

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: «Енергетичне обстеження системи теплопостачання Сумського
закладу загальної середньої освіти спеціальна школа»

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент»

Виконавець роботи

Кулак Д.О.

(прізвище і ініціали)

(підпис студента)

*В роботі не виявлено текстових,
ілюстративних та інших запозичень
без коректного на них посилання*

Випускна робота
захищена на засіданні
ЕК з оцінкою

Керівник роботи

(підпис)

Сотник М.І.

(прізвище і ініціали)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Секретар комісії

(підпис)

доцент каф. ПГМ, д.т.н.

(наукова ступінь, звання або посада)

Суми 2023

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладної гідрааеромеханіки
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(освітня програма «Енергетичний менеджмент»)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри прикладної гідрааеромеханіки
_____ Сотник М.І.
“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Кулак Дар'я Олегівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи «Енергетичне обстеження системи тепlopостачання Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа».

затверджена наказом по університету № 0337-VI від “04” квітня 2023 р.

2 Термін здачі студентом закінченої роботи до 12 червня 2023 р.

3 Вихідні дані до роботи: будівельна та проектна документація об'єкту енергетичного обстеження; нормативні вимоги, дійсні на території України.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити).

Вступ (загальна характеристика проблем з енергозбереження, мета, задачі та актуальність виконання роботи).

1. **Характеристика об'єкту енергетичного обстеження** (опис дійсного стану та систем енергопостачання об'єкта; опис приладів обліку енергоносіїв на об'єкті, представлення результатів інструментального обстеження та їх аналіз).

2. **Комплексний аналіз рівня енергоефективності об'єкта енергетичного обстеження** (аналіз обсягів споживання енергоносіїв на об'єкті та порівняння їх з нормативами; представлення результатів розрахунку).

3. **Розрахунковий аналіз показників енергоефективності** (основні положення методики розрахунку енергетичних показників; представлення результатів розрахунку).

4. **Техніко-економічний аналіз умов запровадження енергозбережних заходів** (основні положення методики розрахунку заходів з енергозбереження; представлення результатів розрахунку).

Висновки (опис результатів за всіма етапами виконаної роботи).

Додатки (Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; копії документів, принципові схеми, статистичні дані тощо).

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (з точним зазначенням креслень або плакатів)

1. Енерготехнологічна схема об'єкта
2. Аналіз обсягів енергоспоживання
3. Результати розрахункового аналізу
4. Розробка енергозбережних заходів

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи (за змістом розрахунково- пояснювальної записки)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування вихідних даних	до 30.04.2023	
2	Характеристика об'єкту енергетичного обстеження	до 10.05.2023	
3	Інструментальне обстеження	до 14.05.2023	
4	Розрахунковий аналіз обстежуваної системи енергопостачання	до 25.05.2023	
5	Розробка можливих енергозберіжних заходів	до 04.06.2023	
6	Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.	до 07.06.2023	
7	Оформлення розрахунково- пояснювальної записки та графічних матеріалів	до 11.06.2023	
8	Здача роботи на перевірку	до 12.06.2023	
9	Доопрацювання зауважень, перевірка на плагіат, рецензування	до 18.06.2023	
10	Захист роботи (період)	з 19.06.23 до 25.06.23	

Дата видачі завдання “ 17 “ квітня 2023 р.

Студент

(підпис)

Кулак Д.О.

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Сотник М.І.

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 74 сторінки, 19 рисунків, 23 таблиці, 4 додатки, 31 літературних джерела.

Графічні матеріали: енерготехнологічна схема об'єкта, аналіз обсягів енергоспоживання, результати розрахункового аналізу, розробка енергозберезних заходів – 4 аркуші А3.

Мета роботи: здійснення енергоаудиту системи енергозабезпечення будівлі, визначення реального стану зовнішніх огорожувальних конструкцій, дослідження обсягів споживання енергоресурсів, порівняння витрат та розрахунок тепловтрат для визначення базових величин енергопостачання.

Відповідно до поставленої мети були вирішені такі завдання:

- аналіз рівня ефективності використання енергоносіїв;
- розробка організаційно-технічних заходів, що спрямовані на зниження витрат енергії;
- визначення потенціалу енергозбереження;
- фінансова оцінка організаційно-технічних заходів.

Об'єкт енергообстеження: системи споживання енергоносіїв та води у будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа.

Методи дослідження: визначення розподілу температурних полів в конструкціях будівлі, аналіз споживання енергоносіїв та методи розрахунку енергозберезних заходів.

Ключові слова: енергетичне обстеження, енергозберезні заходи, енергоаудит, теплопостачання, теплонадходження.

Тема роботи – «Енергетичне обстеження системи теплопостачання Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа»

ЗМІСТ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

РЕФЕРАТ

ВСТУП.....6

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ.....8

1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження.....8

1.2 Опис дійсного стану об'єкта енергетичного обстеження.....9

1.3 Експлуатаційна характеристика систем енергопостачання об'єкта.....10

1.3.1 Система опалення.....10

1.3.2 Система електропостачання.....10

1.3.3 Система водопостачання та водовідведення.....11

1.3.4 Система вентиляції.....11

1.3.5 Система обліку споживання енергоносіїв.....11

1.3.6 Існуючі тарифи на енергоносії та воду.....15

1.4 Опис методів та приладів вимірювання.....15

1.5 Аналіз результатів вимірювання.....16

1.6 Висновки за розділом.....17

2 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТА
ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ.....18

2.1 Аналіз споживання енергоносіїв та води.....18

2.1.1 Аналіз обсягів споживання теплової енергії.....18

2.1.2 Аналіз обсягів споживання електроенергії.....23

2.1.3 Аналіз обсягів споживання води.....26

2.2 Висновки за розділом.....32

					6.144.05 ВР 00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Кулак			Енергетичне обстеження системи теплопостачання Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа	<i>Лист.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
Перевірив		Сотник				4	87	
Н. Контр.		Сотник			СумДУ ЕМ-91/1			

3 РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ..	33
3.1 Проведення розрахунку опору теплопередачі.....	35
3.2 Проведення розрахунку опору теплопередачі.....	38
3.3 Визначення видів теплонадходжень до будівлі.....	45
3.4 Розрахунок теплової потужності всієї будівлі.....	48
3.5 Висновки за розділом.....	51
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ.....	52
4.1 Перелік енергозберігаючих заходів.....	52
4.1.1 Утеплення огорожувальних конструкцій – підлоги.....	52
4.1.2 Встановлення рекуператора теплоти в систему вентиляції.....	59
4.1.3 Утеплення огорожувальних конструкцій – стін.....	65
4.1.4 Встановлення системи моніторингу на систему теплозабезпечення	67
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71
ДОДАТОК А.....	75
ДОДАТОК Б.....	80
ДОДАТОК В.....	81
ДОДАТОК Г.....	83

ВСТУП

Відповідно до закону України «Про енергетичну ефективність» [1], державна політика у сфері енергоефективності є основною частиною політики у сферах економіки, енергетики, охорони навколишнього середовища [1]. Після утворення Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів основним елементом державної політики України стала енергоефективність [2]. До основних завдань відноситься проведення єдиної державної політики в сфері використання енергетичних ресурсів та енергозбереження, забезпечення збільшення частки відновлювальних і альтернативних видів палива в енергетичному балансі України, створення державної системи моніторингу споживання енергоносіїв [2].

Україна поступово налагоджує міжнародне співробітництво у сферах енергоефективності та розвитку відновлюваної енергетики. Це виконання зобов'язань у рамках членства України в Європейській економічній комісії ООН, Енергетичному Співтоваристві та в рамках приєднання до Договору до Енергетичної Хартії [3]. На разі Україна спрямовує свою діяльність поступової інтеграції України в європейські та трансатлантичні структури з метою входження до європейського економічного простору [3]. Вибір країни приєднатися до співтовариства європейських націй зумовлює необхідність змінити підходи до формування енергетичної політики України, яка має відповідати принципам і практиці ЄС. Енергетична стратегія визначає мету та шляхи реалізації енергетичної політики на довгостроковий період, а також окреслює механізми її реалізації [4].

Загальною метою стратегії є забезпечення потреб суспільства та економіки в паливно-енергетичних ресурсах у технічно надійний та безпечний, економічно ефективний та екологічно прийнятний спосіб для гарантування життєдіяльності суспільства в режимах звичайного та особливого стану [4]. Стратегія передбачає до 2025 року інтеграцію енергетичного сектору України до енергетичних ринків

						Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		6

ЄС, забезпечення конкурентоспроможності національного енергетичного сектору на європейському енергетичному ринку шляхом створення сприятливих умов для залучення інвестицій та технічної модернізації об'єктів енергетичного сектору [4].

Метою дослідження в роботі є дослідження поточного стану споживання енергоносіїв та води у будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа та її системи енергозабезпечення та розроблення енергозберігаючих заходів для скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів.

Об'єктом дослідження в роботі є будівля Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа та її системи енергозабезпечення.

Предметом дослідження в роботі є системи енергопостачання та енергоспоживання будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа та її системи енергозабезпечення.

						Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження

Об'єктом енергетичного обстеження є Сумський заклад загальної середньої освіти спеціальна школа Сумської міської ради. Будівля розташована за адресою: пр-т Свободи, 28, м. Суми, Сумська область, 40016 (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Головний фасад будівлі

Технічну експлуатацію інженерних комунікацій будівлі здійснюється технічним персоналом. Будинок складається із однієї будівлі.

Технічну характеристику будівлі наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика будівлі

Призначення будівлі	Навчальний заклад
Рік побудови	1979 рік
Кількість поверхів	2 поверхи
Площа забудови	1268,54 м ²

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

Продовження таблиці 1.1

Опалювальний об'єм	6459,6 м ³
Опалювальна площа	2153,2 м ²
Об'єм будівлі за зовнішніми обмірами	9410,0 м ³

У школі навчається 105 учнів та працює 33 педагогічних працівники.

Будівля забезпечується тепловою енергією централізовано.

Водопостачання та водовідведення здійснюється централізовано.

Забезпечення будівлі гарячою водою відбувається централізовано.

1.2 Опис дійсного стану об'єкта енергетичного обстеження

Загальний стан будівлі навчального закладу є задовільним. Стіни будівлі виконані з силікатної цегли на цементно-піщаному розчині товщиною 0,64 м. Зсередини стіни виконані цементно-піщаною штукатуркою товщиною 0,03 м. Дах плоский складається з залізобетонної плити товщиною 0,22 м, цементно-піщаної стяжки та гравійної засипки товщинами 0,05 м та 0,2 м відповідно. Горище відсутнє. Підлога складається із залізобетонних плит товщиною 0,22 м, розчину цементно-піщаному товщиною 0,04 м та лінолеуму ПВХ товщиною 0,003 м. Будівля має 51% дерев'яних вікон, решта становлять металопластикові з двокамерним склопакетом. Будівля має 1 металеві, 1 пластикові та 17 дерев'яних дверей вхідної групи. Тепловий пункт знаходиться в підвальному приміщенні.

