вентиляції в будівлі розрахунок проводиться для повітрообміну природної вентиляції.

Загальну теплопередачу вентиляцією Q_{ve} , Вт·год, розраховують для кожного місяця для періодів опалення та охолодження за формулою:

$$Q_{ve} = H_{ve} (\theta_{int} - \theta_e) t, \quad (2.3)$$

Нормативна температура внутрішнього повітря для періоду опалення, $\theta_{int} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, для періоду охолодження – $\theta_{int} = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$. В таблиці 2.7 наведено розрахунок теплопередачі через природну вентиляцію для періодів опалення та охолодження.

Таблиця 2.7 – Теплопередача природною вентиляцією

Місяць	θ , $^{\circ}\text{C}$	t_n , дні	t_c , дні	$Q_{ve,H}$, кВт·год	$Q_{ve,C}$, кВт·год
січень	-4,7	744	154	174960	108507
лютий	-3,6	672	180	150991	98853
березень	1	744	199	134586	88271
квітень	9	240	193	25135	53000
травень	15,2	0	199	0	29702
червень	18,3	0	0	0	0
липень	19,8	0	0	0	0
серпень	19	0	6	0	14910
вересень	13,9	0	193	0	35345
жовтень	8,1	360	199	40787	60142
листопад	1,9	720	193	124074	83623
грудень	-2,5	744	154	159377	100015
$\Sigma Q_{ve} =$				244321	672369

2.1.3. Загальні тепловтрати

Загальні тепловтрати визначаються, як добуток трансмісійних та вентиляційних витрат для кожного місяця періодів опалення та охолодження. В

таблиці 2.8 приведено результати розрахунку загальних тепловтрат в головному корпусі.

Загальні тепловтрати:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (2.4)$$

Таблиця 2.8 – Загальні тепловтрати на трансмісію і вентиляцію

Місяць	$Q_{h,ht}$, кВт·год	$Q_{e,ht}$, кВт·год
січень	223927	153603
лютий	200614	149579
березень	177183	135704
квітень	32745	84216
травень	0	50193
червень	0	0
липень	0	0
серпень	0	15340
вересень	0	57562
жовтень	53135	94105
листопад	163345	127874
грудень	203282	141879
Разом за рік	1054230	1010052

2.2. Розрахунок теплонадходжень до будівлі

2.2.1. Внутрішні теплонадходження

Внутрішні теплонадходження складаються з будь-якої теплоти, що створюється в опалювальному об'ємі внутрішніми джерелами.

Внутрішні теплонадходження включають:

- метаболічну теплоту від людей;
- теплоту від освітлювальних приладів;
- теплоту розсіяну електрообладнання;

Теплонадходження від внутрішніх джерел будівлі розраховують за формулою, Вт·год:

$$Q_{int} = (\sum_k \Phi_{int,mn,k} A_f) t, \quad (2.5)$$

де $\Phi_{\text{int,mn}}$ –тепловий потік від розрахункового джерела; t – тривалість робочих годин в місяці.

Результати розрахунку внутрішніх теплонадходжень приведені в таблиці 2.9

Таблиця 2.9. Розрахунок внутрішніх теплонадходжень

Місяць	$\Phi_{\text{int,люд}},$ Вт/м ²	$\Phi_{\text{int,осв}},$ Вт/м ²	$\Phi_{\text{int,обл}},$ Вт/м ²	$A_f, \text{ м}^2$	$Q_{\text{int,люд}},$ кВт·год	$Q_{\text{int,осв}},$ кВт·год	$Q_{\text{int,обл}},$ кВт·год	$Q_{\text{int}},$ кВт·год
січень	7	3,8	14,81	6337	6844	2201	4876	13922
лютий					7985	2567	5689	16242
березень					8842	2844	6299	17981
квітень					8555	2752	6095	17403
травень					8841	2843	6297	17982
червень					0	0	0	0
липень					0	0	0	0
серпень					285	92	203	580
вересень					8555	2753	6094	17403
жовтень					8842	2843	6298	17981
листопад					8556	2752	6096	17404
грудень					6844	2201	4876	13922
					74149	23849	52825	150822

2.2.2. Сонячні теплонадходження

Джерелом теплових надходжень служить сонячна радіація, інтенсивність випромінювання якої залежить від місцевості та визначається орієнтацією сприймаючих поверхонь, наявністю затінення.

Теплонадходження від сонця для кожного місяця визначаються Q_{sol} , , визначають за формулою, Вт·год:

$$Q_{\text{sol}} = \left(\sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right) t, \quad (2.6)$$

де $\Phi_{\text{sol,mn}}$ –тепловий потік джерела сонячного випромінювання. Результати розрахунку сонячних теплонадходжень через огорожуючі конструкції головного корпусу наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10. Розрахунок сонячних теплонадходжень

Місяць	Параметри					
	$I_{\text{пн}}, \text{Вт/м}^2$	$I_{\text{сх}}, \text{Вт/м}^2$	$I_{\text{пд}}, \text{Вт/м}^2$	$I_{\text{зх}}, \text{Вт/м}^2$	$I_{\text{гор}}, \text{Вт/м}^2$	$Q_{\text{sol}}, \text{кВт} \cdot$
січень	13	21	50	22	32	8140
лютий	24	36	70	38	59	15415
березень	35	58	90	61	101	29504
квітень	39	77	92	73	149	36976
травень	56	104	101	99	211	52863
червень	67	111	96	105	228	44887
липень	61	108	98	104	220	43538
серпень	40	93	106	89	185	36228
вересень	29	70	102	66	130	33462
жовтень	19	38	75	37	71	17790
листопад	11	17	39	17	31	5447
грудень	9	14	35	15	22	3951

2.3. Розрахунок енергопотребы для опалення та охолодження

Для розрахунку енергопотребы будівлі для опалення та охолодження використовується динамічний метод шляхом моделювання теплових опорів, теплових втрат і теплонадходжень до будівлі.

Для кожного місяця енергопотребу для опалення, кВт·год, для постійного режиму опалення визначають за формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad (2.7)$$

Результати розрахунків енергопотребы для опалення помісячно приведені в таблиці 2.11.

Енергопотребу для охолодження, кВт·год, для постійного режиму опалення визначають за формулою:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ht} Q_{C,ht} \quad (2.8)$$

Результати розрахунків енергопотребы для охолодження помісячно приведені в таблиці 2.12.

Річну енергопотребу ГВП визначають за питомою річною потребою, яка для навчальних закладів становить $10 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$. Загальні енергопотреби ГВП становлять:

$$Q_{DHW,need} = 10 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2 \cdot A_f = 10 \cdot 6338 = 63380 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таблиця 2.11. Розрахунок потреби на опалення

Місяці	Параметри								
	$Q_{H,tr}$ кВт·год	$Q_{H,ve}$ кВт·год	$Q_{H,ht}$ кВт·год	$Q_{H,sol}$ кВт·год	$Q_{H,int}$ кВт·год	$Q_{H,gn}$ кВт·год	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ кВт·год
1	174961	48968	223928	8126	13921	22063	0,1	1	201883
2	150991	49623	200614	15417	16242	31657	0,16	0,999	168977
3	134585	42598	177182	29534	17984	47488	0,27	0,995	129885
4	25135	7611	32744	12344	5801	18126	0,55	0,951	15483
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	40788	12348	53136	8613	8702	17309	0,33	0,991	35977
11	124074	39271	163345	5433	17404	22851	0,14	1	140520
12	159377	43904	203280	3928	13921	17873	0,09	1	185431
Всього	809910	244322	1054229	83396	93975	177365			878156

Таблиця 2.12. Розрахунок енергопотреби для охолодження

Місяці	Параметри								
	$Q_{C,tr}$ кВт·год	$Q_{C,ve}$ кВт·год	$Q_{C,ht}$ кВт·год	$Q_{C,sol}$ кВт·год	$Q_{C,int}$ кВт·год	$Q_{C,gn}$ кВт·год	γ_C	$\eta_{C,gn}$	$Q_{C,nd}$ кВт·год
січень	45096	108507	153603	8125	13922	22047	0,14	0,143	0
лютий	50726	98853	149579	15417	16242	31659	0,21	0,210	0
березень	47343	88271	135704	29534	17983	47517	0,35	0,339	1580
квітень	31214	53000	84215	37036	17403	54438	0,65	0,565	6823
травень	20491	29702	50193	52966	17983	70949	1,41	0,852	28195
червень	0	0	0	44998	0	44998	0	0	0
липень	0	0	0	43647	0	43647	0	0	0
серпень	428	14910	15339	36314	580	36894	2,41	0,950	22316
вересень	22217	35345	57562	33510	17403	50913	0,88	0,693	11006
жовтень	33962	60142	94105	17801	17983	357783	0,38	0,365	1445
листопа	44251	83623	127874	5432	17403	22834	0,18	0,177	0
грудень	41864	100015	141879	3929	13922	17851	0,13	0,126	0
Всього	337684	672369	1010053	328709	150822	479531			71363

2.4. Розрахунок класу енергетичної ефективності головного корпусу

Питома річна енергопотреба для опалення охолодження та ГВП знаходиться за формулою:

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd}) / V_f = \\ (878156 + 71363 + 63380) / 23591 = 42,94 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

Нормативна максимальна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів становить $EP_{max} = 28 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$, згідно з [16].

Різниця в % розрахункового значення питомої енергопотреби, EP , від максимально допустимого значення, EP_{max} становить:

$$\Delta EP = [(EP - EP_{max}) / EP_{max}] \cdot 100\% = [(42,94 - 28) / 28] \cdot 100\% = 53,34\%.$$

Згідно даних наведених таблиці 1.9 клас енергетичної ефективності, головного корпусу встановлений за співвідношенням $50 < \Delta EP$ відповідає класу – «E».

Висновки до розділу

У даному розділі було виконано дослідження стану огорожувальних конструкцій головного корпусу та визначені елементи з найбільшими трансмісійними втратами.

Виконано розрахунок енергопотреби будівлі для періодів опалення та охолодження, за результатами якого визначено клас енергетичної ефективності будівлі.

Визначений клас енергоефективності будівлі є нижчим за рейтингом, тому для його підвищення необхідно розробити і впровадити енергоощадні заходи.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО КОРПУСУ

3.1. Аналіз енергетичних втрат в системі тепlopостачання

Для визначення неефективних елементів в структурі тепlopостачання та вибору енергоощадних заходів зведемо основні енергетичні втрати будівлі до таблиці 3.1. Для зручності аналізу енергетичних втрат результати таблиці 3.1. у графічному вигляді на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1. Енергобаланс енергії опаленні та вентиляції

Елементи огорожувальної конструкції та інженерних систем	До ЕЕ Базова лінія, кВт·год/рік
Дах (трансмісійні втрати)	125646
Підлога (трансмісійні втрати)	95196
Стіни (трансмісійні втрати)	311761
Вікна (трансмісійні втрати)	266612
Двері (трансмісійні втрати)	6759
Природна вентиляція	206269
Втрати в інженерних системах	377853
Теплонадходження	175952
Всього	1214143

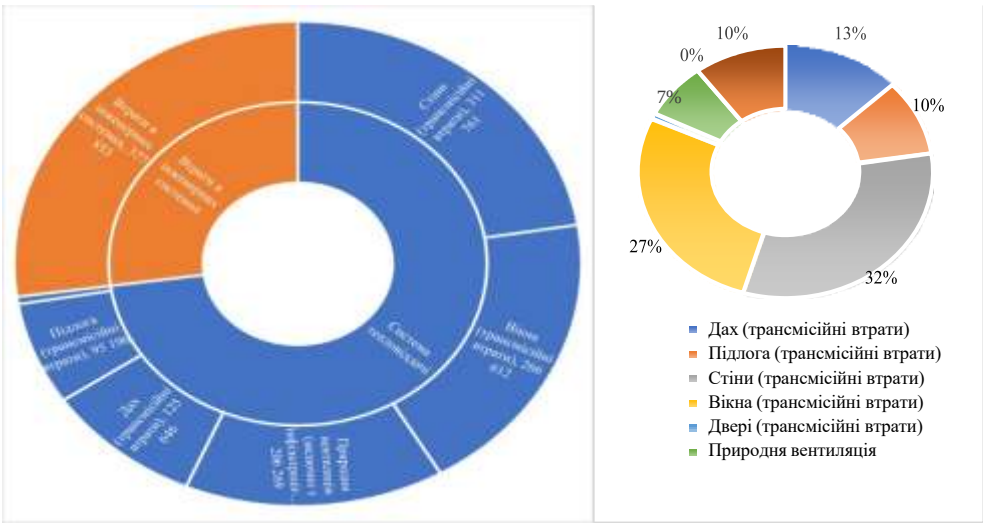


Рисунок 3.1. Розподіл енергетичних втрат

Аналіз рис. 3.1. вказав на доцільність впровадження наступних енергоощадних заходів:

- 1) Утеплення зовнішніх стін;
- 2) Утеплення даху;
- 3) Заміна старих вікон на нові енергоефективні;
- 4) Заміна старих дверей;
- 5) –теплення підлоги.
- 6) Встановлення ІТП
- 7) Теплоізоляція трубопроводів системи опалення;
- 8) Встановлення балансувальних клапанів.

3.2. Дослідження економічної ефективності впровадження можливостей енергозбереження

Утеплення зовнішніх стін. Середній коефіцієнт теплопередачі стін $U_{ст} = 1,3 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U = 0,3 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$.

Пропонуємо виконати роботи з утеплення зовнішніх стін. Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі.

Обираємо утеплювач – мінераловатні плити, товщиною 0,2 м та густиною 30 кг/м^3 . Загальна площа стін становить 2814 м^2 . Результати розрахунку ефективності впровадження заходу наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Розрахунок ефективності впровадження

Економія енергії		
Економія енергії	283168	кВт·год/рік
Економія коштів	443719	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	3939033	грн
В тому числі податки	656506	грн
Чиста економія	443719	грн/рік
Термін окупності	8,9	років

Встановлення енергозберігаючих вікон. Вікна в закладі з одинарним склопакетом в металопластикових рамах, середній коефіцієнт теплопередачі вікон $U_{сп.к.}=2,05 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=1,33 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$.

Пропонується замінити існуючі металопластикові вікна на склопакети з енергоефективним напиленням. Загальна площа вікон $1251,53 \text{ м}^2$.

Результати розрахунку ефективності впровадження заходу наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Розрахунок ефективності впровадження

Економія енергії		
Економія енергії	154102	кВт·год/рік
Економія коштів	241476	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	1317638	грн
В тому числі податки	219606	грн
Чиста економія	241476	грн/рік
Термін окупності	5,5	років

Утеплення даху. Середній коефіцієнт теплопередачі даху $U=0,58 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=0,2 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$.

Пропонуємо виконати роботи з утеплення крівлі. Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через крівлю.

Обираємо утеплювач – мінераловатні плити, товщиною $0,25 \text{ м}$ та густиною 40 кг/м^3 . Загальна площа даху становить 2251 м^2 . Результати розрахунку ефективності впровадження заходу наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Розрахунок ефективності впровадження

Економія енергії		
Економія енергії	114197	кВт·год/рік
Економія коштів	178945	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	3601248	грн
В тому числі податки	600208	грн
Чиста економія	178945	грн/рік
Термін окупності	20,1	років

Утеплення підлоги. Середній коефіцієнт теплопередачі підлоги $U=0,88 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ значно перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=0,27 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$.

Пропонуємо виконати роботи з утеплення підлоги над неопалювальним підвалом. Додаткова теплова ізоляція зменшить втрати тепла через підлогу першого поверху над неопалювальним підвалом.

Обираємо утеплювач – мінераловатні плити, товщиною 0,2 м та густиною 30 кг/м^3 . Загальна площа підлоги над неопалювальним підвалом становить 918 м^2 . Результати розрахунку ефективності впровадження заходу наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Розрахунок ефективності впровадження

Економія енергії		
Економія енергії	35282	кВт·год/рік
Економія коштів	55286	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	917960	грн
В тому числі податки	152993	грн
Чиста економія	55286	грн/рік
Термін окупності	16,6	років

Заміна старих дверей. В будівлі використовуються дерев'яні, металеві без теплоізоляції та металопластикові двері. Середній коефіцієнт теплопередачі існуючих дверей $U = 2,21 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ значно перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U= 1,67 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$.

Пропонуємо замінити існуючі дерев'яні та металеві двері на металопластикові утеплені з подвійним склопакетом. Площа дверей на заміну становить $20,22 \text{ м}^2$. Результати розрахунку ефективності впровадження заходу наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Розрахунок ефективності впровадження

Економія енергії		
Економія енергії	145495	кВт·год/рік
Економія коштів	227988	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	101100	грн
В тому числі податки	16850	грн
Чиста економія	227988	грн/рік
Термін окупності	0,4	років

Встановлення індивідуального теплового пункту

Будівля підключена до централізованої системи теплової енергії. В тепловому пункті відсутнє автоматичне регулювання подачі теплоносія, що сприяє неефективному споживанню теплової енергії (5-10%).

Пропонується встановити ІТП з погодним регулятором та циркуляційним насосом. Результати розрахунку ефективності впровадження заходу наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Розрахунок ефективності впровадження

Економія енергії		
Економія енергії	98846	кВт·год/рік
Економія коштів	154890	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	850000	грн
В тому числі податки	141667	грн
Чиста економія	154890	грн/рік
Термін окупності	5,5	років

Теплоізоляція трубопроводів системи опалення. Існуюча теплоізоляція трубопроводів знаходиться в незадовільному стані та потребує заміни.

Пропонується замінити теплову ізоляцію трубопроводів системи опалення у підвалі будівлі фольгованими мінераловатними циліндрами з самоклеючою основою. Загальна довжина трубопроводів в неопалювальному підвалі становить 336 м². Результати розрахунку ефективності впровадження заходу наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8. Розрахунок ефективності впровадження

Економія енергії		
Економія енергії	26020	кВт·год/рік
Економія коштів	40772	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	134208	грн
В тому числі податки	22368	грн
Чиста економія	40772	грн/рік
Термін окупності	3,3	років

Встановлення балансувальних клапанів. Система опалення розбалансована. Нерівномірність розподілення теплоносія у внутрішній мережі призводить до коливань внутрішньої температури в залежності від номеру стояку в системи опалення.

Пропонується виконати розрахунки щодо гідравлічного режиму системи опалення будівлі. Встановити на стояках системи опалення блоків будівлі балансувальні клапани. Виконати роботи з балансування системи опалення будинку. Кількість балансувальних клапанів становить 54 шт.

Результати розрахунку ефективності впровадження заходу наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9. Розрахунок ефективності впровадження

Економія енергії		
Економія енергії	17346	кВт·год/рік
Економія коштів	27182	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	162000	грн
В тому числі податки	27000	грн
Чиста економія	27182	грн/рік
Термін окупності	6	років

3.3. Порівняльний аналіз енергетичних втрат в системі теплопостачання після реновації

Впровадження енергоощадних заходів представлених в розділі 3.2 дозволило отримати умарний економічний ефект. Для визначення впливу енергоощадних заходів на огорожуючі контрукції та інженерні мережі зведемо основні енергетичні втрати будівлі до таблиці 3.10. Для зручності аналізу енергетичних втрат результати таблиці 3.10. у графічному вигляді на рисунку 3.2.

Таблиця 3.10. Розподіл енергетичних втрат

Елементи огорожувальної конструкції та інженерних систем	До ЕЕ Базова лінія, кВт·год/рік	Після ЕЕ і реновації, кВт·год/рік	Економія, кВт·год/рік
Дах	125646	28432	97215
Підлога	95196	58145	37051
Стіни	311761	63841	247920
Вікна	266612	123435	143177
Двері	6759	4811	1948
Природна вентиляція	206269	240027	4293
Втрати в інженерних системах	377853	48098	343534
Теплонадходження	175952	171265	4803
Всього	1214143	395523	870335

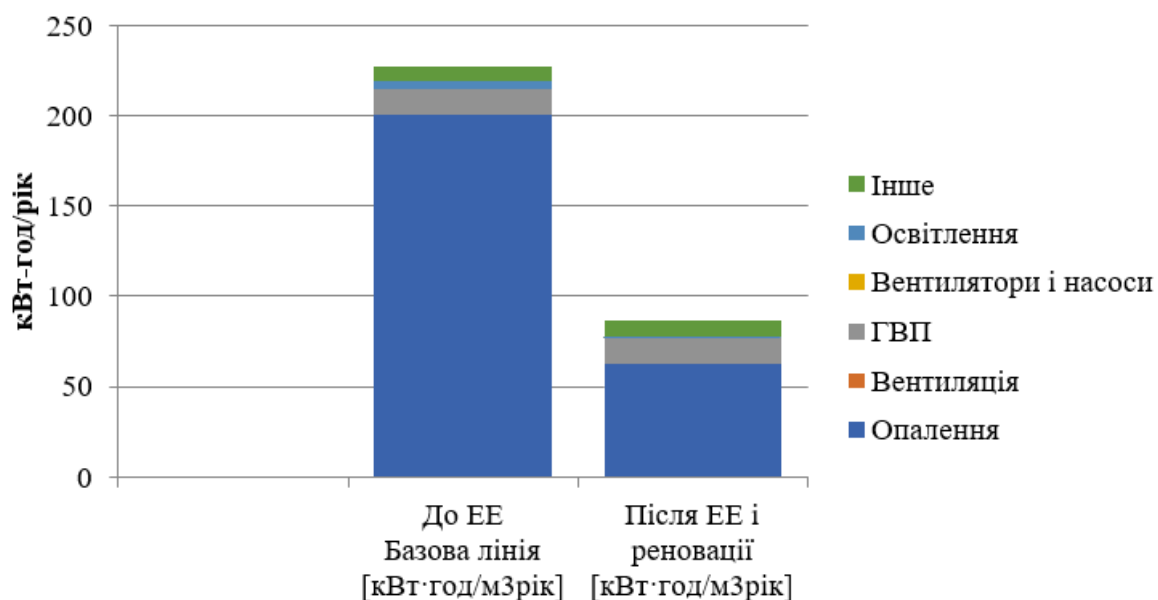


Рисунок 3.2. Баланс енергоспоживання до та після термомодернізації

Висновки до розділу

Проведено аналіз енергоефективних заходів з енергозбереження, визначені їх техніко-економічні показники та розраховано економію.

Виконнано аналіз поточного стану системи теплоспоживання та визначна економія енергоресурсів за рахунок термореновації.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ НА КЛАС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

Показники енергетичної ефективності будівлі включають питоме енергоспоживання на опалення, вентиляцію і охолодження, споживання гарячої освітлення, тощо.

Проте найбільш інтегральним енергетичним показником виступає питома енергопотреба (EP), що визначається значеннями енергопотреби на опалення, охолодження та ГВП. Тому для проведення пошуку оптимальних варіантів утеплення були використані EP та EA , кВт·год/м²:

$$EP = EP_{H.use} + EP_{C.use} + EP_{DHW.use}, \quad (4.1)$$

де $EP_{H.use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні; $EP_{C.use}$ – питоме енергоспоживання при охолодженні; $EP_{DHW.use}$ – питоме енергоспоживання на гаряче водопостачання.

Результати досліджень довели, що збільшення термічного опору непрозорих огорожувальних конструкцій лише на 1 % дозволяє зменшити EA будівлі на 14,9-16,8%, а EP – на 20-23%. Через це, можна стверджувати, що першочергово необхідно проводити термореновацію стін фасадів будівлі, за умови $K_{скл} \leq 0,25$.

Статистика попиту на вікна з конструктивною формулою 4-14-4-14-4, вказує, що приблизно 23% вікон в будівлях мають нормативний термічний опір.

Необхідно відзначити, що збільшення термічного опору вікон на 43 % дозволяє зменшити EA будівлі на 8,7-13,7%, а EP – на 12,1-19,4%.

Утеплення горищного перекриття дозволяє зменшити EA будівлі на 14,9-16,8%, а EP – на 7,6%. Вплив теплофізичних властивостей різних утеплювачів буде знівельований, якщо в структурі огорожувальних конструкцій площа горищного перекриття становить 10%. Незначне значення площі

огороджувальної конструкції буде мати низьку частку у структурі теплових втрат будівлі.

Збільшення термічного опору утеплення перекриття підвалу дозволяє зменшити EP на 0,1 %.

Вибір оптимального переліку заходів у складі комплексної термореновації огороджувальних конструкцій здійснено із застосуванням методу експертних оцінок. В рейтингу впроваджуваних заходів експерти визначали пріоритет заходу за наступними критеріями:

- техніко-енергетичний;
- фінансовий;
- екологічний.

Степінь узгодженості експертів перевіряли із застосуванням статистичного оброблення результатів, які підтвердили наявність узгодженості експертів, оскільки у всіх випадках ($W = 0,6444 \dots 0,9167$, $\chi^2_{розр} = 33,411 \dots 58,956$)

$$\chi^2_{розр} > \chi^2_{кр}.$$

Встановимо теплофізичні та енергетичні показники головного корпусу до та після комплексної термореновації (табл. 4.1, 4.2).

Таблиця 2 – Теплотехнічні та геометричні характеристики огороджувальних конструкцій до та після комплексної термомодернізації

№ з/п	Вид огороджувальної конструкції	Значення опору теплопередачі, $m^2 \cdot K/W$		
		До модернізації	Після термомодернізації	Мінімальні вимоги
1	Зовнішні стіни	1,103	3,57	3,3
2	Горищне перекриття	0,726	5,678	4,95
3	Перекриття підвалу	1,47	4,74	3,75
4	Вікна	0,408	1,112	0,75

Клас енергетичної ефективності будівель установлювали за показником загального питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води ($EP=42,9$ кВт·год /м²): для класу "E"

Таблиця 4.2. Показники енергетичної ефективності будівлі

Назва показника	До термомодерніза ції	Після термомодерніза ції
EA на опалення, охолодження, гаряче водопостачання, кВт·год/м ³ за рік	161	108
EP на опалення, гаряче водопостачання та охолодження будівлі, кВт·год /м ³ за рік	180,73	97,68
Питоме споживання первинної енергії, кВт·год /м ² за рік	314,54	206,57
Питомі викиди парникових газів, кг/м ² за рік	62,30	40,70
Клас енергетичної ефективності будівлі	<i>E</i>	<i>D</i>

Виявлено, що запропонований комплекс заходів допустить зменшити EA на 32,9 %, EP – на 45,9 %, споживання первинної енергії – на 34,3 % та викиди парникових газів – на 34,7 %, що дозволить підвищити клас енергетичної ефективності з *E* до *D*.