Природна вентиляція у приміщеннях відбувається за наявності нещільностей в огорожувальних конструкціях та відкриванню дверей і вікон. Внаслідок встановлення нових металопластикових вікон з підвищеною технологією ущільнення віконної конструкції, майже в усіх приміщеннях погіршився процес природної вентиляції, це змушує персонал частіше відкривати вікна для провітрювання приміщень.

1.3 Експлуатаційна характеристика систем енергопостачання об'єкта

1.3.1 Система опалення

Теплопостачання Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа Сумської міської ради здійснюється централізовано згідно з договором про надання послуг з централізованого опалення, який укладено з ТОВ «Сумитеплоенерго» договір № 1177/38.

Магістральні трубопроводи до будівлі, прокладені під землею та під'єднані в тепловому пункті до головних подавальних трубопроводів. Ввід теплової мережі передбачений до теплового пункту, розміщеного у підвальному приміщенні, де є вільний доступ обслуговуючого персоналу до приладів, наявне освітлення. Схема теплового пункту наведено в додатку Б.

Система теплової мережі навчального закладу однотрубна з нижньою розводкою; за напрямом з'єднання опалювальних приладів – горизонтальна.

Опалювальні прилади використовуються конвективні чавунні секційні радіатори типу МС-140 та біметалеві секційні радіатори у кількості 2 приладів. Опалювальні прилади розташовані під вікнами в кожному приміщенні. Доступ до них необмежений.

1.3.2 Система електропостачання

Постачальником електроенергії є АТ «Сумиобленерго» на підставі договору про постачання електричної енергії.

Основні електроспоживаючі системи – це система освітлення та електрообладнання. Основне електрообладнання та освітлювальні прилади наведено в додатку В. Передача показів лічильника відбувається кожного місяця.

						Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1.3.3 Система водопостачання та водовідведення

Сумський заклад загальної середньої освіти спеціальна школа підключена до централізованого водопостачання та міської системи водовідведення на підставі договору з КП «Міськводоканал» № 185.

У підвальному приміщенні розташований вузол обліку кількості спожитої води. Водопостачання відбувається по металевій трубі Ø 50 мм. Водовідведення здійснюється по металевій трубі Ø 80 мм.

Акт передачі показів лічильника відбувається кожного місяця.

Також передбачене централізоване гаряче водопостачання на підставі договору з ТОВ «Сумитеплоенерго».

1.3.4 Система вентиляції

У будівлі присутня природна вентиляція. Видалення вентиляованого повітря здійснюється через вентиляційні канали, що розташовані в будівельних конструкціях. Припливне повітря потрапляє до будівлі за рахунок нещільностей в огорожувальних конструкціях та відкриванню дверей та вікон.

1.3.5 Система обліку споживання енергоносіїв

Облік споживання теплової енергії здійснюється за допомогою лічильника CALMEX КОМПАКТ Q_n 3,5 типу PREMEX (рис. 1.2). Остання повірка була проведена 28.05.2021 р. Термін повірки раз на 4 роки.

						Аркуш
						11
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Лічильник обліку теплової енергії [5]

Технічні характеристики даного лічильника наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики лічильника CALMEX КОМПАКТ [6]

Назва параметру	Характеристика
Клас точності	2
Тип встановлення	Горизонтальний
Живлення	Автономне
Довжина кабелю	2 м

Облік споживання гарячої води відбувається за допомогою лічильника Новатор ЛК-15Г (рис. 1.3). Дата останньої повірки – 01.07.2019 р. Термін повірки раз на 4 роки.



Рисунок 1.3 – Лічильник обліку гарячої води [7]

Технічні характеристики наведені в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики лічильника Новатор ЛК-15Г [8]

Назва параметру	Характеристика
Номінальна витрата	1,6 м ³ /год
Максимальна витрата	3,0 м ³ /год
Мінімальна витрата	0,03 / 0,06 м ³ /год
Максимальний робочий тиск	1,0 МПа
Перехідна витрата	0,12 / 0,15 м ³ /год
Температура вимірювальної води	30°C – 90°C

Облік споживання холодної води здійснюється за допомогою лічильника МТК-УА (рис. 1.4). Дата останньої повірки – 18.06.2021 р. Термін повірки раз на 5 років.



Рисунок 1.4 – Лічильник обліку холодної води [9]

Технічні характеристики наведені в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики лічильника МТК-УА [10]

Назва параметру	Характеристика
Номінальна витрата	6,0 м ³ /год

Продовження таблиці 1.4

Максимальна витрата	12,0 м ³ /год
Мінімальна витрата	0,14 м ³ /год
Максимальний робочий тиск	1,0 МПа
Перехідна витрата	0,48 м ³ /год
Температура вимірювальної води	5°C – 30°C

Облік споживання електричної енергії здійснюється за допомогою лічильника NIK-2301 АП-3 (рис.1.5). Дата останньої повірки – 25.08.2019 р. Термін повірки раз на 5 років. Лічильник знаходиться в електрощитовій на вводі до будівлі.



Рисунок 1.5 – Лічильник обліку електроенергії [11]

Технічні характеристики наведені в таблиці 1.5

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики лічильника NIK-2301 АП-3 [12]

Назва параметру	Характеристика
Номінальна напруга	220 В
Клас точності	1,0
Номінальна сила струму	5А
Ступінь захисту	IP54
Номінальна частота	50 Гц

1.3.6 Існуючі тарифи на енергоносії та воду

Теплопостачання - 2630,57 грн/Гкал з ПДВ.

Електропостачання - 6,163 грн/кВт·год з ПДВ.

Постачання холодної води - 15,984 грн/м³ з ПДВ.

Постачання гарячої води - 132,12 грн/м³ з ПДВ.

Водовідведення - 16,668 грн/м³ з ПДВ.

1.4 Опис методів та приладів вимірювання

Під час проведення енергоаудиту Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа було використано такі прилади:

- вимірювальна рулетка;
- тепловізор Fluke Ti25 (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Тепловізор Fluke Ti25 [13]

При тепловізійному обстеженні було використано тепловізор Fluke Ti25 (рис. 1.6). Цей прилад здатний визначити температурний розподіл в конструкціях будівлі та місця теплових втрат. Характеристика приладу наведена в таблиці 1.6.

						Аркуш
						15
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики приладу [13]

Назва параметру	Характеристика
Діапазон температурних вимірювань	від -20°C до +350°C
Похибка	± 2 °C або 2%
Поле огляду	23° x 17°
Просторова роздільна здатність (IFOV)	2,5 мрад
Фотокамера	Розширення 640 x 480 пікселей
Мінімальна шкала (ручний режим)	2,5°C
Мінімальна шкала (автоматичний режим)	5°C
Мінімальна відстань при фокусуванні	0,15 м
Теплова чутливість (NETD)	≤ 0,1°C при 30°C (100 м°K)

1.5 Аналіз результатів вимірювання

Тепловізійне обстеження Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальної школи було проведено при температурі зовнішнього повітря 0°C, а температура внутрішнього повітря становила 18°C.

В додатку Г наведено термограми дійсного стану зовнішніх огорожувальних конструкцій. На них показано типові тепловтрати по огорожувальним конструкціям.

На рисунку Г.1 видно, що втрати теплової енергії відбуваються через кутові з'єднання. Температура поверхонь цих з'єднань становить від 3°C до 5°C, через що стіни мають низькі теплозахисні властивості. Також на термограмах видно де встановлені опалювальні прилади.

На рисунку Г.2 представлено втрати теплової енергії через неякісний монтаж деяких віконних конструкцій. В деяких місцях видно, що віконні рами нещільно прилягають до стіни. Температура між вікнами та стінами становить від 4°C до 7°C.

З рисунку Г.3 видно тепловтрати через недостатню природну вентиляцію, через що працівники школи змушені відчиняти вікна. Температура отвору при відкритому вікні сягає 13°C.

На рисунку Г.4 спостерігаються тепловтрати через технічні отвори з підвального приміщення. Температура всередині отвору складає 8°C.

З рисунку Г.5 видно, що втрати відбуваються через зовнішні дверні конструкції, через недостатність теплозахисних властивостей. Температура неутеплених дверей складає від 2°C до 6°C.

На рисунку Г.7 представлено тепловтрати через зовнішню поверхню стін за рахунок низького опору теплопередачі стіни, що обумовлює прискорене зволоження. Температура поверхні стіни складає від 0°C до 2°C.

1.6 Висновки за розділом

Навчальний заклад було побудовано в 1979 році. Будівля має задовільний стан огорожувальних конструкцій.

Будівля забезпечується тепловою енергією, гарячою та холодною водою, електроенергією та водовідведенням – централізовано, на основі підписання відповідних договорів з організаціями.

У будівлі ведеться облік спожитих енергоресурсів та води за допомогою лічильників, також наявні технічні їх характеристики.

Під час обстеження за допомогою тепловізора було виявлено типові проблеми тепловтрат. Основними тепловтратами є через застарілі віконні конструкції, неякісний монтаж вікон, зовнішні дверні конструкції, технічні отвори з підвального приміщення, кутові з'єднання, недостатність природної вентиляції тощо.