Аналізування різних варіантів термореновації огорожувальних конструкцій головного корпусу (табл. 4.3) виявило, що найбільший ефект економії теплової енергії (51%) можна досягти при комплексній термомодернізації.

Таблиця 4.3 – Енергетичні показники будівлі

№ з/ п	Варіант модернізації огороджувальн их конструкцій	Витрати теплоти на опаленн я будинку , кВт·год	Споживанн я енергії на опалення/ох олодження та гарячу воду, кВт·год/м ³	Клас енерг оефе ктив ності	Питомі викиди парников их газів, кг/м ² за рік	Питоме спожива ння первинн ої енергії, кВт·г/м ²
1	Вихідний стан	1 326 274	180,7	<i>G</i>	62,3	314,5
2	Утеплення стін	1 015 291	142,6	<i>F</i>	52,4	265
3	Заміна вікон	1 067 984	148,9	<i>F</i>	54,1	273,2
4	Утеплення горищ	1 212 763	167,2	<i>G</i>	58,8	296,9
5	Утеплення підвалу	1 325 340	180,6	<i>G</i>	62,3	314,5
6	Комплексна термомодерніза ція будівлі	647 950	97,7	<i>D</i>	40,7	206,6

Висновки до розділу

Аналіз складових огорожувальних конструкцій підтвердив, що впровадження поодиноких заходів може зменшити витрати теплової енергії на 0,07...23 %, причому підвищення опору стін на 1 % дозволяє зменшити енергоспоживання на 20...23%. Тому проведення термореновації стін будівель з незначним коефіцієнтом скління є ефективним.

Проведеними розрахунками доведено, що термореновація зменшить значення питомої енергопотреби та питомих викидів парникових газів у 1,5 рази, питомого споживання теплової енергії – у 1,9 рази та підвищить клас енергоефективності будівлі з *E* до *D*.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В першому розділі було розглянуто об'єкт досліджень, проведено дослідження його поточного стану та виконано аналіз споживання енергетичних ресурсів.

Виконано аналіз класифікації будівель за класом енергоефективності та описані критерії оцінки класу енергоефективності будівель. Приведена класифікація еталонних будівель.

Проведено обґрунтування можливості термомодернізації із врахуванням динаміки вартості на енергоносії та було проаналізовано зміну вартості енергоносіїв в часі.

У даному розділі було виконано дослідження стану огорожувальних конструкцій головного корпусу та визначені елементи з найбільшими трансмісійними втратами.

Виконано розрахунок енергопотреби будівлі для періодів опалення та охолодження, за результатами якого визначено клас енергетичної ефективності будівлі.

Визначений клас енергоефективності будівлі є нижчим за рейтингом, тому для його підвищення необхідно розробити і впровадити енергоощадні заходи.

Проведено аналіз енергоефективних заходів з енергозбереження, визначені їх техніко-економічні показники та розраховано економію.

Виконано аналіз поточного стану системи теплоспоживання та визначена економія енергоресурсів за рахунок термореновації.

Аналіз складових огорожувальних конструкцій підтвердив, що впровадження поодиноких заходів може зменшити витрати теплової енергії на 0,07...23 %, причому підвищення опору стін на 1 % дозволяє зменшити енергоспоживання на 20...23%. Тому проведення термореновації стін будівель з незначним коефіцієнтом скління є ефективним.

Проведеними розрахунками доведено, що термореновація зменшить значення питомої енергопотреби та питомих викидів парникових газів у 1,5 рази, питомого споживання теплової енергії – у 1,9 рази та підвищить клас енергоефективності будівлі з *E* до *D*.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Фаренюк Г.Г., Філоненко О. І., Олексієнко О. Б., Лещенко М. В. Особливості комплексної термомодернізації громадських будівель. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. Вип. 49. С. 232 – 238.
2. Yeromin A., Kolosov A. Modeling of energy efficient solutions regarding the heating system and the facade heat insulation in the implementation of thermomodernization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, No. 8 (91). P. 49–57. DOI:10.15587/1729–4061.2018.123021
3. Фош А.В. Термомодернізація будівель – ресурс енергозбереження в Україні. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. 65, С. 137 – 141.
4. Zender-Swiercz E., Piotrowski J. Thermomodernization a building and its impact on the indoor microclimate. *Structure and Environment: Architecture. Civil Engineering, Environmental Engineering and Energy*. 2013. Vol. 5, No. 3. P. 37–40.
5. Weglarz A., Gilewski P. A Method of Evaluation of Polioptimal Thermomodernization Schemes of Buildings. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. P. 862–865. DOI:10.1016/j.proeng.2016.08.194
6. Плєшков П.Г., Серебренніков С.В., Петрова К.Г., Савеленко І.В, Сіріков О.І. Проблеми визначення ефективності та ранжування енергоощадних заходів на об'єктах бюджетної сфери.
7. EN 13790:2008. Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. CEN: European Committee for Standardization, 2008. 53p.
8. EN 15217:2007. Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings. CEN: European Committee for Standardization, 2007. 31p.
9. EN 15603:2008. Energy performance of buildings – overall energy use and definition of energy ratings. CEN: European Committee for Standardization, 2008.

43р.

10. ДСТУ Б EN 15251: 2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики будівель. [Чинний від 2013-07-01]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 71 с.

11. ДСТУ Б EN 15261: 2012. Розрахунок параметрів мікроклімату. [Чинний від 2013-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 81 с. – (Державний стандарт України).

12. ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. [Чинний від 2013-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 74 с. – (Державний стандарт України).

13. ДСТУ Б EN 15603: 2013. Енергоефективність будівель. Загальне енергоспоживання та визначення енергетичних показників. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2014. – 63 с. – (Державний стандарт України).

14. ДБН В.2.6-31: 2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 30 с. – (Державні будівельні норми України).

15. Orosa J. Research on General Thermal Comfort Models. *European Journal of Scientific Research*, 2009. V. 27. P. 217–227.

16. Budaiwi I.. An approach to investigate and remedy thermal-comfort problems in bildings. *Building and Environment*, 2007. V. 42. P. 2124–2131.

17. Simons B., Koranteng C., Adinyira E., Ayarkwa J.. An Assessment of Thermal Comfort in Multi Storey Office Buildings in Chana. *Building and Environment*, 2014. V. 2. P. 30 – 38.

18. Gennusa M. La, Nucarab A., Rizzo G., Scaccianoce G.. The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation—a generalised algorithm. *Building and Environment*, 2005. V. 40. P. 367–375.

19. Методика вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: ДСТУ Б В.2.6–189:2013. – [Чинні від 2014-01-01] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2014. – 51 с. – (Державний стандарт України).

20. Енергетична ефективність будівель: ДСТУ Б А.2.2–12:2015. – [Чинні від 2015-01-01] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2015. – 145 с. – (Державний стандарт України).

21. Методика визначення енергетичної ефективності будівель. – [Чинні від 2018-07-11] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 43 с.

22. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. – [Чинні від 2011-11-01] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Державний стандарт України).

Додатки

Розрахунок заземлення

У відповідності з ПУЕ, всі металеві частини електроустановок, які в процесі роботи не мають з'єднання з струмопровідними частинами, але можуть попасти під напругу, повинні бути заземлені

Трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ на стороні 0,4 кВ мають глухозаземлену нейтраль. З'єднання обмоток цехових трансформаторів - Δ/Y з нулем. Струм замикання на землю 27 А. Для цехового обладнання використовується заземлення. Цехові підстанції отримують живлення від 2 кабелів, що прокладені в одній траншеї.

Грунт – чорнозем, другий кліматичний район.

Розрахунок зводиться до визначення вертикальних заземлювачів і довжини з'єднувальної полоси з розміщенням на плані.

Визначаємо норму на опір заземлення R_z^H .

Якщо заземлюючий пристрій використовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В та вище:

$$R_z \leq \frac{125}{I_z} = \frac{125}{27} = 4,63 \text{ Ом};$$

Згідно ПУЕ, так як сумарна потужність токоприймачів більш 100 кВА то R_z повинен бути не більше 4 Ом. Приймаємо $R_z = 4 \text{ Ом}$.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho_{табл} \cdot \psi = 220 \cdot 1,3 = 286 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

де $\rho_{табл}$ - табличне значення, для чорнозему $\rho_{табл} = 220 \text{ Ом}\cdot\text{м табл. 7.14 [21]}$; ψ - підвищуючий коефіцієнт, для України, для стержньових заземлювачів $\psi = 1,2 \dots 1,4$.

Опір одинарного вертикального заземлювача:

$$R_o = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) =$$

$$= 0.366 \frac{286}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{2.5} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 15,4 \text{ Ом};$$

де l – довжина заземлювача, приймаємо 5 м; d – діаметр заземлювача (приймаємо стержні діаметром 2,5 см).

$$t = h + \frac{l}{2} = 0.5 + \frac{5}{2} = 3 \text{ м};$$

де h – глибина прокладки полос (згідно ПУЕ – 0,5...0,8 м).

Приймаємо електроди прокладені по замкнутому контуру згідно плану і знаходимо орієнтовну кількість заземлювачів:

$$n_o = \frac{R_e}{R_3^H \cdot \eta_o} = \frac{15,4}{4.054} = 6.9 \approx 7 \text{ шт.}$$

Де η_o – коефіцієнт використання ряду заземлювачів, для $a/l=4/5=0.8$, $\eta_o=0,54$ по рис. 7.5[21].

Де $a=4$ м – відстань між електродами згідно ПУЕ.

Довжина горизонтальної з'єднувальної полоси:

$$l_n = 1.05a \cdot n = 1.05 \cdot 4 \cdot 7 = 29.4 \text{ м.}$$

Опір полоси з урахуванням екранування:

$$R_n = 0.366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{l_n \cdot \eta_n} \lg \frac{2l_n}{b \cdot n} = 0.366 \frac{286}{29.4 \cdot 0.51} \lg \frac{2 \cdot 29.5^2}{0.01 \cdot 7} = 28,38 \text{ Ом};$$

де η_n – коефіцієнт використання з'єднувальної полоси шириною $b = 10$ мм та товщиною 5 мм.

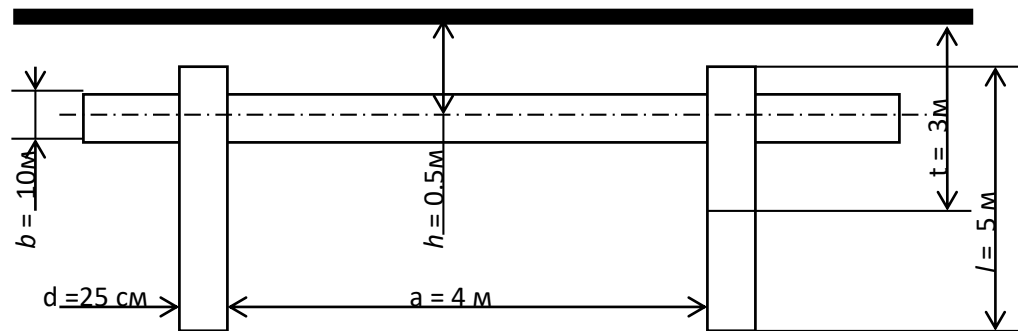


Рис. А.1. Схема прокладки заземлення

Необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням опору з'єднувальної полоси:

$$R_{mp} = \frac{R_n \cdot R_3^H}{R_n \cdot R_3^H - 4} = \frac{28,38 \cdot 4}{28,38 - 4} = 7,94 \text{ Ом.}$$

Остаточна кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_o}{R_{mp} \cdot \eta_o} = \frac{15,4}{7,94 \cdot 0,59} = 3,6 \approx 4 \text{ штук.}$$

Проводимо перевірку опору зземлювача і порівнюємо отримане значення з нормуємим:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{mp}} + \frac{1}{R_n}} = \frac{1}{\frac{1}{7,94} + \frac{1}{28,38}} = 3,98 \text{ Ом.}$$

$$3,98 < 4 \text{ Ом}$$

Розрахункове значення заземлювача R_z не перевищує його нормативне значення 4 Ом. Спроектований контур заземлення відповідає вимогам ПУЕ.

ФОРМУВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬ ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Енергетичний баланс України свідчить, що понад 30 % від загальної кількості енергії споживає житловий сектор, з них до 80 % йде на потреби опалення. Це, в першу чергу, пов'язане з низьким рівнем енергоефективності огорожувальних конструкцій житлових будівель, а також з незадовільним технічним станом інженерних мереж, внаслідок фізичного зношення та моральним старіння. До того ж, останнім часом спостерігається істотне коливання потреб населення в природному газі протягом сезону, з тенденцією до стрімкого збільшення обсягів газоспоживання. Така ситуація вимагає нагального пошуку науково обґрунтованих інженерних рішень, спрямованих на термомодернізацію існуючих будівель, яка б дозволила зменшити загальну кількість споживаної енергії при забезпеченні житлових норм. Розроблення та впровадження інноваційних заходів з підвищення рівня енергоефективності житлових будівель з урахуванням кліматичних, географічних, інфраструктурних та інших особливостей України, дозволить істотно скоротити споживання теплової енергії і підвищити енергетичну безпеку держави.