						Аркуш
						17
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

2.1 Аналіз споживання енергоносіїв та води

2.1.1 Аналіз обсягів споживання теплової енергії

Кількість спожитої теплової енергії будівлею закладу за 2020-2023 роки наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Кількість спожитої теплової енергії будівлею закладу за 2020-2023 роки, Гкал

Місяць	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
Січень	45	42	56	39
Лютий	40	56	41	41
Березень	17	42	29	23
Квітень	X	5	X	X
Травень	–	–	–	–
Червень	–	–	–	–
Липень	–	–	–	–
Серпень	–	–	–	–
Вересень	–	–	–	–
Жовтень	4	11	4	X
Листопад	25	34	26	X
Грудень	52	51	39	X
Всього	183	241	195	103

На рисунку 2.1 представлено динаміку споживання теплової енергії будівлею за 2020-2023 роки

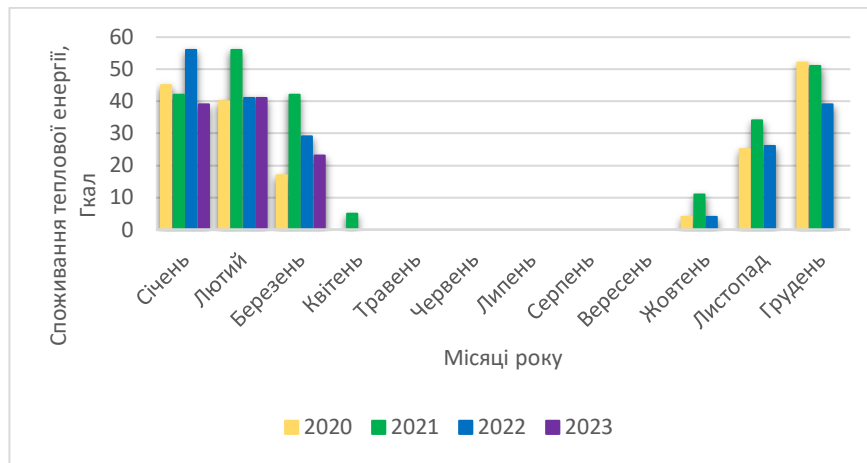


Рисунок 2.1 – Динаміка споживання теплової енергії будівлею за 2020-2023 роки

Ліміти споживання теплової енергії за період 2020-2023 роки наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Ліміти споживання теплової енергії за період 2020-2023 роки

Місяць	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал
Січень	50,10	56,10	56,10	54,86
Лютий	53,80	63,80	63,80	61,25
Березень	30,10	45,10	40,10	33,28
Квітень	15	8	8	8,3
Травень	–	–	–	–
Червень	–	–	–	–
Липень	–	–	–	–
Серпень	–	–	–	–
Вересень	–	–	–	–
Жовтень	25	20	20	20,75
Листопад	40	40	40	33,2
Грудень	45	45	45	37,35
Всього	259	278	273	249

На рисунку 2.2 представлено ліміти теплової енергії 2020-2023 років.

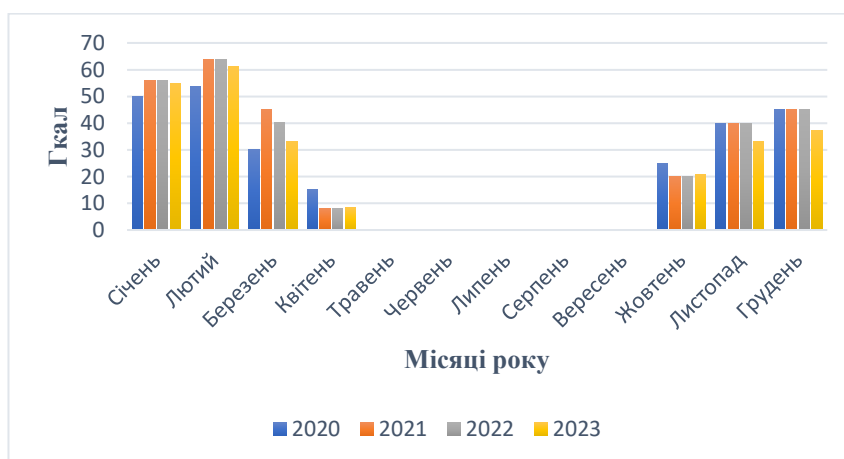


Рисунок 2.2 - Ліміти теплової енергії 2020-2023 роки

Споживання теплової енергії закладом здійснюється лише під час опалювального періоду. Проаналізувавши таблицю 2.1 та рисунок 2.1, можна сказати, що максимальне споживання теплової енергії відбувається в грудні, січні та лютому, а мінімальне – жовтень, квітень. Різниця між споживанням тепла по місяцям може виникати через зміни температур навколишнього середовища.

Розглянувши споживання теплової енергії з таблиці 2.1 та ліміти з таблиці 2.2, можна відмітити їх різницю, що може виникати через:

- різні дати початку та кінця опалювального періоду;
- невідповідність фактичної та розрахункової середньодобової температури навколишнього середовища кожного місяця опалювального періоду;
- у 2020 році розпочався карантин через спалах коронавірусу, тому заклад був зачинений для відвідувачів;
- заклад був зачинений через початок повномасштабного вторгнення 2022 року

Питоме енергоспоживання (EP_{use}) – це показник енергоефективності будинку, що визначає кількість енергії, яку необхідно подати до об’єму будівлі для забезпечення нормованих теплових умов мікроклімату в приміщеннях і відноситься до одиниці опалювальної площі або об’єму будинку [14, п. 4.3].

Для умови відсутності витрат на охолодження будівлі [14, п. 4.3]:

$$EP_{use} = \frac{Q_{оп}}{V_{буд}^{оп}}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^3} \quad (2.1)$$

де $Q_{оп}$ – величина споживаної теплової потужності будинку за весь опалювальний період (за обліковими даними), кВт·год;

$V_{буд}^{оп}$ – опалювальний об'єм будинку, м³.

Питоме енергоспоживання на опалення будинків повинна відповідати умові [15]:

$$EP_{use} \leq 1,2 \times EP_p, \quad (2.2)$$

де EP_{use} – питоме річне енергоспоживання будівлі, кВт·год/м³;

EP_p – максимально допустиме значення питомого річного енергоспоживання будівлі за опалювальний період, кВт год/м³ [15].

Нормативне питоме річне енергоспоживання для будівлі закладу освіти першої температурної зони, яка обстежується, становить [15]:

$$EP_p = 55,8 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{м}^3} = 0,048 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}.$$

Згідно наданих закладом облікових даних, фактичні питомі тепловитрати на опалення приміщень закладу за опалювальні періоди становлять:

- опалювальний період 2020–2021 рік – $Q_{оп} = 226$ Гкал;
- опалювальний період 2021–2022 рік – $Q_{оп} = 222$ Гкал;
- опалювальний період 2022–2023 рік – $Q_{оп} = 172$ Гкал.

Значення фактичних питомих енерговитрат за періодами опалення становлять:

- опалювальний період 2020–2021 рік – $EP = 0,035$ Гкал/м³;
- опалювальний період 2021–2022 рік – $EP = 0,034$ Гкал/ м³;
- опалювальний період 2022–2023 рік – $EP = 0,027$ Гкал/м³.

Осереднене значення показника енергоефективності будинку за визначеними опалювальними періодами становить – $EP = 0,032$ Гкал/м³.

За результатами порівняння фактичних і нормованих показників із споживання теплової енергії можна зробити наступний висновок, що отриманий результат по будівлі менший чим нормативна умова (2.2). Але, такий результат не є наслідком ефективної роботи системи тепlopостачання або запровадження технологій з енергозбереження. За результатами проведеного енергетичного обстеження, встановлено, що загальний стан огороджувальних конструкцій будівлі закладу (стіни, вікна, двері) не відповідають сучасним вимогам з опору теплопередачі (див. табл. 3.1). Тому, у закладі підтримується мінімально допустимий рівень температури внутрішнього повітря (18°C) і заклад споживає в деякі періоди року занижену кількість теплоенергії для прогрівання приміщень, що не може компенсувати високі втрати теплоенергії через погіршений стан огороджувальних конструкцій. В загальному результаті не досягається постійний рівень комфортної температури за всіма приміщеннями закладу, який би відповідав діючим нормативним величинам [14].

Такий стан усіх технологічних і конструктивних елементів, що визначають енергетичну ефективність процесу створення і підтримки теплового балансу в будівлі, необхідно вважати таким, що потребує відповідної модернізації.

У таблиці 2.3 представлено дані про споживання теплової енергії при середньодобовій температурі навколишнього середовища 0°C за 2021-2022 роки.

						Аркуш
						22
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Фактичні дані про споживання теплової енергії при середньодобовій температурі навколишнього середовища 0°С

Опалювальний період 2021 року			Опалювальний період 2022 року		
Дата доби	Обсяг теплоспоживання, Гкал	Температура а теплоносія, °С	Дата доби	Обсяг теплоспоживання, Гкал	Температура а теплоносія, °С
12.12.2021	1,2	54,38	10.01.2022	1,43	59,41
14.12.2021	1,43	56,38	14.01.2022	2,15	59,41
16.12.2021	1,43	54,40	15.01.2022	1,67	59,40
18.12.2021	1,43	56,40	16.01.2022	1,67	59,40
19.12.2021	1,43	54,37	29.01.2022	1,67	61,43
01.01.2022	1,9	62,40	31.01.2022	1,67	60,40

2.1.2 Аналіз обсягів споживання електроенергії

Кількість спожитої електроенергії будівлею закладу за 2020-2023 роки наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Кількість спожитої електроенергії будівлею закладу за 2020-2023 роки

Місяць	Рік			
	кВт·год			
	2020	2021	2022	2023
Січень	2962	3010	3190	1207
Лютий	2970	3163	2220	1817
Березень	2050	3093	1237	1983
Квітень	1380	1605	1203	422
Травень	1078	2285	395	-

Продовження таблиці 2.4

Місяць	Рік			
	кВт·год			
	2020	2021	2022	2023
Червень	697	1170	300	-
Липень	525	560	330	-
Серпень	645	690	310	-
Вересень	1900	3060	730	-
Жовтень	1784	2830	775	-
Листопад	3520	3220	1335	-
Грудень	3650	3990	1445	-
Всього	23161	28676	13470	5429

На рисунку 2.3 представлено динаміку споживання електроенергії будівлею за 2020-2023 роки.

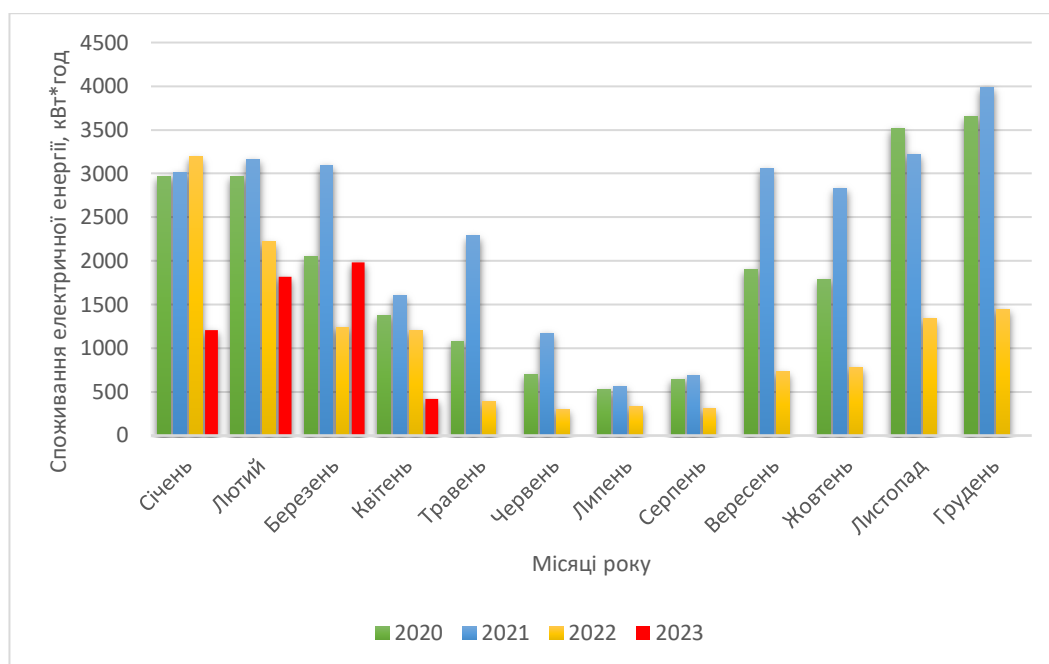


Рисунок 2.3 – Динаміка споживання електроенергії будівлею за 2020-2023 роки

Ліміти споживання електричної енергії за 2020-2023 роки наведено в таблиці 2.5 та на рисунку 2.4.

Таблиця 2.5 – Ліміти споживання електричної енергії 2020-2023 роки

Місяць	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
	кВт·год	кВт·год	кВт·год	кВт·год
Січень	3100	3300	3300	1557
Лютий	2800	3100	3100	1463
Березень	2700	3000	3000	1416
Квітень	2300	2200	2200	1038
Травень	2600	2500	2500	1180
Червень	1800	1500	1500	708
Липень	600	600	600	284
Серпень	700	700	700	330
Вересень	1400	1200	1200	567
Жовтень	2900	2900	2900	1368
Листопад	3100	3200	3200	1510
Грудень	3200	3000	3000	1416
Всього	27200	27200	27200	12837

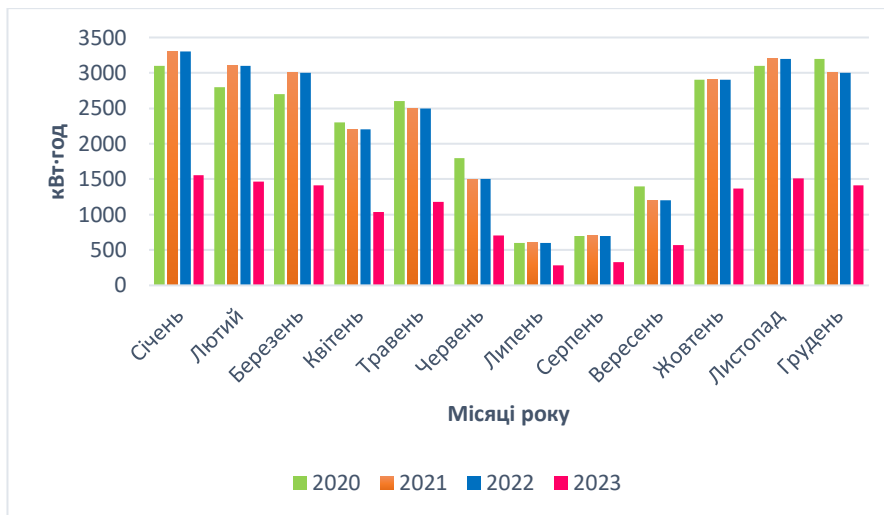


Рисунок 2.4 – Ліміти споживання електричної енергії 2020-2023 роки

Проаналізувавши таблиці 2.4 та 2.5, можна зробити висновок, що Сумський заклад загальної середньої освіти спеціальна школа споживає електричну енергію нерівномірно та має певні відхилення від встановлених лімітів через:

- літні канікули – заклад не працює для учнів, присутній лише персонал, тому споживання електричної енергії є мінімальним;
- карантин 2020 року, через що навчальний заклад був зачинений, присутній був лише персонал;
- з початком повномасштабного вторгнення 2022 року заклад працював виключно як укриття;
- у 2022 році навчання не відбувалося через військовий стан, тому споживання електроенергії мінімальне.

Згідно з нормами споживання електричної енергії для загальноосвітніх шкіл з електрифікованими харчоблоками [16, табл. 8.5], встановлено для 105 учнів для Сумської області нормою 304 кВт·год/учня. Для закладу загальної середньої освіти фактичне споживанням на одного учня є:

- 2020 рік: 220,6 кВт·год/учня;
- 2021 рік: 273,1 кВт·год/учня;
- 2022 рік: 128,3 кВт·год/учня.

Тобто фактичне споживання не перевищує встановлену норму, що є задовільним.

2.1.3 Аналіз обсягів споживання води

У навчальному закладі передбачено постачання холодної та гарячої води.

Кількість спожитої холодної води представлено в таблиці 2.6 та на рисунку 2.5.

						Аркуш
						26
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Кількість спожитої холодної води закладом за 2020-2023 роки

Місяць	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
	м ³	м ³	м ³	м ³
Січень	30	37	43	19
Лютий	55	41	44	26
Березень	30	46	25	34
Квітень	10	20	26	26
Травень	15	39	13	-
Червень	25	35	22	-
Липень	20	64	22	-
Серпень	40	47	36	-
Вересень	40	54	28	-
Жовтень	35	37	20	-
Листопад	45	46	30	-
Грудень	40	44	29	-
Всього	385	510	338	105

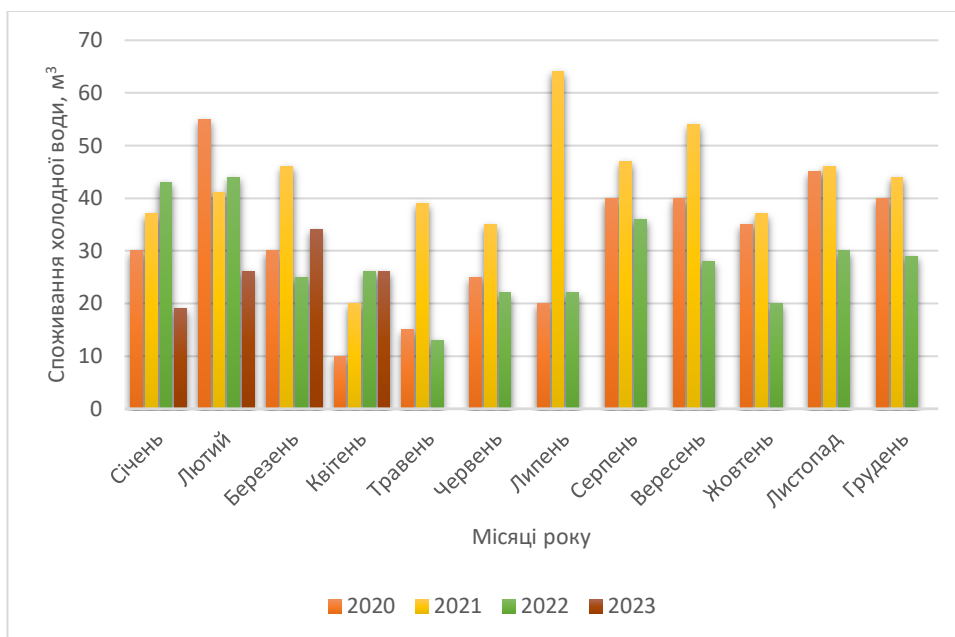
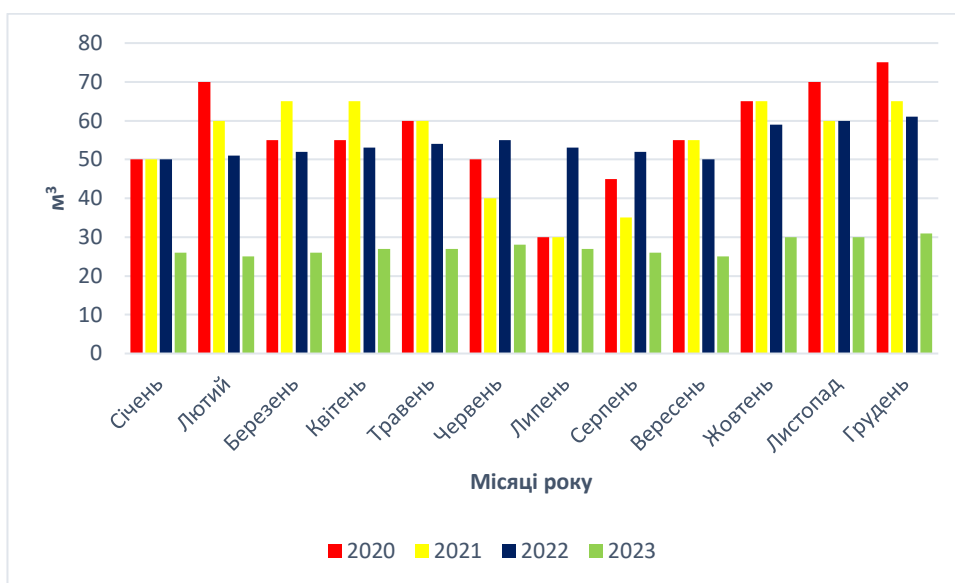


Рисунок 2.5 – Кількість спожитої холодної води 2020-2023 роки

Ліміти споживання холодної води наведено в таблиці 2.7 та на рисунку 2.6.

Таблиця 2.7 – Ліміти споживання холодної води 2020-2023 роки

Місяць	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
	м ³	м ³	м ³	м ³
Січень	50	50	50	26
Лютий	70	60	51	25
Березень	55	65	52	26
Квітень	55	65	53	27
Травень	60	60	54	27
Червень	50	40	55	28
Липень	30	30	53	27
Серпень	45	35	52	26
Вересень	55	55	50	25
Жовтень	65	65	59	30
Листопад	70	60	60	30
Грудень	75	65	61	31
Всього	680	650	650	328



Рисунку 2.6 – Ліміти споживання холодної води 2020-2023 роки

Проаналізувавши таблиці 2.6 та 2.7, видно, що різниця фактичного споживання холодної води та встановлених лімітів може виникати через:

- пори року - влітку споживання води трохи менше через відсутність учнів;
- карантин 2020 року, через що навчальний заклад був зачинений, присутнім був лише персонал;
- повномасштабне вторгнення 2022 року заклад працював виключно як укриття для людей;
- у 2022 році навчання не відбувалося через військовий стан, тому обсяги споживання холодної води є мінімальними.

Згідно з нормами споживання холодної води для загальноосвітніх шкіл [17, табл. А2], встановлено для 105 учнів Сумської області нормою 20 л/дитину. Для закладу загальної середньої освіти фактичне споживанням на одного учня становить:

- 2020 рік: 10,05 л/дитину;
- 2021 рік: 13,31 л/дитину;
- 2022 рік: 8,82 л/дитину.

Тобто фактичне споживання не перевищує встановлену норму, що є задовільним.

Кількість спожитої гарячої води представлено в таблиці 2.8 та на рисунку 2.7.