На сьогодні, дискусійними залишаються питання, пов'язані з альтернативами вибору термоізоляційних матеріалів, їх конструктивних параметрів та неоднозначністю впливу на теплотехнічні й енергетичні показники будівлі. Це обумовлює актуальність науково-інженерних

досліджень, спрямованих на виявлення та обґрунтування мінімально необхідної низки енергоощадних заходів для забезпечення прийняттого рівня енергоефективності типової будівлі.

Термічний опір більшості огорожуючих конструкцій житлових будівель 1960-1990 років забудови у 2-4 рази менший за нормативні вимоги [1]. Дослідження [2] підтверджують, що до 65 % теплової енергії втрачається через огорожувальні конструкції внаслідок недостатніх термозахисних властивостей, з них: через стіни, покриття та перекриття – до 70%, а через вікна та двері – близько 30%.

У роботі [2] обґрунтовано проектні та будівельно-технологічні рішення для підвищення енергоефективності будівель за рахунок одночасного утеплення фасадів та модернізації системи центрального опалення. Аналіз енергетичної ефективності конструктивних матеріалів для додаткової теплової ізоляції стін цегляних, панельних та крупноблочних житлових будівель показаний у [3]. Порівняння теплофізичних властивостей мінеральної вати та пінополістиролу, зміна питомих тепловтрат приміщення у разі утеплення окремої кімнати, розглянуті в [4]. Втім, невисвітленим залишився вплив термомодернізації всіх інших складових огорожуючих конструкцій.

У роботі [5] запропоновано метод поліоптимального визначення варіанту термомодернізації будівлі за двома критеріями – загальної вартості термомодернізації та енергетичного ефекту, проте, неврахованою залишилася низка важливих показників, наприклад, – питомих викидів парникових газів CO₂.

Дослідження у роботі [6] присвячені аналізу варіантів термомодернізації реального житлового будинку з точки зору оптимізації регулювання енергоспоживання, – визначено оптимальну товщину ізоляції стін та даху за показником чистої теперішньої вартості (*NPV*). Втім, технічні

аспекти термомодернізації в роботі [6] взагалі не розглянуто.

У [7] виявлено протиріччя в черговості впровадження енергоефективних заходів при їхньому ранжуванні за різними критеріями. Доведено, що ранжування заходів треба проводити за сукупністю техніко-економічних критеріїв із використанням методу експертних оцінок.

Аналізування джерел [2-7] показало їхню локальну спрямованість і підтвердило необхідність подальшого дослідження питань щодо комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій та диференціального впливу кожного окремого заходу на теплофізичні та енергетичні показники будівель. Це дозволить обґрунтовано виявляти оптимальний перелік впроваджуваних заходів в умовах обмеженості фінансів для забезпечення житлових норм та класу енергетичної ефективності "С" і вищий.

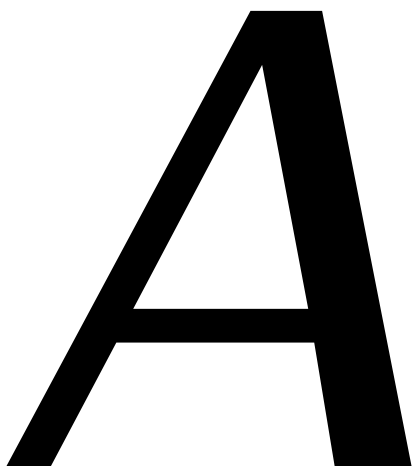
Метою роботи є дослідження варіантів термомодернізації огорожувальних конструкцій з обґрунтуванням оптимального складу енергоощадних заходів для досягнення максимальної енергоефективності будівель.

Об'єктом дослідження обрано типову 9-поверхову 4-під'їзду блочну житлову будівлю з неопалюваними горищем та технічним підпіллям. Прямокутна будівля зорієнтована фасадами на північ та південь. Геометричні параметри будівлі: загальна площа – 8626,7 м², загальний об'єм – 38160 м³, опалювальна площа –

t

опалювальний об'єм – 25091,6м³.

Теплофізичні параметри будівлі показано в табл. Б.1.



Таблиця Б.1 – Характеристики огорожувальних конструкцій будівлі

Вид огорожувальної конструкції	Опір теплопередачі, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт		Площа $A, \text{м}^2$
	існуюче значення	мінімальні вимоги	
Зовнішні стіни	1,103	3,3	4616,4
Суміщені перекриття	0,488	6	112,0
Перекриття неопалюваного горища	0,726	4,95	1011
Перекриття неопалюваного підвалу	1,47	3,75	1060
Вікна	0,408	0,75	1620,5
Зовнішні двері	0,217	0,6	29,94

Технічний стан огорожувальних конструкцій: зовнішні стіни будівлі виконані з керамзитобетонних блоків завтовшки 430 мм; загальна площа вікон становить 24 % від площі фасаду. Частина вікон дерев'яні (16 %), ПВХ 1-камерні і 2-камерні – по 42 %. Зовнішні входні двері – металеві, утеплені, тамбуровані. Зведений опір теплопередачі елементів огорожувальних конструкцій не відповідає мінімальним вимогам (табл. 1).

Аналізування результатів утеплення непрозорих огорожувальних конструкцій. Розрахунки термічного опору стін фасадів будівлі виконано для варіантів утеплення завтовшки 0,05; 0,1; 0,15 та 0,2 м за незмінних значень термоопорів інших елементів:

– плитами мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною: $\rho_0=75; 100; 125$ та 150 кг/м^3 ;

– плитами зі спіненого пінополістиролу густиною: $\rho_0=15; 25; 35; 50 \text{ кг/м}^3$;

– плитами з екструдованого пінополістиролу густиною: $\rho_0=30$ та 35 кг/м^3 .

Значення опору теплопередачі $R_{\Sigma HP}$ через елемент оболонки будівлі:

$$R_{\Sigma HP} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{n=1}^N \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (Б.1)$$

де α_B, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі з внутрішньої та зовнішньої сторін стіни; δ_k – товщина n -го шару, м; λ_k – теплопровідність n -го шару, Вт/(м·К).

Тоді, відповідно до (1), зведений опір теплопередачі крізь стіну із шаром утеплювача з мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною $\rho_0=75$ кг/м³ завтовшки $\delta=0,05$ м становитиме $R_{\Sigma HP1} = 2,028$ м²·К/Вт. У розрахунках прийнято: $\delta_1 = 0,4$ м – товщина керамзитобетону теплопровідністю $\lambda_1 = 0,41$ Вт/(м·К); $\delta_2 = 0,03$ м – товщина цементно-піщаної штукатурки з $\lambda_2 = 0,87$ Вт/(м·К); $\delta_3 = 0,05$ м – товщина шару утеплювача з мінеральної вати теплопровідністю $\lambda_3 = 0,047$ Вт/(м·К).

Результати розрахунків за (1) для інших типів утеплювача показано на рис. Б.1-3 (пунктиром позначено нормативний рівень опору R_{HP}).

Цікаво, що збільшення густини утеплювача впливає на термічний опір стін по різному – густина мінеральної вати на основі базальтового волокна та екструдованого пінополістиролу впливають протилежним чином до впливу спіненого пінополістиролу; тобто утеплювач з мінеральної вати або екструдованого пінополістиролу потрібно обирати з найменшою густиною ρ_0 , натомість, утеплювач зі спіненого пінополістиролу – з якнайбільшою ρ_0 .

Збільшення шару утеплювача однозначно підвищує термічний опір стін, товщина у 0,15 м гарантовано забезпечить нормативне значення термічного опору стін $R_{HP} \geq 3,3$ м²·К/Вт [1] за будь-якого утеплювача (див. рис. Б.1-3).

Необхідно наголосити на проблемі, яку створює "клаптикове" утеплення окремих квартир житлових будівель, причому, переважну

більшість його здійснюють утеплювачем завтовшки 0,05...0,1 м, що не забезпечує нормативного значення термічного опору стін, але створює «містки холоду», які внаслідок перепаду температур призводять до тріщин в конструкціях та викликають утворення конденсату.

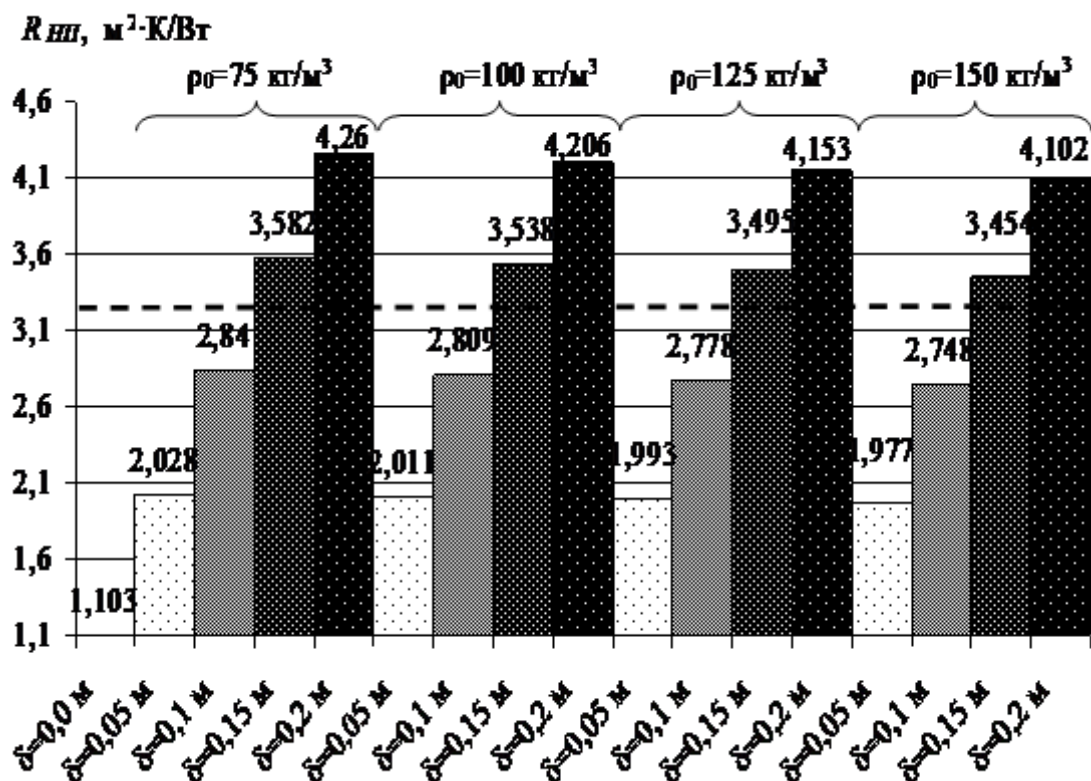


Рисунок Б.1 – Термічний опір стін для варіантів утеплення плитами мінеральної вати на основі базальтового волокна з $\rho_0=75; 100; 125; 150 \text{ кг/м}^3$ та $\delta=0,05, 0,1, 0,15$ та $0,2 \text{ м}$

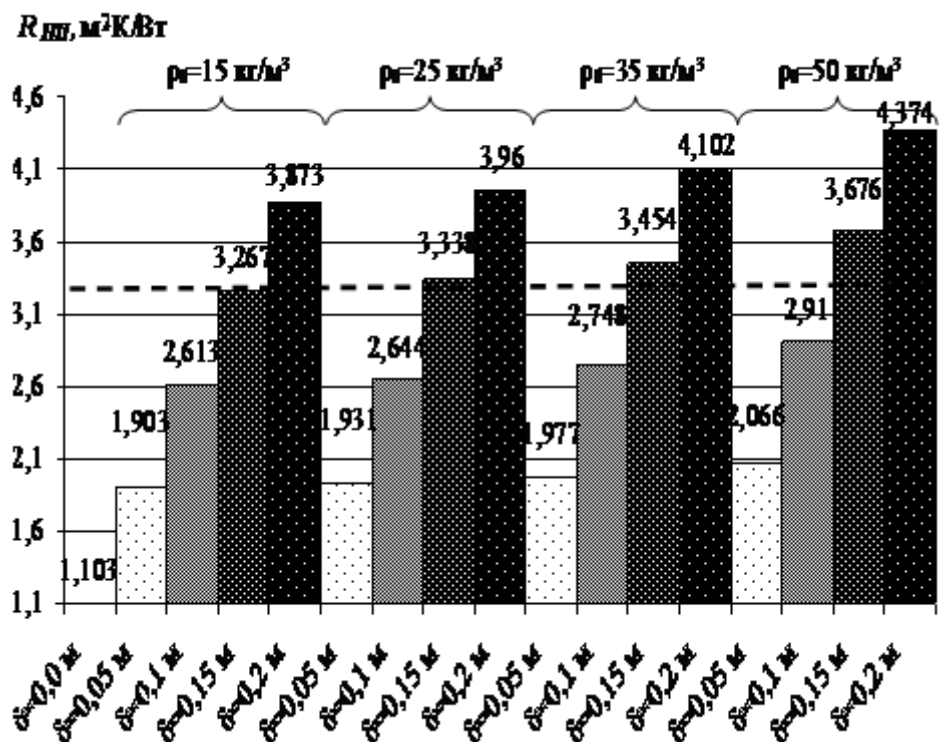


Рисунок Б.2 – Термічний опір стін для варіантів утеплення плитами зі спіненого пінополістиролу з $\rho_0=15; 25; 35; 50$ кг/м³ та $\delta=0,05, 0,1, 0,15$ та $0,2$ м