Таблиця 2.8 – Кількість спожитої гарячої води 2020-2023 роки

Місяць	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
	м ³	м ³	м ³	м ³
Січень	35	35	42	10
Лютий	40	50	46	17
Березень	45	55	18	19
Квітень	30	21	31	20
Травень	20	43	25	-
Червень	25	32	1	-

Продовження таблиці 2.8

Місяць	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
	м ³	м ³	м ³	м ³
Липень	12	4	0	-
Серпень	13	15	4	-
Вересень	35	54	12	-
Жовтень	40	44	14	-
Листопад	45	53	19	-
Грудень	45	49	19	-
Всього	385	455	231	66

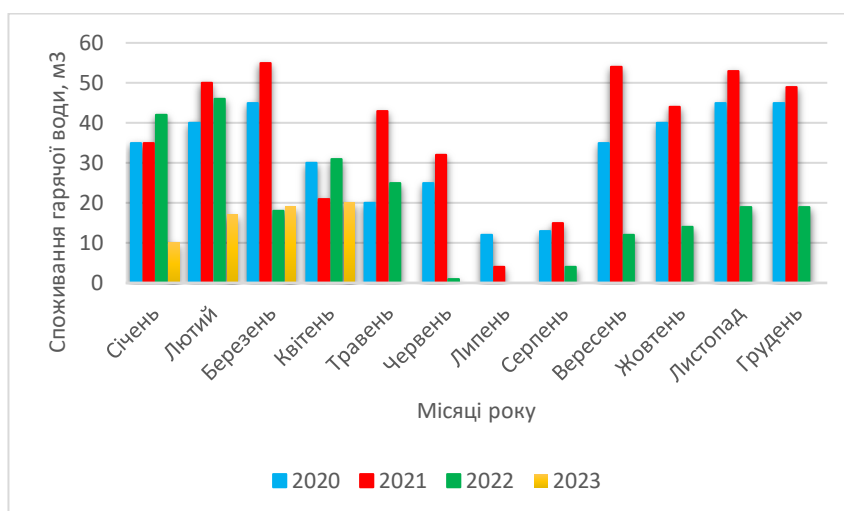


Рисунок 2.7 – Динаміка споживання гарячої води

Ліміти споживання гарячої води наведено в таблиці 2.9 та на рисунку 2.8.

Таблиця 2.9 – Ліміти споживання гарячої води 2020-2023 роки

Місяць	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
	м ³	м ³	м ³	м ³
Січень	40	40	40	10,24
Лютий	40	40	40	10,24
Березень	45	45	45	11,52

Продовження таблиці 2.9

Місяць	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
	м ³	м ³	м ³	м ³
Квітень	45	40	40	10,24
Травень	35	35	35	8,96
Червень	15	15	15	3,84
Липень	15	15	15	3,84
Серпень	25	15	15	3,84
Вересень	35	35	35	8,96
Жовтень	40	40	40	10,24
Листопад	45	40	40	10,24
Грудень	50	40	40	10,24
Всього	430	400	400	102,4

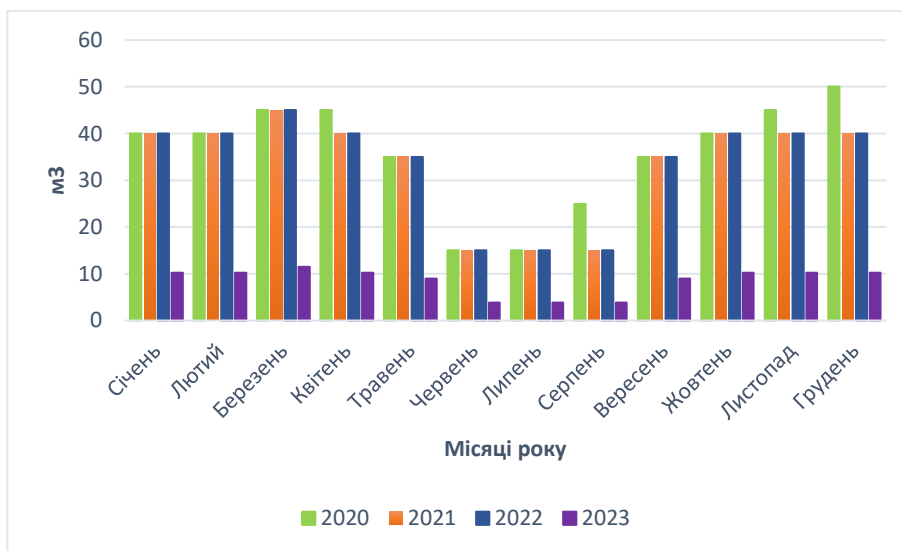


Рисунок 2.8 – Ліміти споживання гарячої води 2020-2023 роки

Згідно з нормами споживання гарячої води для загальноосвітніх шкіл [17, табл. А2], встановлено для 105 учнів Сумської області нормою 8 л/дитину. Для закладу загальної середньої освіти фактичне споживання на одного учня становить:

– 2020 рік: 10,05 л/дитину;

- 2021 рік: 11,87 л/дитину;
- 2022 рік: 6,03 л/дитину.

Фактичне споживання за 2020-2021 роки перевищує встановлену норму, що є недопустимим проте є потенціал до економії споживання гарячої води.

2.2 Висновки за розділом

В даному розділі було розглянуто споживання енергоносіїв і води, та порівняно з нормативними значеннями. Сумський заклад загальної середньої освіти спеціальна школа загалом не перевищує нормативні показники, окрім споживання гарячої води.

Для того аби проаналізувати потенціал економії ресурсів на рисунку 2.9 представлено діаграму, де зображено вартість спожитих енергоресурсів та води за 2022 рік.

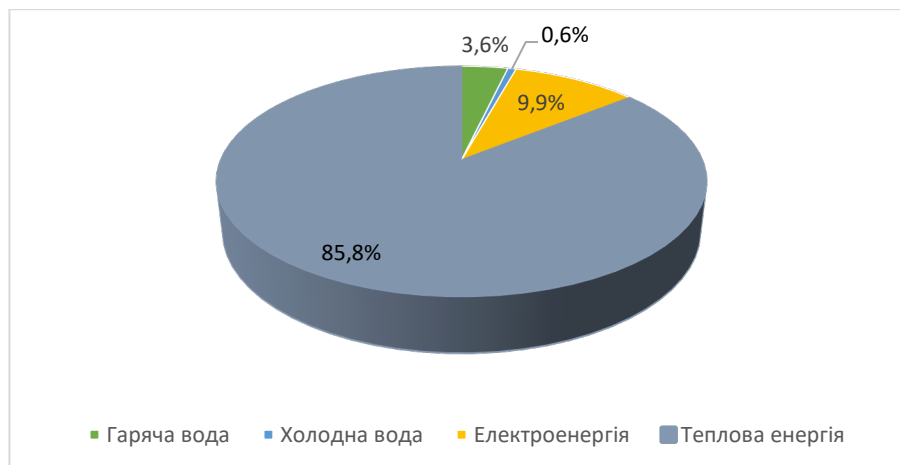


Рисунок 2.9 – Вартість спожитих енергоресурсів та води за 2022 рік

З діаграми видно, що найбільше фінансів потребує оплата за теплову енергію, тому це головний фактор для економії за допомогою енергозберігаючих засобів.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

У таблиці 3.1 наведено дані та результати розрахунків опору теплопередачі стін та інших зовнішніх конструктивних елементів, проведених за допомогою даних огорожувальних конструкцій та методичних вказівок [18, додаток Б, табл. 15].

Таблиця 3.1 – Дані та результати розрахунків опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

№ п/п	Найменування конструктивного елемента	Матеріал шару	Товщина шару, δ_i , м	Тепло-провідність $\lambda_i, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$R_{\Sigma \text{пр}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$R_{\Sigma \text{пр}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
1	Стіни	Кладка з цегли силікатної на цементно-піщаному розчині	0,64	0,78	1,02	4,0
		Цементно-піщана штукатурка	0,03	0,81		
2	Суміщене покриття	Залізобетонна плита	0,22	1,92	1,31	7,0
		Цементно-піщана стяжка	0,05	0,81		
		Гравійна засипка	0,2	0,23		
		Руберойд	0,012	0,17		

Продовження таблиці 3.1

№ п/п	Найменування конструктивного елементу	Матеріал шару	Товщина шару, δ_i , м	Тепло- провід ність $\lambda_i, \frac{Вт}{м \cdot К}$	$R_{\Sigma пр}$, $\frac{м^2 \cdot К}{Вт}$		$R_{q min}$, $\frac{м^2 \cdot К}{Вт}$
3	Вікна	Металопластикові з двокамерним склопакетом	-	-	0,7	0,57	0,9
		Дерев'яні	-	-	0,44		
4	Підлога	Залізобетонна плита	0,22	1,92	0,45		5,0
		Розчин цементно- піщаний	0,04	0,81			
		Лінолеум ПВХ	0,003	0,35			
5	Двері	Сталеві	0,003	58	0,1 6	0,27	0,6
		Металопластикові	0,05	0,43	0,2 7		
		Дерев'яні	0,05	0,23	0,3 8		

Отримані результати ($R_{\Sigma пр} \ll R_{q min}$) свідчать про невідповідність дійсного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій нормативним вимогам [18, табл. 1]. Це говорить про незадовільні теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій, що вимагає впровадження енергозберігаючих заходів аби збільшити опір теплопередачі.

3.1 Проведення розрахунку опору теплопередачі

Приведений опір теплопередачі дійсних огорожувальних конструкцій $R_{\Sigma пр}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, має бути не меншим від $R_{q \text{ min}}$, які визначаються виходячи із санітарно-гігієнічних і комфортних умов та умов енергозбереження [18].

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 С та більше, обов'язкове виконання умов [18]:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q \text{ min}}, \quad (3.1)$$

де $R_{\Sigma пр}$ – приведений (дійсний) опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

$R_{q \text{ min}}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

Мінімально допустиме значення, $R_{q \text{ min}}$, опору теплопередачі зовнішніх непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій і дверей житлових і громадських будинків залежно від температурної зони експлуатації будинку, яку беруть згідно норм [18, додаток Б, табл. 6].

Термічний опір i -го шару конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ розраховують за формулою [18]:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}, \quad (3.2)$$

де δ_i – товщина i -го шару конструкції, м;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ [18, додаток Б, табл. 15].

Дійсний опір теплопередачі, $R_{\Sigma np}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, для огорожувальної конструкції при перевірці виконання умови за формулою (3.1) розраховують за формулою [18]:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (3.3)$$

де α_6, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [18, додаток Б, табл. 9];

δ_i – товщина i -го шару конструкції, м;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ [18, додаток Б, табл. 15];

n – кількість шарів у конструкції за напрямком теплового потоку;

R_i – термічний опір i -го шару конструкції, згідно з формулою (3.2), $\text{м}^2 \text{К} / \text{Вт}$.