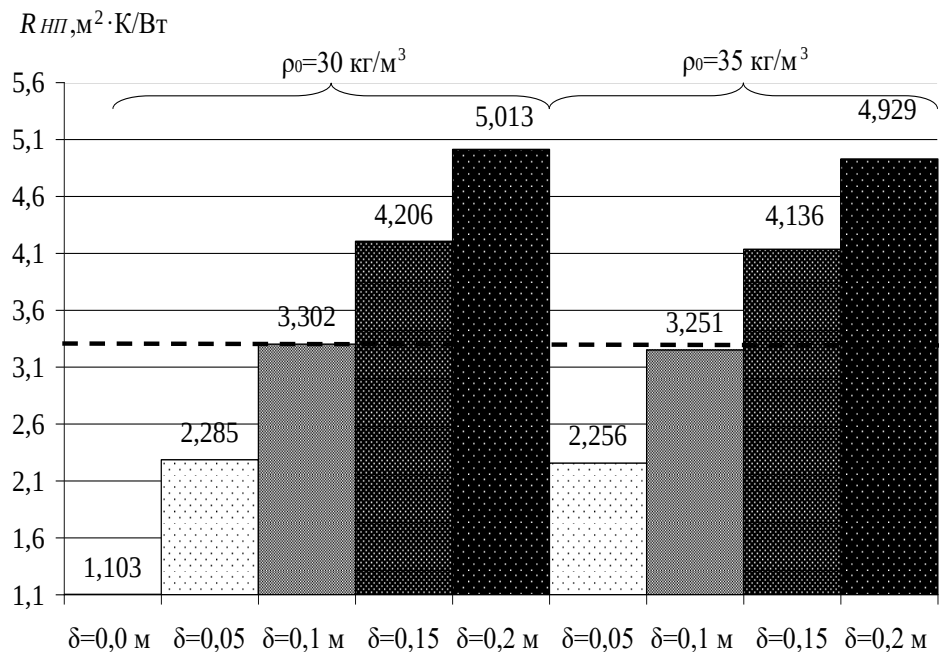


Рисунок Б.3 – Термічний опір стін для варіантів утеплення плитами з екструдованого пінополістиролу з густиною $\rho_0=30$ та 35 кг/м³ та завтовшки $0,05, 0,1, 0,15$ та $0,2$ м

До показників енергетичної ефективності будівлі належать: питоме енергоспоживання (EP) при опаленні, охолодженні, постачанні гарячої води, освітленні, вентиляції, первинна енергія та викиди парникових газів. Найбільш інтегральним енергетичним показником є питома енергопотреба (EA) на опалення, охолодження, та постачання гарячої води, тому, для порівняння обраних варіантів утеплення було розраховано EP та EA , кВт·год/м²:

$$EP = EP_{H.use} + EP_{C.use} + EP_{DHW.use} , \quad (Б.2)$$

де $EP_{H.use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні; $EP_{C.use}$ – при охолодженні; $EP_{DHW.use}$ – на гаряче водопостачання.

Графіки EP для 11 різних варіантів утеплення стін, за незмінного стану інших елементів огорожувальних конструкцій показані на рис. 4. Значення EP для різних типів теплоізоляції вишикувано по мірі їх зменшення. Графік енергоспоживання EP (1) пролягає вище за енергопотребу EA (2) на величину тепловтрат.

Видно, що найбільш ефективними є утеплення: зі спіненого пінополістиролу завтовшки $\delta=0,15$ м з максимальною $\rho_0=50$ кг/м³, з мінеральної вати $\delta=0,15$ м з мінімальною $\rho_0=75$ кг/м³; або екструдованого пінополістиролу $\delta=0,1$ м з $\rho_0=30$ кг/м³.

Характерною особливістю теплоізоляційних матеріалів є відносна близькість значень опорів теплопередачі для різних матеріалів та їх густин за однакової товщини. Наприклад, мінеральна вата з ρ_0 більшою на 77 % за ρ_0 спіненого пінополістиролу має однакові з ним термічні властивості. У всіх випадках мінімальна товщина шару утеплювача має бути $\delta \geq 0,15$ м, і

лише екструдований пінополістирол $\rho_0=30 \text{ кг/м}^3$ дозволяє використовувати $\delta = 0,1 \text{ м}$.

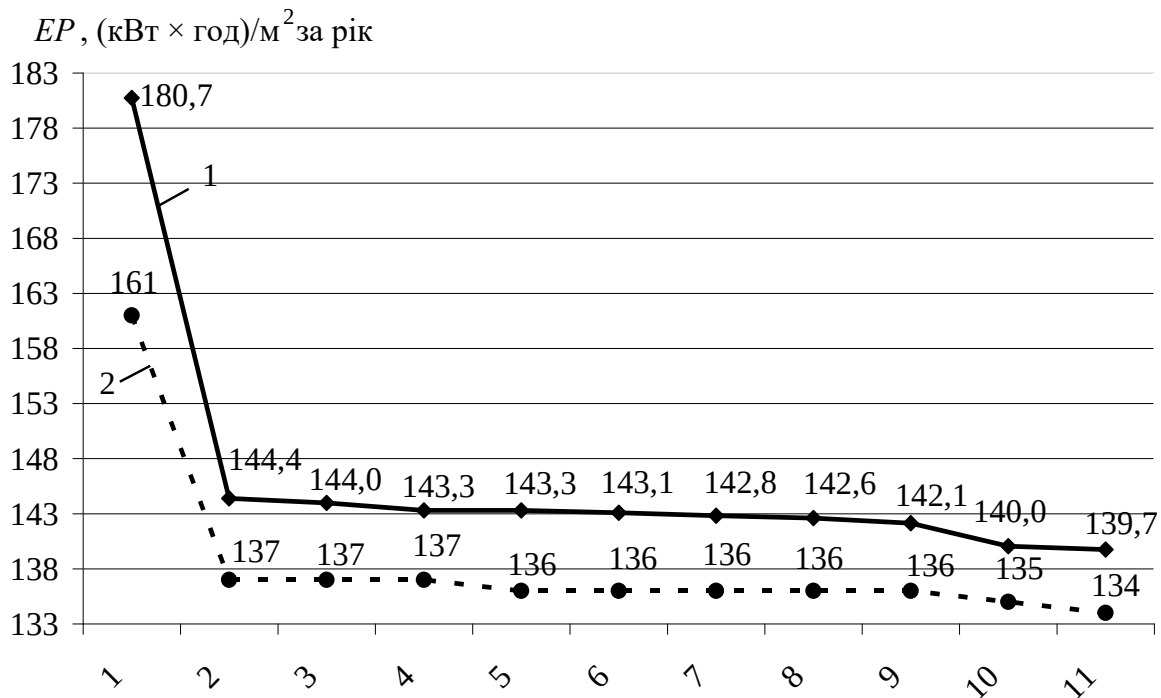


Рисунок Б.4 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від поточного стану стін будівлі: 1 – початковий стан; 2, 3, 4, 9 – утеплення шаром спіненого пінополістиролу завтовшки $\delta=0,15 \text{ м}$ відповідно з густинами 15; 25; 35 та 50 кг/м^3 ; 5, 6, 7, 8 – утеплення шаром мінеральної вати $\delta=0,15 \text{ м}$ з густинами 150; 125; 100; 75 кг/м^3 ; 10 – утеплюючий шар з екструдованого пінополістиролу $\delta=0,1 \text{ м}$ густиною 30 кг/м^3 ; 11 – $\delta=0,15 \text{ м}$ густиною 35 кг/м^3

Результати досліджень доводять, що збільшення термічного опору непрозорих огорожувальних конструкцій лише на 1 % (з 3,267 до 3,302 $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$) дозволяє зменшити EA будівлі на 14,9-16,8%, а EP – на 20-23%. Завдяки цьому можна стверджувати, що у першу чергу необхідно проводити термомодернізацію стін фасадів будівлі (за умови $K_{\text{скління}} \leq 0,25$).

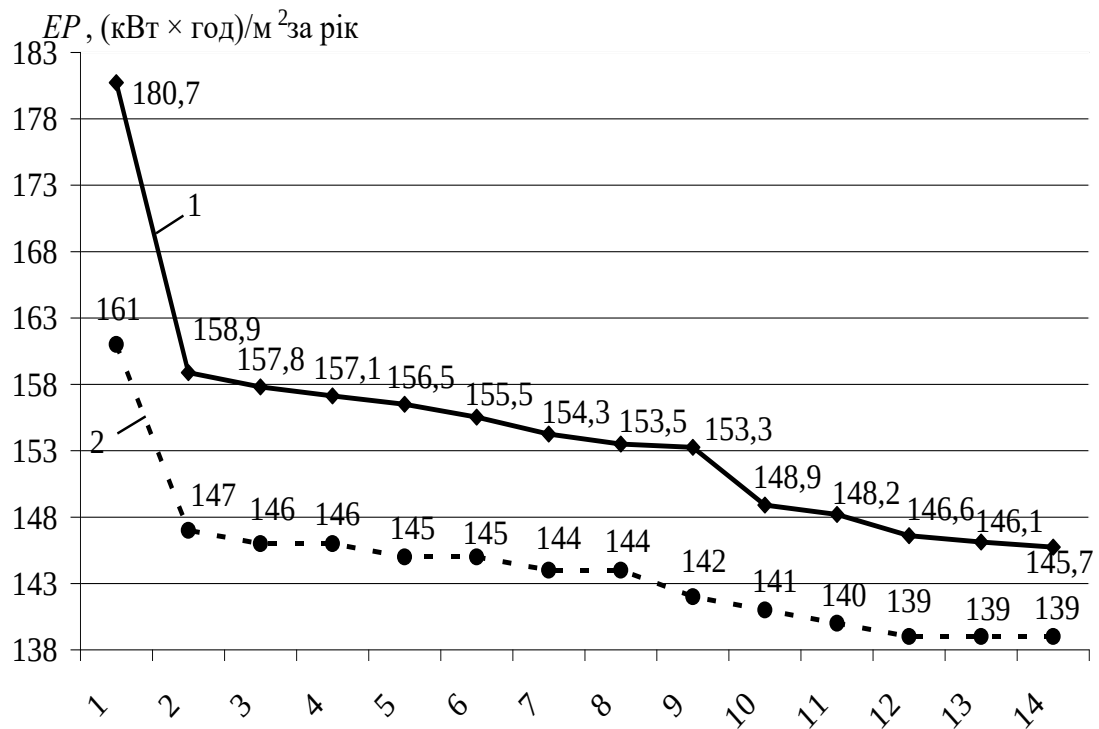


Рисунок Б.5 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від варіантів вікон: 1 – початковий стан; для двокамерних ПВХ типу: 2 – 4М1-12-4М1-12-4і (газ Kr 100%); 6 – 4М1-10-4М1-10-4і (гази Ar 50%, Kr 50%); 7 – таке ж (Ar 75%, Kr 25%); 9 – Ar 100%; 8 – 4і-10-4М1-10-4і (з повітрям); 10 – Ar 25%, Kr 75%; 11 – Ar 50%, Kr 50%; 12 – Ar 75%, Kr 25%; 14 – Ar 100%; 3 – 4М1-10-4М1-10-4К (гази Ar 25%, Kr 75%); 4 – таке ж (Ar 50%, Kr 50%); 5 – Ar 75%, Kr 25%; 13 – Ar 100%

Аналізування результатів заміни світлопрозорих огорожувальних конструкцій. На разі, близько чверті вікон будівлі (23 %) мають нормативний термічний опір. Залежність EP для 14 варіантів заміни неенергоєфективних вікон показано на рис. Б.5.

З порівняння варіантів видно, що, найбільш ефективними є двокамерні ПВХ вікна типу: 4М1-10-4М1-10-4К (газ Ar 100%) і 4і-10-4М1-10-4і (Ar 100%); а найгіршим є вікно типу 4М1-12-4М1-12-4і (газ Kr 100%),

яке поступається навіть вікну без газонаповнення типу 4i-10-4M1-10-4i (з повітрям), у разі подвійного i-покриття.

Відзначимо, що збільшення термічного опору вікон на 43 % (з 0,77 до 1,35 м²·К/Вт) дозволяє зменшити *EA* будівлі на 8,7-13,7%, а *EP* – на 12,1-19,4%.

Аналізування результатів утеплення горищного перекриття. Графіки зміни питомої енергопотреби та енергоспоживання при опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні для 7 варіантів утеплення технічного поверху показано на рис. 6.

Утеплення горищного перекриття дозволяє зменшити *EA* будівлі на 14,9-16,8%, а *EP* – на 7,6%. Зазначимо, що вплив теплофізичних властивостей різних утеплювачів нівелюється, а варіювання термічного опору шару утеплювача (від 5,58 до 6,13 м²·К/Вт) не дає очікуваного ефекту. Це обумовлено замалою площею огорожувальної конструкції та низькою часткою у структурі теплових втрат будівлі.

Аналізування результатів утеплення перекриття неопалюваного підвалу. Результати утеплення перекриття неопалюваного підвалу різними типами утеплювача показані на рис. 7. Збільшення термічного опору утеплення перекриття підвалу дозволяє зменшити *EP* на 0,1 %. Ефективність всіх варіантів утеплення є практично однаковою, втім, кращим є екструдований пінополістирол з $\rho_0=30$ кг/м³.

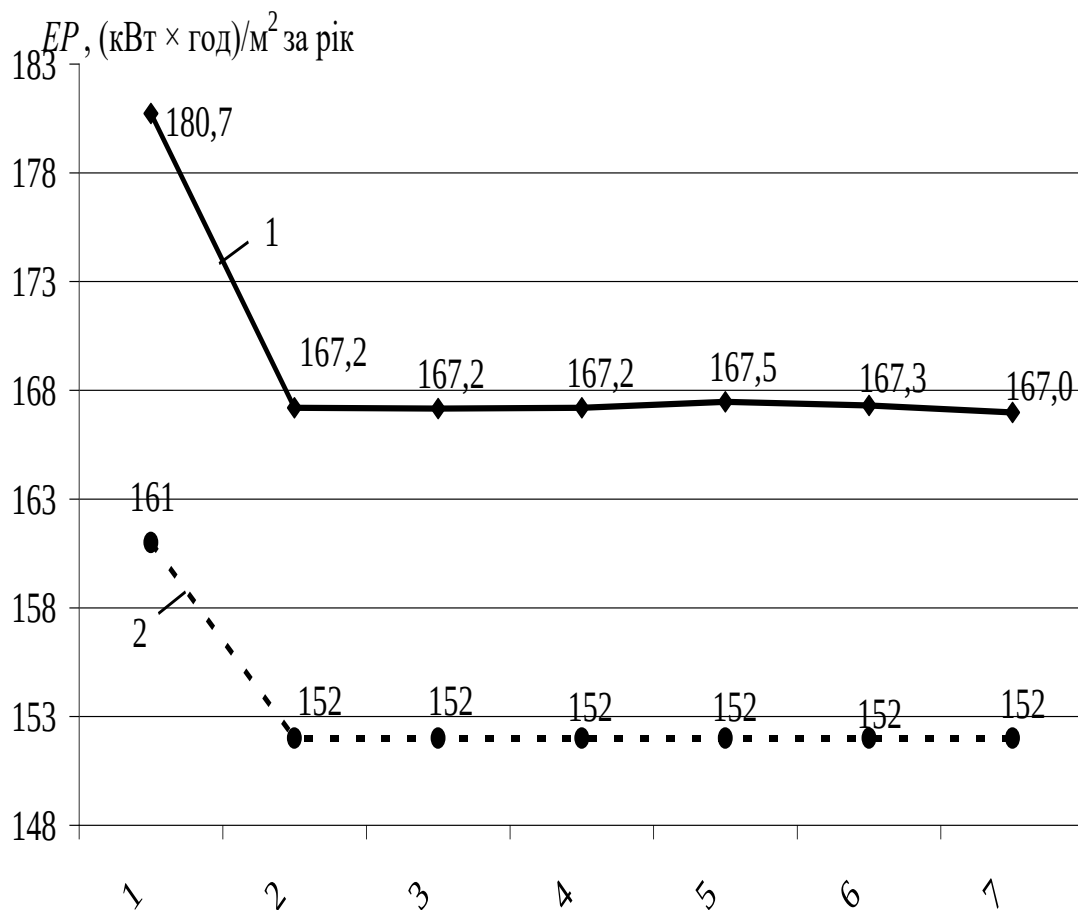


Рисунок Б.6 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від варіантів утеплення горища: 1 – початковий стан; 2, 4 – мінеральною ватою $\delta=0,25$ м з $\rho_0=30$ та 40 кг/м^3 відповідно; 3 – спіненим пінополістиролом $\delta=0,25$ м та $\rho_0=35 \text{ кг/м}^3$; 5 – спіненим пінополістиролом $\delta=0,2$ м та $\rho_0=50 \text{ кг/м}^3$; 6, 7 – екструдованим пінополістиролом $\delta=0,2$ м з $\rho_0=30$ та 35 кг/м^3

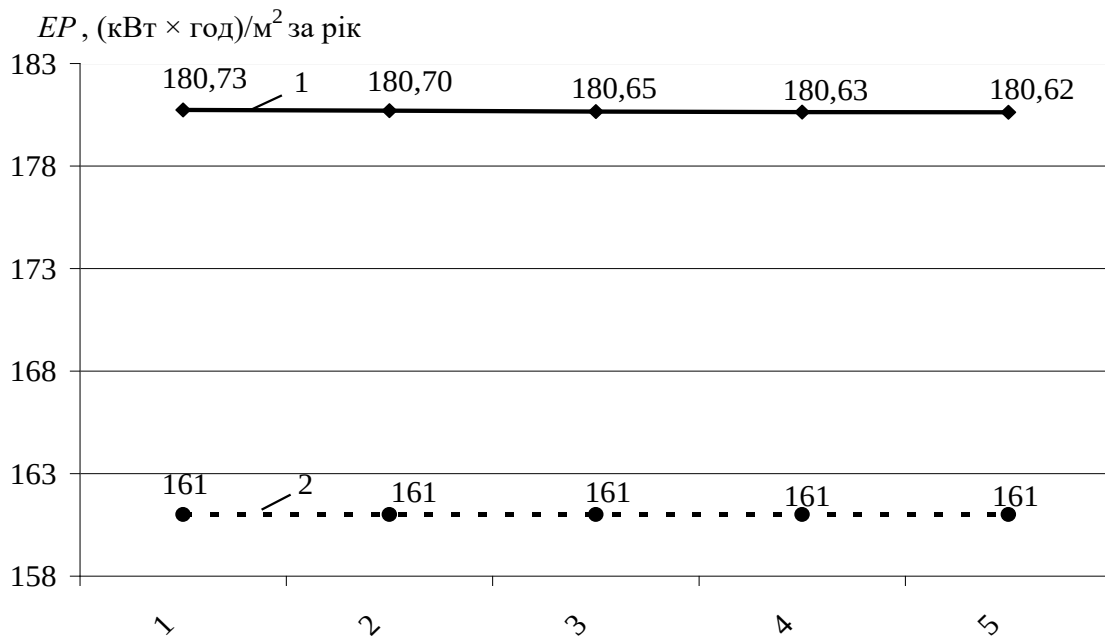


Рисунок Б.7 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від варіантів утеплення перекриття неопалюваного підвалу: 1 – початковий стан будівлі; для утеплювачів завтовшки $\delta=0,1$ м: 2, 3 – з мінеральної вати відповідно з густиною $\rho_0=30$ та 40 кг/м^3 ; 4, 5 – з екструдованого пінополістиролу з $\rho_0=35$ та 30 кг/м^3

Аналізування результатів комплексної термомодернізації будівлі. Вибір оптимальної низки заходів у складі комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій здійснено шляхом їх ранжування із застосуванням методу експертних оцінок. Рейтинг впроваджуваних заходів оцінювали 10 експертів (фахівців з енергоаудиту), які визначали пріоритет заходу за наступними критеріями:

- техніко-енергетичний (вплив на питоме енергоспоживання й клас енергоефективності будівлі);
- фінансовий (вартість впровадження заходу);
- екологічний (безпечність та зменшення емісії CO_2).

Степінь узгодженості думок експертів перевіряли із застосуванням статистичного оброблення результатів. Розраховано коефіцієнти: конкордації W і Пірсона (розрахунковий $\chi^2_{розр} = W \cdot m \cdot (k-1)$, де $m=10$ – кількість експертів, k – число розглянутих варіантів у кожному із заходів (наприклад, для утеплення стін $k=11$) та критичний $\chi^2_{кр}=16,9$ для 5 % рівня значимості та кількості степенів свободи $\gamma = k-1=10$), які підтвердили наявність узгодженості думок експертів, оскільки у всіх випадках ($W=0,6444...0,9167$, $\chi^2_{розр} = 33,411...58,956$) $\chi^2_{розр} > \chi^2_{кр}$.

Отже, для комплексної термомодернізації обрано наступний варіант:

- 1) утеплення стін мінеральною ватою з $\rho_0=75 \text{ кг/м}^3$, $\delta=0,15 \text{ м}$;
- 2) заміна вікон на двокамерні ПВХ типу 4i-10-4М1-10-4i (газ Ar 100%);
- 3) утеплення технічного поверху мінеральною ватою з $\rho_0=40 \text{ кг/м}^3$, $\delta=0,25 \text{ м}$;
- 4) утеплення перекриття неопалюваного підвалу екструдованим пінополістиролом густиною $\rho_0=30 \text{ кг/м}^3$ завтовшки $\delta=0,1 \text{ м}$.

Визначимо теплофізичні та енергетичні показники будівлі до та після комплексної термомодернізації (табл. Б.2, Б.3).

Клас енергетичної ефективності будівель визначали за показником загального питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води ($EP=97,68 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$): для класу "D" – $87 < EP_D < 109$ [1].

Таблиця Б.8 – Теплотехнічні та геометричні характеристики огорожувальних конструкцій до та після комплексної термомодернізації

№ з/п	Вид огорожувальної конструкції	Значення опору теплопередачі, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$		
		До модернізації	Після термомодернізації	Мінімальні вимоги
1	Зовнішні стіни	1,103	3,57	3,3
2	Горищне перекриття	0,726	5,678	4,95
3	Перекриття підвалу	1,47	4,74	3,75
4	Вікна	0,408	1,112	0,75

Встановлено, що запропонований комплекс заходів дозволить зменшити EA на 32,9 %, EP – на 45,9 %, споживання первинної енергії – на 34,3 % та викиди парникових газів – на 34,7 %, підвищивши клас енергетичної ефективності з G до D .

Аналізування різних варіантів термомодернізації огорожувальних конструкцій будівлі (табл. Б.9) показало, що найбільшого заощадження теплової енергії (51%) можна досягти шляхом саме комплексної термомодернізації.

Таблиця Б.9 – Енергетичні показники будівлі для 6 варіантів термомодернізації

№ з/п	Варіант модернізації огорожувальних конструкцій	Витрати теплоти на опалення будинку, кВт·год	Споживання енергії на опалення/охолодження та гарячу воду, кВт·год/м ³	Клас енергоефективності	Питомі викиди парникових газів, кг/м ² за рік	Питоме споживання первинної енергії, кВт·г/м ²
1	Вихідний стан	1 326 274	180,7	<i>G</i>	62,3	314,5
2	Утеплення стін	1 015 291	142,6	<i>F</i>	52,4	265
3	Заміна вікон	1 067 984	148,9	<i>F</i>	54,1	273,2
4	Утеплення горищ	1 212 763	167,2	<i>G</i>	58,8	296,9
5	Утеплення підвалу	1 325 340	180,6	<i>G</i>	62,3	314,5
6	Комплексна термомодернізація будівлі	647 950	97,7	<i>D</i>	40,7	206,6

Впровадження енергоефективних вікон дозволить зменшити *EP* на 19,5 %. Заходи зі збільшення опору теплопередачі стін табл. Б.4) здатні забезпечити до 24 % заощадження тепла. Замалу економію спостерігаємо у разі утеплення перекриття неопалювального горища (8,6 %) та неопалювального підвалу (0,1 %).

Встановлено, що за нормативних значень опорів теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій, можна досягти класу F в результаті утеплення лише стін або ж заміни вікон на енергоефективні, максимально ж досяжного класу D енергоефективності будівлі – тільки у разі комплексної модернізації.

Досягти рекомендованого класу "C" шляхом подальшого збільшення термічних опорів огорожувальних конструкцій не можливо, – необхідно також модернізувати інженерні системи будівлі.

Розрахунок заходів з підвищення енергоефективності

Захід №1. Встановлення рефлекторів з теплоізоляційного матеріалу за радіаторами. З метою скорочення неефективного використання теплової енергії від радіаторів необхідно встановити рефлектори з теплоізоляційного матеріалу, що підвищує температуру у приміщенні на 2–3 градуси.

Опис можливості енергозбереження

Радіатори розміщені в підвіконних нішах. Таке розміщення призводить до втрат тепла (до 10 %), яке не конвертується в приміщення, а витрачається на нагрів огорожуючих конструкцій. З метою скорочення неефективного використання теплової енергії радіаторів необхідно перенаправити потік теплого повітря на нагрів приміщення.

Встановлення теплозахисного екрану дозволить підвищити тепловіддачу радіатора до 20 %, при цьому витрати на опалення приміщення зменшуються на 5-10 %. Пропонуємо встановити за радіаторами опалення рефлектори. Теплопровідність рефлектора, що складається з шарів спіненого поліетилену та фольги складає $\lambda_{сп} = 0,044 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ та $\lambda_{сп} = 220 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Розміри радіаторів в середньому складають $A \times B = 0,8 \cdot 1,2 = 0,96 \text{ м}^2$, кількість радіаторів 296 шт., тоді загальна площа радіаторів $F_o = 296 \cdot 0,96 = 284,2 \text{ м}^2$.