Розрахунок опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

1. Стіни

Кладка з цегли силікатної на цементно-піщаному розчині товщиною $\delta_1 = 0,64$ м із теплопровідністю $\lambda_1 = 0,78 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$.

Цементно-піщана штукатурка товщиною $\delta_2 = 0,03$ м із теплопровідністю $\lambda_2 = 0,81 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$.

Термічний опір теплопередачі стін визначається за формулою (3.3):

$$R_{\Sigma np}^{ст} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,64}{0,78} + \frac{0,03}{0,81} + \frac{1}{23} = 1,02 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

2. Суміщене покриття

Залізобетонна плита товщиною $\delta_3 = 0,22$ м із теплопровідністю $\lambda_3 = 1,92 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$.

Цементно-піщана стяжка товщиною $\delta_4 = 0,05$ м із теплопровідністю $\lambda_4 = 0,81$ Вт/(м·К).

Гравійна засипка товщиною $\delta_5 = 0,2$ м із теплопровідністю $\lambda_5 = 0,23$ Вт/(м·К).

Руберойд товщиною $\delta_6 = 0,012$ м (3 шари товщиною 0,004 м) із теплопровідністю $\lambda_6 = 0,17$ Вт/(м·К).

Термічний опір теплопередачі стін визначається за формулою (3.3):

$$R_{\Sigma пр}^{стл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{0,2}{0,23} + \frac{0,012}{0,17} + \frac{1}{23} = 1,31 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

3. Вікна

Два типи вікон: металопластикові з двокамерним склопакетом $R_{\Sigma пр} = 0,7$ м²·К/Вт, дерев'яні $R_{\Sigma пр} = 0,44$ м²·К/Вт.

Середній термічний опір теплопередачі вікон становить

$$R_{\Sigma пр}^{вкн} = \frac{0,7 + 0,44}{2} = 0,57 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

4. Підлога

Залізобетонна плита товщиною $\delta_7 = 0,22$ м із теплопровідністю $\lambda_7 = 1,92$ Вт/(м·К).

Розчин цементно-піщаний товщиною $\delta_8 = 0,04$ м із теплопровідністю $\lambda_8 = 0,81$ Вт/(м·К).

Лінолеум ПВХ товщиною $\delta_9 = 0,003$ м із теплопровідністю $\lambda_9 = 0,35$ Вт/(м·К).

Термічний опір теплопередачі підлоги визначають за формулою (3.3):

$$R_{\Sigma пр}^{пдл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{0,04}{0,81} + \frac{0,003}{0,35} + \frac{1}{6} = 0,45 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

5. Двері

						Аркуш
						37
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У будівлі наявно три типи дверей: сталеві товщиною $\delta_{10} = 0,003$ м із теплопровідністю $\lambda_{10} = 58$ Вт/(м·К); металопластикові товщиною $\delta_{11} = 0,05$ м із теплопровідністю $\lambda_{11} = 0,43$ Вт/(м·К); дерев'яні товщиною $\delta_{12} = 0,05$ м із теплопровідністю $\lambda_{12} = 0,23$ Вт/(м·К).

Термічний опір для кожного виду дверей розраховуємо за формулою (3.3)

$$R_{\Sigma пр}^{ст.дв} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,003}{58} + \frac{1}{23} = 0,16 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

$$R_{\Sigma пр}^{м.п..дв} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,43} + \frac{1}{23} = 0,27 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

$$R_{\Sigma пр}^{ст.дв} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,23} + \frac{1}{23} = 0,38 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

Середній термічний опір теплопередачі дверей становить

$$R_{\Sigma пр}^{дв} = \frac{0,16 + 0,27 + 0,38}{3} = 0,27 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

Дивлячись на таблицю 4.1, відразу видно, що дійсний стан огорожувальних конструкцій не відповідає встановленим нормам та потребують впровадження енергозберігаючих заходів для збільшення їх опору теплопередачі.

3.2 Розрахунок теплових втрат через стіни та інші конструктивні елементи

Тепловтрати крізь стіни, світлові та дверні прорізи, стелю, дахові перекриття, неутеплену підлогу, Вт, визначаються за загальною формулою [18]:

$$Q = \frac{F_{орг}}{R_0} \cdot (t_v - t_{зр}) \cdot n, \quad (3.4)$$

де $F_{огр}$ – розрахункова площа поверхні огорожувальної конструкції по внутрішніх її межах, м²;

R_0 – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт, для визначення тепловтрат при дійсному стані будівлі у формулу підставляється лише величина $R_{\Sigma пр}$;

$t_{в}, t_{з,р}$ – відповідно температури всередині приміщення і розрахункової зовнішнього повітря [18, додаток Б, табл. 8], °С:

n – коефіцієнт, прийнятий залежно від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції відносно зовнішнього повітря [18, додаток Б, табл. 12].

Додаткові тепловтрати крізь зовнішні стіни, обумовлені орієнтацією будинків [18, пункт 2.2].

$$Q_{ор}^Д = Q_{ст} \cdot \beta_{ор}, \quad (3.5)$$

де $Q_{ст}$ – тепловтрати крізь кожну зовнішню стіну приміщень, Вт;

$\beta_{ор}$ – коефіцієнт добавки на орієнтацію зовнішньої стіни щодо сторін світу.

При практичних розрахунках допускається для всіх зовнішніх стін будинку, незалежно від орієнтації, брати $\beta_{ор} = 0,13$ – при двох і більше зовнішніх стін у приміщенні.

Додаткові тепловтрати через неутеплені підлоги, розташовані на ґрунті або над холодними підвалами [18, пункт 2.2]:

$$Q_{пдл}^Д = 0,05 \cdot Q_{пдл}, \quad (3.6)$$

де $Q_{пдл}$ – втрати теплоти через неутеплені підлоги, Вт.

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря крізь світлові та дверні прорізи, Вт, визначаються за такою формулою [18, пункт 2.3]:

$$Q_{вкн}^{інф} = 0,28 \cdot G_H \cdot F_{вкн} \cdot c \cdot (t_{в} - t_{зр}), \quad (3.7)$$

						Аркуш
						39
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де c – питома теплоємність повітря, що дорівнює $1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{}^\circ\text{С}$;

$t_{в}, t_{з.р}$ – відповідно температури внутрішнього повітря приміщення і розрахункового зовнішнього повітря [18, додаток Б, табл. 8], $^\circ\text{С}$;

G_n – кількість інфільтрованого холодного повітря крізь нещільність віконного огородження, для розрахунків беруть нормативну повітропроникність віконних прорізів, $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ [18, додаток Б, табл. 13]; для зовнішніх дверей $G_n = 6 \text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$;

$F_{вкн}$ – площа віконного або утепленого дверного прорізу, м^2 .

Додаткові тепловтрати на витяжну (природну) вентиляцію з припливом зовнішнього повітря крізь спеціальні вентиляційні отвори розрахунок втрат теплоти на вентиляцію $Q_{в}$, Вт, виконується за такою залежністю [18, пункт 2.3]:

$$Q_{в} = 0,28 \cdot V_{\Pi} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{в} - t_{з.р}) \cdot n_{к} \cdot k_{v}, \quad (3.8)$$

де c – питома теплоємність повітря, що дорівнює $1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{}^\circ\text{С}$;

$t_{в}, t_{з.р}$ – відповідно температури внутрішнього повітря приміщення і розрахункового зовнішнього повітря [18, додаток Б, табл. 8], $^\circ\text{С}$;

V_{Π} – внутрішній об'єм приміщення (будівлі), м^3 ;

ρ – густина повітря, яке видаляється з приміщення, $\rho = 1,3 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$n_{к}$ – кратність повітрообміну приміщення, год^{-1} ;

k_v – коефіцієнт, що враховує зменшення внутрішнього об'єму приміщення внаслідок розташування в ньому різного обладнання, приймаємо $k_v = 0,85$.

Середня кратність повітрообміну громадського будинку $n_{к}$, год^{-1} , визначається за сумарним повітрообміном за рахунок вентиляції та інфільтрації за формулою [18, пункт 2.3]:

$$n_{к} = \frac{\left[\frac{L_v \cdot n_v}{24} + \left(\frac{G_{\text{інф}} \cdot \eta \cdot n_{\text{інф}}}{24 \cdot \rho c} \right) \right]}{v_v \cdot V_{\Pi}}, \quad (3.9)$$

						Аркуш
						40
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де L_V – кількість припливного повітря в будинок у разі природної вентиляції або нормативне значення під час механічної вентиляції, м³/год, і дорівнює для навчальних закладів $7 \times F_p$;

v_V – коефіцієнт зниження об'єму повітря у приміщенні, яким враховується наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій, приймаємо $v_V = 0,85$;

F_p – розрахункова площа будівлі, м²;

n_V – кількість годин роботи природної вентиляції протягом однієї доби, год;

n_{inf} – кількість годин інфільтрації повітря всередині будинку зі збалансованою припливно-витяжною вентиляцією дорівнює 24 год;

G_{inf} – кількість повітря, що інфільтрується крізь огорожувальні конструкції в неробочий час, кг/год, беруть $G_{inf} = 0,5 \cdot v_V \cdot V_{II}$;

ρ_c – середня густина повітря, що надходить у приміщення за рахунок інфільтрації та вентиляції (3.10), кг/м³;

η – коефіцієнт впливу зустрічного теплового потоку в огорожувальних конструкціях, приймаємо 0,8;

Середня густина повітряних мас знаходиться за формулою [18, пункт 2.3]:

$$\rho_c = \frac{353}{[273 + 0,5(t_b + t_{cp.on})]} \quad (3.10)$$

де $t_{cp.on}$ – середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря, °С.

Розрахунок теплових витрат

Під час виміру термометром в середині Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа було виявлено, що температура повітря становить 18⁰С, що не відповідає вимогам [14, табл. В.2].

Відповідно до нормативних документів [14] місто Суми розташоване в I температурній зоні України, тому слід приймати такі розрахункові величини:

- 1) Значення внутрішньої температури приміщень $t_b = 18^0\text{C}$;
- 2) Температура зовнішнього повітря $t_{3.p.} = -25^0\text{C}$ [19, табл. 2].

						Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		41

1. Теплові втрати через зовнішні стіни розраховують за формулою (3.4):

$$F_{\text{ст}} = 1282,19 \text{ м}^2, R_{\text{ст}} = 1,02 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{С}, t_{\text{з.р.}} = -25^{\circ}\text{С}, n = 1$$

$$Q_{\text{ст}} = \frac{1282,19}{1,02} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 54053,11 \text{ Вт}$$

2. Теплові втрати через дах розраховують за формулою (4.4):

$$F_{\text{дах}} = 1268,54 \text{ м}^2, R_{\text{дах}} = 1,31 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{С}, t_{\text{з.р.}} = -25^{\circ}\text{С}, n = 1$$

$$Q_{\text{дах}} = \frac{1268,54}{1,31} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 41639,1 \text{ Вт}$$

3. Теплові втрати через вікна розраховують за формулою (4.4):

Через металопластикові:

$$F_{\text{м.п.вкн}} = 291,4 \text{ м}^2, R_{\text{м.п.вкн}} = 0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{С}, t_{\text{з.р.}} = -25^{\circ}\text{С}, n = 1$$

$$Q_{\text{м.п.вкн}} = \frac{291,4}{0,7} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 17900,29 \text{ Вт}$$

Через дерев'яні:

$$F_{\text{д.вкн}} = 241,87 \text{ м}^2, R_{\text{д.вкн}} = 0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{С}, t_{\text{з.р.}} = -25^{\circ}\text{С}, n = 1$$

$$Q_{\text{д.вкн}} = \frac{241,87}{0,44} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 23637,30 \text{ Вт}$$

4. Теплові втрати через підлогу розраховують за формулою (4.4):

$$F_{\text{пдл}} = 1268,54 \text{ м}^2, R_{\text{пдл}} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{С}, t_{\text{з.р.}} = -25^{\circ}\text{С}, n = 1$$

$$Q_{\text{пдл}} = \frac{1268,54}{0,45} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 121216 \text{ Вт}$$

5. Теплові втрати через двері розраховують за формулою (4.4):

									Аркуш
									42
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

Через металопластикові:

$$F_{\text{м.п.дв}} = 2,25 \text{ м}^2, R_{\text{м.п.вкн}} = 0,27 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}, t_{\text{з.р.}} = -25^{\circ}\text{C}, n = 1$$

$$Q_{\text{м.п.дв}} = \frac{2,25}{0,27} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 254,61 \text{ Вт}$$

Через дерев'яні:

$$F_{\text{д.дв}} = 35,1 \text{ м}^2, R_{\text{д.дв}} = 0,38 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}, t_{\text{з.р.}} = -25^{\circ}\text{C}, n = 1$$

$$Q_{\text{д.дв}} = \frac{35,1}{0,38} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 9433,13 \text{ Вт}$$

Через сталеві:

$$F_{\text{с.дв}} = 1,8 \text{ м}^2, R_{\text{с.дв}} = 0,16 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}, t_{\text{з.р.}} = -25^{\circ}\text{C}, n = 1$$

$$Q_{\text{с.дв}} = \frac{1,8}{0,16} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 286,67 \text{ Вт}$$

Додаткові тепловтрати крізь зовнішні стіни, обумовлені орієнтацією будинків розраховують за формулою (3.5):

$$Q_{\text{ор}}^{\text{д}} = 54053,11 \cdot 0,13 = 7026,90 \text{ Вт}$$

Додаткові тепловтрати через неутеплені підлоги, розташовані на ґрунті або над холодними підвалами розраховують за формулою (3.6):

$$Q_{\text{пдл}}^{\text{д}} = 0,05 \cdot 121216 = 6060,80 \text{ Вт}$$

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря крізь світлові та дверні прорізи визначаються за формулою (3.7):

						Аркуш
						43
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{ВКН}}^{\text{інф}} = 0,28 \cdot 6 \cdot 533,27 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-25)) = 38716,04 \text{ Вт}$$

Додаткові тепловтрати на природну вентиляцію розраховують за формулою (3.8), але для початку розрахуємо середню густину повітряних мас (3.10) та кратність повітрообміну (3.9):

$$\rho_c = \frac{353}{[273 + 0,5 \cdot (18 + (-0,6))]} = 1,25$$

$$n_k = \frac{\left[\frac{7 \cdot 1268,54 \cdot 24}{24} + \left(\frac{0,5 \cdot 0,85 \cdot 6459,6 \cdot 0,8 \cdot 24}{24 \cdot 1,25} \right) \right]}{0,85 \cdot 6459,6} = 1,94 \text{ год}^{-1}$$

Тоді додаткові тепловтрати на природну вентиляцію становлять:

$$Q_v = 0,28 \cdot 6459,6 \cdot 1,3 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-25)) \cdot 1,94 \cdot 0,85 = 167250,98 \text{ Вт}$$

У таблиці 3.2 та на рисунку 3.1 представлено аналіз отриманих результатів підрахунків. Для кращого сприйняття результати тепловтрат показі у відсотках.

Таблиця 3.2 – Тепловтрати через огорожувальні конструктивні елементи

Складова тепловтрат	Втрати теплоти, кВт	%
Стіни	61,08	12,5
Дах	41,64	8,5
Вікна	41,54	8,5
Підлога	127,28	26,1
Двері	9,97	2,1
Інфільтрація	38,72	8,0
Вентиляція	167,25	34,3
Всього	487,48	100

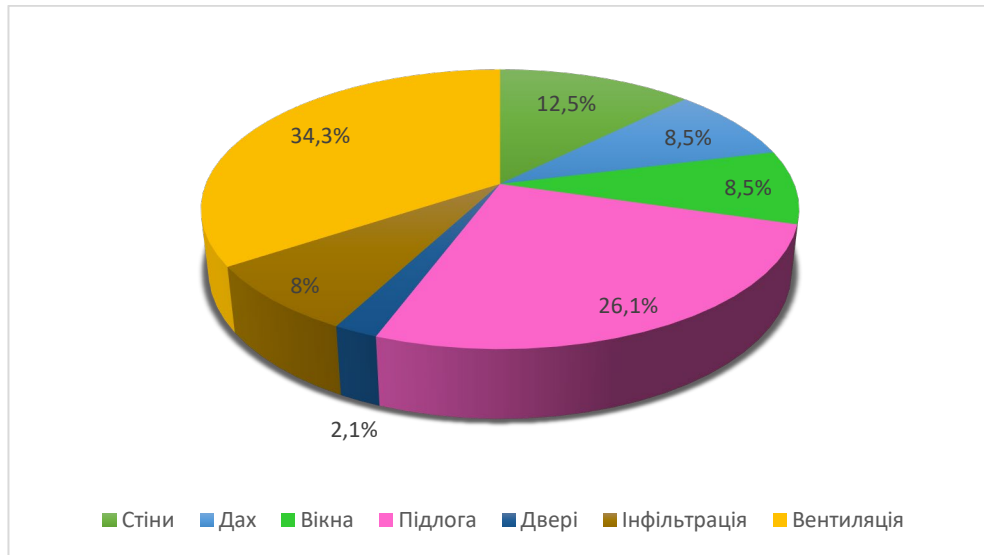


Рисунок 3.1 –Теплові втрати через огорожувальні конструкції

Як видно з рисунка 3.1 найбільше втрачається теплової енергії через вентиляцію 167,25 кВт (34,3%), підлогу 127,28 кВт (26,1%) та стіни 61,08 кВт (12,5%). Тому саме на ці елементи краще звернути увагу та модернізувати систему вентиляцію, утеплити підлогу та стіни.

3.3 Визначення видів теплонадходжень до будівлі

Теплонадходження від людей [18, пункт 3.1]:

$$Q_l = q_l \cdot n_l, \quad (3.11)$$

де q_l – явні теплонадходження від людей, Вт [18, додаток Б, табл. 11];

n_l – кількість людей (осереднена), які знаходяться у приміщенні протягом однієї години.

Теплонадходження від джерел освітлення [18, пункт 3.1]:

$$Q_{осв} = N_l \cdot k_{осв} \cdot n_{св} \cdot k_{з}, \quad (3.12)$$

де N_l – потужність одного джерела освітлення, Вт;

$k_{ocв}$ – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову (лампи розжарення – $k_{ocв}= 0,95$; люмінесцентні лампи – $k_{ocв}= 0,4$);

k_3 – коефіцієнт завантаження освітлення (відношення періоду роботи світильника у хвилинах до кількості хвилин за годину);

$n_{св}$ – кількість однотипних джерел освітлення.

Теплонадходження від сонячної радіації [18, пункт 3.1]:

$$Q_{рад} = q_c \cdot F_c \cdot k_{в.п.} + q_T \cdot F_T \cdot k_{в.п.}, \quad (3.13)$$

де q_c , q_T – відповідно тепловий потік, що надходить через 1 м² скла, освітленого сонцем і в тіні, Вт/м² ($q_c = 250$ Вт/м²; $q_T = 100$ Вт/м²);

F_c , F_T – площі заповнення світлових прорізів, відповідно освітлених і затінених, м²;

$k_{в.п.}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу: при наполовину затіненому вікні $k_{о.п.} = 0,5$.

Розрахунок теплонадходжень

Теплонадходження від людей обчислюємо за формулою (3.11). Але враховуємо, що у навчальному закладі працює 5 чоловіків, 28 жінок та навчається 105 учнів. Температура в школі становить 18⁰С.

$$Q_{л} = 5 \cdot 104 + 28 \cdot 104 \cdot 0,85 + 105 \cdot 104 \cdot 0,75 = 11,19 \text{ кВт}$$

Теплонадходження від джерел освітлення обчислюємо за формулою (3.12). Для розрахунку використаємо дані, що наведені в додатку В.1, у 2022 році 257 робочих днів.

Коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову для ламп розжарювання – 0,95; для люмінесцентних ламп – 0,4; для світлодіодних ламп – 0,63.

Сумський заклад загальної середньої освіти спеціальна школа функціонує з 8:00 до 18:00.

									Аркуш
									46
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

Взимку та восени освітлення функціонує з 9:00 до 18:00 – 9 год на добу.