Загальна площа стін за радіаторами становить:

$F_c = 284,2 \text{ м}^2$. Тоді річні втрати тепла через стіни становлять:

$$Q_{річ} = F_c \cdot K_c \cdot (t_b - t_3) \cdot m \cdot n \cdot 194 \text{ днів} \cdot 24 \text{ год} =$$

$$= 284,2 \cdot 1,168 \cdot (21 - 1,25) \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 194 \cdot 24 = 32050609,07 \text{ Вт} \cdot \text{год/рік};$$

де $K_c = 1,168 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі через стіну без встановлення рефлекторів; t_3 – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період.

$$Q_{cm} = \frac{32050609,07 \cdot 0,00086}{1000} = 27,56 \text{ Гкал}$$

Термічний опір ділянки стіни з рефлектором складає

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{\text{ф}}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{\text{сп}}} + \frac{1}{\alpha_3} = \\ &= \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,76} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,00005}{220} + \frac{0,008}{0,044} + \frac{1}{23} = 1,04 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \end{aligned}$$

де δ_1 – товщина шару силікатної цегли, $\delta_1 = 0,56$ м; λ_{1p} – теплопровідність силікатної цегли на цементно-піщаному розчині, $\lambda_{1p} = 0,76$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина шару піщано-вапняної штукатурки, $\delta_2 = 0,02$ м; λ_{2p} – теплопровідність піщано-вапняної штукатурки, $\lambda_{2p} = 0,7$ Вт/(м·К); δ_3 – товщина шару фольги, $\delta_3 = 0,00005$ м; δ_4 – товщина шару спіненого поліетилену, $\delta_4 = 0,008$ м; $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_3 = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої та зовнішньої сторони будівлі.

Коефіцієнт теплопередачі ділянки стіни з рефлектором:

$$K'_c = \frac{1}{R_c} = \frac{1}{1,04} = 0,96 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

відповідно, річні втрати тепла складуть:

$$\begin{aligned} Q'_{\text{річ}} &= F_c \cdot K'_c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot m \cdot n \cdot 194 \text{ днів} \cdot 24 \text{ год} = \\ &= 284,2 \cdot 0,96 \cdot (21 - 1,25) \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 194 \cdot 24 = 26342966,36 \text{ Вт} \cdot \text{год}; \end{aligned}$$

$$Q_{cm} = \frac{26342966,36 \cdot 0,00086}{1000} = 22,6 \text{ Гкал/рік}$$

Економія теплової енергії за рік за рахунок теплопередачі складе:

$$\Delta E_1 = Q_{\text{річ}} - Q'_{\text{річ}} = 27,6 - 22,6 = 5 \text{ Гкал /рік.}$$

Тепловий потік, що передається поверхні стін шляхом випромінювання, складає:

$$Q_{\text{випр}} = C_s \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right) \cdot F_0,$$

де $C_s = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\varepsilon_1^{-1} + \varepsilon_2^{-1} - 1}$ - приведений ступінь чорноти. Ступінь чорноти радіатора (пофарбовано у світлий колір) 0,1, ступінь чорноти поверхні стіни – 0,2, ступінь чорноти рефлектора 0,01.

Тоді до впровадження заходу:

$$\varepsilon_{np1} = 1/(0,1^{-1} + 0,2^{-1} - 1) = 0,0714;$$

після впровадження:

$$\varepsilon_{np2} = 1/(0,1^{-1} + 0,01^{-1} - 1) = 0,0092.$$

Розрахункова температура радіатора $T_1 = 54^0 \text{ C} = 327 \text{ К}$, стіни $T_2 = 20^0 \text{ C} = 293 \text{ К}$.

Теплові втрати на випромінювання до і після заходу:

$$Q_{\text{випр1}} = 5,7 \cdot 0,0714 \cdot \left(\left(\frac{327}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right) \cdot 284,2 = 4700,3$$

$$Q_{\text{випр2}} = 5,7 \cdot 0,0092 \cdot \left(\left(\frac{327}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right) \cdot 284,2 = 605,6 \text{ Вт}$$

Економія теплового потоку на випромінення:

$$\Delta Q = Q_{\text{випр1}} - Q_{\text{випр2}} = 4700,3 - 605,6 = 4094,7 \text{ Вт} = 0,0035 \text{ Гкал/год.}$$

Економія теплової енергії за рік за рахунок зменшення випромінювання:

$$\Delta E_2 = (Q_1 - Q_2) \cdot 24 \cdot 194 = 0,0035 \cdot 24 \cdot 194 = 16,3 \text{ Гкал/рік.}$$

Тоді сумарна економія теплової енергії за рік складе:

$$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 = 5 + 16,3 = 21,3 \text{ Гкал/рік.}$$

Економія коштів складатиме:

Тариф на теплову енергію, що діє з 1 квітня 2015 на теплову енергію для бюджетних установ складає 1834 за 1 Гкал

$$\Delta C = \Delta E \cdot C_v = 21,3 \cdot 1834 = 39064 \text{ грн.}$$

Витрати на введення в експлуатацію:

Вартість одного метра тепловідбивної плівки (ширина 0,8 м) становить 50 грн (за погонний метр). Монтажні роботи складають 4865 грн (50 грн*139 вікон). Клеюча суміш «Рідке скло Bau Gut» 5 кг – 20 банок загальною вартістю 2440 грн.

Тобто, капіталовкладення при впровадженні заходу складуть:

$$K_{\Sigma} = F_c \cdot K_{\text{реф}} + n \cdot K_m + K_{\text{см}} = 284,2 \cdot 50 + 296 \cdot 50 + 2440 = 31450 \text{ тис.}$$

грн.

Термін окупності:

$$C_{\text{ок}} = K_{\Sigma} / \Delta C = 31450 / 39064 = 0,81 \text{ роки.}$$

Висновок по ЕЕЗ №1. Капіталовкладення на обклеювання тепловідбивної плівки за радіаторами опалення становить – 31450 грн. Сумарна економія теплової енергії за рік складе – 39064 грн/рік.

Строк окупності даного заходу – 0,81 рік.

Захід 2. Утеплення фасаду (зовнішніх стін)

Опис можливості енергозбереження. Середній коефіцієнт теплопередачі існуючих стін – 1,166 Вт/(м²*К), значно перевищує розрахунковий нормативний коефіцієнт теплопередачі 0,75 Вт/(м²*К). Нормативний коефіцієнт теплопередачі визначено відповідно ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель».

Додаткова тепла ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі. В якості утеплювача пропонуємо використання негорючих теплоізоляційних плит на базальто-волокнистій основі завтовшки 100 мм. Технологія виконання – скріплена ізоляція.

Загальна площа, що потребує утеплення – 2656 м².

Термічний опір у разі впровадження теплової ізоляції:

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{4p}} + \frac{1}{\alpha_z} = \\ &= \frac{1}{8,7} + \frac{0,56}{0,76} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,1}{0,054} + \frac{0,005}{0,81} + \frac{1}{23} = 2,71 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \end{aligned}$$

де δ_1 – товщина шару силікатної цегли, $\delta_1 = 0,51$ м; λ_{1p} – теплопровідність

силікатної цегли на цементно-піщаному розчині, $\lambda_{1p} = 0,76 \text{ Вт/(м·К)}$; δ_2 – товщина шару піщано-вапняної штукатурки, $\delta_2 = 0,02 \text{ м}$; λ_{2p} – теплопровідність піщано-вапняної штукатурки, $\lambda_{2p} = 0,93 \text{ Вт/(м·К)}$; δ_3 – товщина шару теплоізоляційних плит, $\delta_3 = 0,1 \text{ м}$; λ_{3p} – теплопровідність теплоізоляційних плит, $\lambda_{3p} = 0,054 \text{ Вт/(м·К)}$; δ_4 – товщина шару цементно-піщаної штукатурки, $\delta_4 = 0,005 \text{ м}$; λ_{4p} – теплопровідність цементно-піщаної штукатурки, $\lambda_{4p} = 0,81 \text{ Вт/(м·К)}$; $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $\alpha_z = 23 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторони будівлі.

Втрати тепла через стіни до модернізації:

$$Q_{c_dm} = \frac{1}{R_c} \cdot F_c \cdot (t_e - t_n) \cdot m \cdot n = \frac{1}{0,86} \cdot 2656 \cdot (22 - 1,25) \cdot 1,1 \cdot 1 = 67094 \text{ Вт}.$$

$$Q_{c_dm} = \frac{67094 \cdot 0,00086}{1000} = 0,0577 \text{ Гкал}$$

Втрати тепла через стіни у разі модернізації:

$$Q_{c_m} = \frac{1}{R_c} \cdot F_c \cdot (t_e - t_n) \cdot m \cdot n = \frac{1}{2,71} \cdot 2656 \cdot (22 - 1,25) \cdot 1,1 \cdot 1 = 21292 \text{ Вт}.$$

$$Q_{c_pm} = \frac{21292 \cdot 0,00086}{1000} = 0,018 \text{ Гкал}$$

Вартість 1 Гкал = 1567,65 грн.

Вартість тепла, що втрачається через стіни до модернізації:

$$C_{c1} = Q_{c_dm} \cdot 24 \text{ год} \cdot 194 \text{ дн} = 0,0577 \cdot 1834 \cdot 24 \cdot 194 = 492706,3 \text{ грн},$$

після:

$$C_{c2} = Q_{c_m} \cdot 24 \text{ год} \cdot 194 \text{ дн.} = 0,018 \cdot 1834 \cdot 24 \cdot 194 = 153703,8 \text{ грн.}$$

Капіталовкладення (орієнтовно) у разі впровадженні заходу складуть:

Вартість 1 м² базальтової вати Rockwool Fasrock, завтовшки 100 мм становить $K_{\text{утепл}} = 155$ грн. Вартість робіт $K_m = 150$ грн/м². Для монтажу та формування фасаду (фасадного декору) необхідні додаткові витрати у розмірі 25% від вартості базальтової вати (дюбелі фасадні та монтажні, скло-сітку, фарбу ґрунтувальну, клейову суміш, декоративну штукатурку полімер-цементну, фарбу акрилову).

$$K_{\Sigma} = F_c \cdot (1,25K_{\text{утепл}} + K_m) = 2656(1,25 \cdot 155 + 150) = 913000 \text{ грн.}$$

Строк окупності ЕЕЗ №1:

$$C_{\text{ок}} = K_{\Sigma} / (C_{c1} - C_{c2}) = 913000 / (492706 - 153703,8) = 2,69 \text{ року;}$$

Висновок по ЕЕЗ №2. Капіталовкладення по утепленню стін НВО негорючих теплоізоляційних плит на базальто-волокнистій основі завтовшки 100 мм становить – 913000 грн. Загальна економія споживання теплової енергії по будівлі складає – 339002 грн. на рік. Термін окупності утеплення стін – 2,69 року.

Захід 3. Утеплення суміщеного перекриття

Опис можливості енергозбереження. Середній коефіцієнт теплопередачі суміщеного перекриття над другим поверхом складає 2,81 Вт/(м²·К), що значно перевищує розрахунковий нормативний коефіцієнт

теплопередачі – 0,233 Вт/(м²·К). Нормативний коефіцієнт теплопередачі визначено відповідно ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель».

Додаткова тепла ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати перекриття тепла через горищні перекриття. В якості утеплювача пропонуємо використання плит з базальтової мінеральної вати Rockwool Fasrock, щільністю 135 кг/м³ завтовшки 200 мм. Загальна площа, що потребує утеплення – 192 м².

Термічний опір до санації

$$R_{нк1} = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_z} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,25}{1,86} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{1}{23} = 0,355 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_1 – товщина шару бетонної плити на щебні з природнього каменю, $\delta_1 = 0,25$ м; λ_1 – теплопровідність бетонної плити, $\lambda_1 = 1,86$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина шару цементно-піщаної стяжки, $\delta_2 = 0,05$ м; λ_2 – теплопровідність цементно-піщаної стяжки, $\lambda_2 = 0,81$ Вт/(м·К); $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_z = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторони даху.

Термічний опір неопалювального горища після санації:

$$R_{нк2} = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{1}{\alpha_z} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,25}{1,86} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,2}{0,054} + \frac{1}{23} = 4,38 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

δ_3 – товщина шару теплоізоляційних плит, $\delta_3 = 0,2$ м; λ_{3p} – теплопровідність теплоізоляційних плит, $\lambda_{3p} = 0,054$ Вт/(м·К); $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_z = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторони будівлі.

Втрати тепла через стіни до модернізації

$$Q_c = \frac{1}{R_c} \cdot F_c \cdot (t_g - t_n) \cdot m \cdot n = \frac{1}{0,355} \cdot 192 \cdot (22 - 1,25) \cdot 1,1 \cdot 1 = 11750 \text{ Вт.}$$

$$Q_{c_дм} = \frac{11750 \cdot 0,00086}{1000} = 0,01 \text{ Гкал}$$

Втрати тепла через стіни у разі модернізації

$$Q_c = \frac{1}{R_c} \cdot F_c \cdot (t_g - t_n) \cdot m \cdot n = \frac{1}{4,38} \cdot 192 \cdot (22 - 1,25) \cdot 1,1 \cdot 1 = 952 \text{ Вт.}$$

$$Q_{c_пм} = \frac{952 \cdot 0,00086}{1000} = 0,00082 \text{ Гкал}$$

Вартість 1 Гкал = 1834 грн.

Вартість тепла, що втрачається через стіни до модернізації:

$$C_{c1} = Q_{c_дм} \cdot 24 \text{ год} \cdot 194 \text{ дн.} = 0,01 \cdot 1834 \cdot 24 \cdot 194 = 85391 \text{ грн.},$$

після

$$C_{c2} = Q_{c_пм} \cdot 24 \text{ год} \cdot 194 \text{ дн.} = 0,00082 \cdot 1834 \cdot 24 \cdot 194 = 7002 \text{ грн.}$$

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні заходу складуть:

Вартість негорючих теплоізоляційних базальто-волокнистих плит Rockwool Fasrock, $K_{\text{утепл}} = 130 \text{ грн/м}^2$;

Вартість скловолокна (армована основа при штукатурних роботах, 90 г/м², 50 м² в рулоні) $K_{\text{скв}} = 6,6 \text{ грн/м}^2$;

Суміш для створення армуючого захисного шару (Силтек Т-87 - 134

грн/мішок, 25 кг у мішку), - $K_{ст} = 9$ грн/м²;

Вартість монтажних робіт $K_m = 100$ грн/м²

$$K_{\Sigma} = F_c \cdot (K_{утепл} + K_{скв} + K_{ст} + K_m) = 192 (130 + 6,6 + 9 + 100) = 47155,2 \text{ грн.}$$

Термін окупності ЕЕЗ №3:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / (C_{c1} - C_{c2}) = 47155,2 / (85391 - 7002) = 0,6 \text{ року};$$

Висновок по ЕЕЗ №3. Капіталовкладення по утепленню горищного перекриття II поверху НВО негорючих теплоізоляційних плит на базальто-волокнистій основі завтовшки 200 мм становить – 47155,2 грн. Загальна економія споживання теплової енергії по будівлі складає – 78389 грн. на рік. Термін окупності утеплення стін – 0,6 року.

Захід 4. Утеплення перекриття неопалювального горища

Опис можливості енергозбереження. Середній коефіцієнт теплопередачі неопалювального горища над другим поверхом складає 2,81 Вт/(м²·К), що значно перевищує розрахунковий нормативний коефіцієнт теплопередачі – 0,202 Вт/(м²·К). Нормативний коефіцієнт теплопередачі визначено відповідно ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель».

При реконструкції даху з холодним горищем достатньо теплоізолювати тільки перекриття. Влаштування перекриття горища необхідно здійснювати з урахуванням вимог ДБН В.2.6-14-97.

В якості утеплювача пропонуємо використання плит екструдованого пінополістиролу *PENOBORD* завтовшки 150 мм, щільністю 30 кг/м³, клас горючості Г1, коефіцієнт теплопередачі: 0,036 Вт/(м²·К).

Загальна площа, що потребує утеплення $F_{пк\ хг} = 1183$ м².

Термічний опір покриття до модернізації:

$$R_{nk} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,25}{1,86} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{1}{23} = 0,355 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_1 – товщина шару бетонної плити на щебні з природнього каменю, $\delta_1 = 0,25$ м;

λ_1 – теплопровідність бетонної плити, $\lambda_1 = 1,86$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина шару цементно-піщаної стяжки, $\delta_2 = 0,05$ м; λ_2 – теплопровідність цементно-піщаної стяжки, $\lambda_2 = 0,81$ Вт/(м·К); $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_3 = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторони даху.

Термічний опір при влаштуванні теплової ізоляції:

$$R_{np} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,25}{1,86} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,15}{0,035} + \frac{1}{23} = 4,96 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де δ_3 – товщина шару теплоізоляційних плит, $\delta_3 = 0,1$ м; λ_{3p} – теплопровідність пінополістирольні екструзійні плит, $\lambda_{3p} = 0,035$ Вт/(м·К); $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_3 = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторони будівлі.

Втрати тепла через перекриття до модернізації:

$$Q_c = \frac{1}{R_c} \cdot F_c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = \frac{1}{0,355} \cdot 1183 \cdot (22 - 1,25) \cdot 1,1 \cdot 1 = 760619,7 \text{ Вт}.$$

$$Q_{\text{с_дм}} = \frac{760619,7 \cdot 0,00086}{1000} = 0,065 \text{ Гкал}$$

Втрати тепла після модернізації

$$Q_c = \frac{1}{R_c} \cdot F_c \cdot (t_g - t_n) \cdot m \cdot n = \frac{1}{4,96} \cdot 1183 \cdot (22 - 1,25) \cdot 1,1 \cdot 1 = 5443 \text{ Вт.}$$

$$Q_{c_пм} = \frac{5443 \cdot 0,00086}{1000} = 0,005 \text{ Гкал}$$

Вартість 1 Гкал = 1834 грн.

Вартість тепла, що втрачається до модернізації:

$$C_{c1} = Q_{c_дм} \cdot 24 \text{ год} \cdot 194 \text{ дн.} = 0,065 \cdot 1834 \cdot 24 \cdot 194 = 555041,76 \text{ грн.},$$

після

$$C_{c2} = Q_{c_дм} \cdot 24 \text{ год} \cdot 194 \text{ дн.} = 0,005 \cdot 1834 \cdot 24 \cdot 194 = 42695,52 \text{ грн.}$$

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні заходу складуть:

Вартість 1 м² екструдованого пінополістиролу $K_{\text{утепл}} = 300$ грн.

Вартість суміші для приклеювання плит Ceresit™ СТ-83 – $K_{\text{кл}} = 26,5$ грн/м²;

Вартість суміші для штукатурки Ceresit™ СТ-85 – $K_{\text{шт}} = 31,6$ грн/м²;

Вартість сітки з скловолокна – $K_c = 6,6$ грн/м²;

Вартість монтажних робіт – $K_m = 100$ грн/м².

$$K_{\Sigma} = F_c \cdot (K_{\text{утепл}} + K_m) = 1183(300 + 26,5 + 31,6 + 6,6 + 100) = 549740,1 \text{ грн.}$$

Строк окупності ЕЕЗ №3:

$$C_{\text{ок}} = K_{\Sigma} / (C_{c1} - C_{c2}) = 549740,1 / (555041,76 - 42695,52) = 1,1 \text{ року};$$

Висновок по ЕЕЗ №4. Капіталовкладення по утепленню горищного перекриття II поверху НВО слабогорючими теплоізоляційними плитами екструдованого пінополістиролу завтовшки 150 мм становить – 306249,6 грн. Загальна економія споживання теплової енергії по будівлі складе – 512346,24 грн. на рік. Термін окупності утеплення – 1,1 року.

Захід 5. Модернізація вікон

Опис можливості енергозбереження. Середній коефіцієнт теплопередачі встановлених дерев'яних вікон складає – $1/0,42=2,38$ Вт/(м²·К), що більше нормативного 1,33 Вт/(м²·К) відповідного ДБН В.2.6-31:2006. Необхідно використовувати вікна, що мають опір теплопередачі не менший за 0,75 м² К/Вт. Потрібно виконати заміну існуючих склопакетів на енергоефективні з енергозберігаючим склом та склопакетом заповненим інертним газом. Загальна площа, що потребує заміни – 478 м² (139 шт).

Термічний опір вікна до модернізації:

$$R_{cn} = \frac{1}{\alpha_6} + R_g + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,0} + 0,42 + \frac{1}{23} = 0,588 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де R_v – опір теплопередачі склопакету, що використовується, $R_v = 0,42$ м²·К/Вт; $\alpha_v = 8,0$ Вт/(м²·К), $\alpha_3 = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої та зовнішньої сторони вікна.

Термічний опір вікна після модернізації

$$R_{cn} = \frac{1}{\alpha_6} + R_g + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,0} + 0,78 + \frac{1}{23} = 0,948 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де R_v – опір теплопередачі нового склопакету 4М₁-10-4М₁-10-4К, $R_v = 0,78$

$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

Втрати тепла до модернізації:

$$Q_c = \frac{1}{R_c} \cdot F_c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = \frac{1}{0,588} \cdot 478 \cdot (22 - 1,25) \cdot 1,1 \cdot 1 = 18555 \text{ Вт}.$$

$$Q_{\text{с_дм}} = \frac{18555 \cdot 0,00086}{1000} = 0,016 \text{ Гкал}$$

Втрати тепла після модернізації:

$$Q_c = \frac{1}{R_c} \cdot F_c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = \frac{1}{0,948} \cdot 478 \cdot (22 - 1,25) \cdot 1,1 \cdot 1 = 11508 \text{ Вт}.$$

$$Q_{\text{с_пм}} = \frac{14250,8 \cdot 0,00086}{1000} = 0,0099 \text{ Гкал}$$

Вартість заміни існуючих склопакетів на енергоефективніші складає (табл. В.1).

Таблиця В.1. Вартість заміни існуючих склопакетів на енергоефективніші

Розміри вікна	Кількість, шт	Вартість одного, грн	Разом, грн
2,02 × 1,54	7	3890	27230
1,7 × 1,7	54	2893	156222
2,15 × 2,05	43	4016	172688
1,7 × 0,84	8	1404	11232
1,78 × 1,05	8	1969	15752
2,18 × 2,01	19	4016	76304

0,98 × 1,07	7	4165	29155
Монтаж вікон	146	260	37960
Всього			526543

Вартість тепла, що втрачається до модернізації:

$$C_{c1} = Q_{c_dm} \cdot 24 \text{ год} \cdot 194 \text{ дн.} = 0,016 \cdot 1834 \cdot 24 \cdot 194 = 136625,6 \text{ грн.},$$

після

$$C_{c2} = Q_{c_dm} \cdot 24 \text{ год} \cdot 194 \text{ дн.} = 0,0099 \cdot 1834 \cdot 24 \cdot 194 = 84537,13 \text{ грн.}$$

Термін окупності ЕЕЗ №5:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / (C_{c1} - C_{c2}) = 526543 / (136625,6 - 84537,13) = 10,1 \text{ року};$$

Висновок по ЕЕЗ №5. Капіталовкладення на заміну дерев'яних склопакетів становить – 526543 грн. Загальна економія споживання теплової енергії по будівлі складає – 52088 грн. на рік. Термін окупності заходу – 10,1 роки.

Захід №6. Модернізація системи внутрішнього освітлення.

Система внутрішнього освітлення закладу складається зі світильників з лампами розжарювання, лінійних люмінесцентних та компактних люмінесцентних ламп (енергозберігаючі або КЛЛ).

Пропонуємо модернізацію системи внутрішнього освітлення шляхом заміни ламп розжарювання, що встановлені в коридорах, кабінетах та підсобних приміщеннях, за винятком класних кімнат, де постійно перебувають школярі, світлодіодними лампами.

В результаті впровадження запропонованих заходів з підвищення рівня енергоефективності отримаємо позитивні результати, наведені в табл. В.2.

Таблиця В.2. Економічні показники енергоефективних заходів

Енергоефективні заходи	Інвестиції	Чиста річна економія		Простий термін окупності
		кВт*год	грн	
Встановлення рефлекторів за радіаторами	31450	5708,26	39064	0,81
Термомодернізація фасаду	913000	213254,11	339002	2,69
Модернізація суміщеного перекриття	47155,2	50238,24	78389	0,6
Модернізація холодного горища перекриття двоповерхової частини будівлі	306249,6	3516118,08	512346,2	1,1
Заміна дерев'яних вікон	526543	32810,83	52088	10,1

Додаток Г

Показники енергоефективності

Загальним показником енергоефективності будівлі є її питома річна енергопотреба EP . Відповідно до ДБН В.2.6-31:2016 нормується максимально допустима питома енергопотреба (EP_{max}), що визначає кількість теплоти, яку необхідно подати до або видалити з кондиціонованого об'єму для забезпечення нормованих теплових умов мікроклімату в приміщенні віднесена до одиниці кондиціонованої площі або об'єму будівлі.

Таблиця Г.1 Нормативна максимальна питома енергопотреба будівель EP_{max}

№ п.п.	Призначення будівлі	Значення EP_{max} , кВт·год/м ³ , для температурної зони України	
		I	II
1	Будинки та споруди навчальних закладів	28	30
2	Будинки та споруди дитячих дошкільних закладів	48	50

Клас енергетичної ефективності будівлі - розрахунковий рівень енергетичної ефективності будівлі або її відокремлених частин, визначений за інтервалом значень показників енергетичної ефективності, що встановлюються відповідно до вимог законодавства з урахуванням гармонізованих стандартів Європейського Союзу у сфері енергетичної ефективності будівель.

Клас енергоефективності будівлі підтверджується енергетичним сертифікатом.

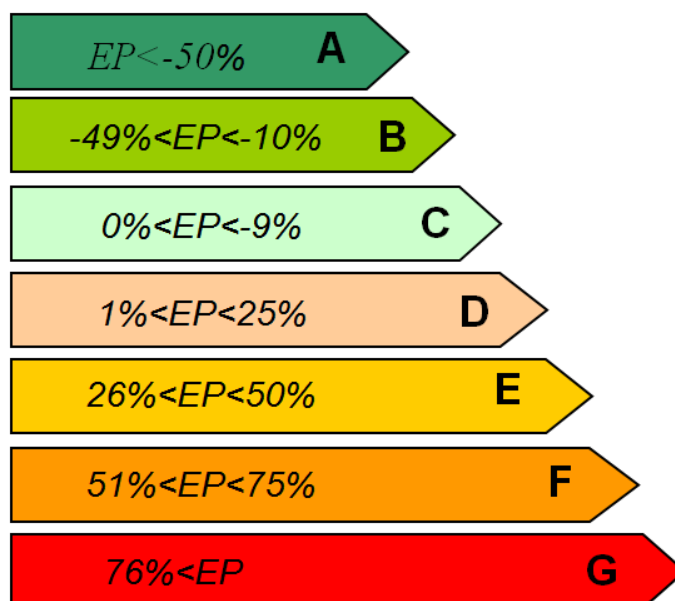


Рис. Г.1. Класи енергетичної ефективності будинку