Лампи розжарювання:

- потужністю 40 Вт: $Q_{\text{осв1}} = 40 \cdot 0,95 \cdot 9 \cdot 19 = 6498$ Вт;
- потужністю 60 Вт: $Q_{\text{осв2}} = 60 \cdot 0,95 \cdot 9 \cdot 10 = 5130$ Вт;

Люмінесцентна лампа:

- потужністю 18 Вт: $Q_{\text{осв3}} = 18 \cdot 0,4 \cdot 9 \cdot 228 = 14774,4$ Вт;
- потужністю 36 Вт: $Q_{\text{осв4}} = 36 \cdot 0,4 \cdot 9 \cdot 148 = 19180,8$ Вт;

Компактна люмінесцентна лампа:

- потужністю 7 Вт: $Q_{\text{осв5}} = 7 \cdot 0,4 \cdot 9 \cdot 16 = 403,2$ Вт;
- потужністю 11 Вт: $Q_{\text{осв6}} = 11 \cdot 0,4 \cdot 9 \cdot 12 = 475,2$ Вт;

Світлодіодна лампа:

- потужністю 5 Вт: $Q_{\text{осв7}} = 5 \cdot 0,63 \cdot 9 \cdot 60 = 1701$ Вт;
- потужністю 7 Вт: $Q_{\text{осв8}} = 7 \cdot 0,63 \cdot 9 \cdot 50 = 1984,5$ Вт;
- потужністю 10 Вт: $Q_{\text{осв9}} = 10 \cdot 0,63 \cdot 9 \cdot 29 = 1644,3$ Вт;

Світлодіодний світильник:

- потужністю 12 Вт: $Q_{\text{осв10}} = 12 \cdot 0,63 \cdot 9 \cdot 9 = 612,4$ Вт;
- потужністю 13 Вт: $Q_{\text{осв11}} = 13 \cdot 0,63 \cdot 9 \cdot 2 = 147,4$ Вт;
- потужністю 15 Вт: $Q_{\text{осв12}} = 15 \cdot 0,63 \cdot 9 \cdot 2 = 170,1$ Вт;
- потужністю 36 Вт: $Q_{\text{осв13}} = 36 \cdot 0,63 \cdot 9 \cdot 35 = 7144,2$ Вт;
- потужністю 50 Вт: $Q_{\text{осв14}} = 50 \cdot 0,63 \cdot 9 \cdot 5 = 1417,5$ Вт.

Загальні теплонадходження від джерел освітлення становлять:

$$Q_{\text{осв}} = 6498 + 5130 + 14774,4 + 19180,8 + 403,2 + 475,2 + 1701 + 1984,5 + 164,3 + 612,4 + 147,4 + 170,1 + 7144,2 + 1417,5 = 61282,98 \text{ Вт або } 61,28 \text{ кВт.}$$

Теплонадходження від сонячної радіації визначають за формулою (3.13):

$$Q_{\text{рад}} = 250 \cdot 304,05 \cdot 0,5 + 100 \cdot 229,22 \cdot 0,5 = 49467,25 \text{ Вт або } 49,47 \text{ кВт}$$

3.4 Розрахунок теплової потужності всієї будівлі

Теплова потужність будівлі – це та потужність теплової енергії, яка необхідна для підтримання у приміщеннях тепловологісного балансу, що визначає санітарно-гігієнічний комфорт за нормованими показниками [18, пункт 3.3].

Для початку необхідно знайти фактичну питому опалювальну характеристику будівлі [18, пункт 3.4], Вт/м³·°С:

$$q_{\text{пит}}^{\Phi} = \frac{P_{\phi}}{F_{\phi}} \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТН}}} + g_0 \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ВКН}}} - \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТН}}} \right) \right) + \frac{1}{H_{\phi}} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТЛ}}} + 0,6 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ПДЛГ}}} \right), \quad (3.14)$$

де p_{ϕ} – периметр будівлі за зовнішніми розмірами огорожувальних конструкцій, м;

F_{ϕ} – площа будівлі в межах периметра, м²;

H_{ϕ} – висота будівлі з урахуванням усіх опалювальних приміщень, м;

g_0 – коефіцієнт скління будівлі (відношення площі скління до площі зовнішніх стін);

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{cm}}$ – приведений опір теплопередачі всіх вертикальних зовнішніх стін, м²·К/Вт (таблиця 3.1);

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{cmл}}$ – приведений опір теплопередачі стелі будівлі, м²·К/Вт (таблиця 3.1);

ΣR_n – термічний опір теплопередачі підлоги будівлі, м²·К/Вт (таблиця 3.1);

$R_{q,\text{min}}^{\text{вкн}}$ – опір теплопередачі вікон, м²·К/Вт (таблиця 3.1).

Після визначення фактичної питомої характеристики будівлі розраховують теплову потужність цієї будівлі за збільшеними показниками, Вт [18, пункт 3.4]:

$$Q_{\phi} = a \cdot q_{\text{пит}}^{\Phi} \cdot V_{\phi} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з.р}}) \cdot 10^{-3}, \quad (3.15)$$

де a – поправковий коефіцієнт: $a = 0,54 + \frac{22}{(t_{\text{в}}^{\text{cp}} - t_{\text{з.р}})}$;

V_6 – зовнішній об'єм будівлі, м³;

$t_{ср.в}$ – осереднена температура по приміщеннях будівлі, °С;

$t_{з.р}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для температурної зони, де розташована будівля, °С [18, додаток Б, табл. 8].

Розрахункова величина теплової потужності будівлі за весь опалювальний період, кВт·год, визначається як [18, пункт 4]:

$$Q_{р.оп} = Q_6 \cdot \frac{(t_{в}^{ср} - t_{ср.п})}{(t_{в}^{ср} - t_{з.р})} \cdot n_{оп} \cdot 24 \cdot 10^{-4}, \quad (3.16)$$

де $t_{ср.в}$ – внутрішня температура приміщень будівлі, °С;

$t_{ср.оп}$ – середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря за відповідний період, °С;

$t_{з.р}$ – розрахункова температура за опалювальний період [18, додаток Б, табл. 8], °С;

$n_{оп}$ – тривалість опалювального періоду (діб) за кількістю днів

Розрахунок теплової потужності

Приймаємо згідно з нормативних документів [14] місто Суми розташоване в І температурній зоні України, тому слід розрахункові величини наступні:

- 1) Значення внутрішньої температури приміщень $t_{в} = 18^{\circ}\text{C}$;
- 2) Температура зовнішнього повітря $t_{з.р} = - 25^{\circ}\text{C}$ [19, табл. 2].

Фактична питома опалювальна характеристика будівлі (3.14):

$$q_{пит}^{\phi} = \frac{275}{1268,54} \cdot \left(\frac{1}{1,02} + 0,29 \cdot \left(\frac{1}{0,57} - \frac{1}{1,02} \right) \right) + \frac{1}{6,5} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{1,31} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,45} \right) \\ = 0,57 \text{ Вт/м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Максимальна розрахункова тепла потужність будівлі (3.15)

$$Q_6 = 0,96 \cdot 0,57 \cdot 8245,51 \cdot (18 - (-25)) \cdot 10^{-3} = 194,01 \text{ кВт або } Q_6 = 0,167 \text{ Гкал}$$

Розрахункова величина теплової енергії (3.16), яка необхідна була для опалення всієї будівлі за опалювальний період 2021–2022 року (151 діб, 3624 год), при умові дотримання температурного режиму у системі тепlopостачання, та середній температурі за опалювальний сезон (01.11.2021–31.03.2022) $-0,6^{\circ}\text{C}$ буде становити:

$$Q_{p,op} = 194,01 \cdot \frac{(18 - (-0,6))}{(18 - (-25))} \cdot 151 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 261,56 \text{ Гкал}$$

Відповідно до отриманих даних по Сумському закладі загальної середньої освіти спеціальна школа приймається базовий порівняльний опалювальний період 2021–2022 року, фактичні обсяги теплоспоживання на опалення становлять $Q_{ф,оп} = 211 \text{ Гкал}$. Фактична величина є меншою від необхідної розрахункової на 19 %.

Згідно з розрахунками видно, що заклад не отримує у повному обсязі теплової енергії від системи тепlopостачання. Однією з причин може бути недодержання температурного графіку у магістральних мережах, або через неможливість прогнозування регулювань обсягів теплонадходження, бо відсутнє відповідне обладнання, яке забезпечить моніторинг у керуванні режимами роботи системи тепlopостачання будівлі.

Температура теплоносія, який подається у систему опалення, не відповідає затвердженому температурному графіку централізованого тепlopостачання, до якого під'єднаний заклад. Облікові показники температури теплоносія на вході у тепловпункт, які при середньодобовій температурі зовнішнього повітря 0°C дорівнюють у середньому значенні $58,1^{\circ}\text{C}$ (див. таблиця 2.3).

На рисунку 3.2 представлено графіки базового (фактичного) рівня теплоспоживання та за нормативними розрахунковими показниками Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа.

						Аркуш
						50
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

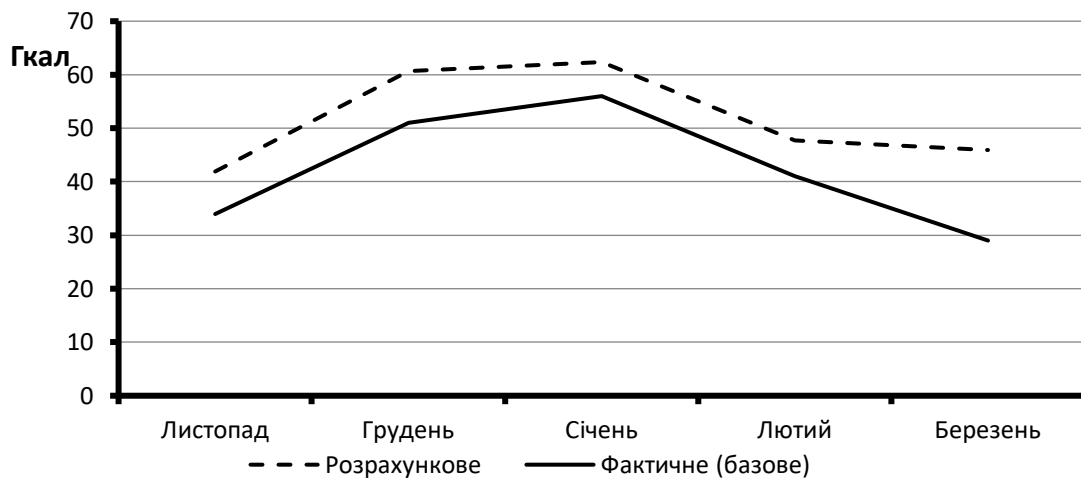


Рисунок 3.2 – Співвідношення базового теплоспоживання з розрахунковим теплоспоживанням за опалювальний період 2021–2022 роки

3.5 Висновки за розділом

На даному етапі енергетичного аудита було визначено опір теплопередач, основні та додаткові тепловтрати конструктивних елементів, теплонадходження до будівлі та тепла потужність закладу. З розрахунків опору теплопередачі, основних та додаткових тепловтрат можна зробити висновок, що навчальний заклад потребує модернізації системи вентиляції, утеплення підлоги та стін для пониження показників енергоспоживання та витрат коштів.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ

4.1 Перелік енергозберігаючих заходів

За результатами проведеного енергетичного аудиту запропоновані наступні заходи:

- утеплення огорожувальних конструкцій – підлоги;
- встановлення рекуператора теплоти в систему вентиляції;
- утеплення огорожувальних конструкцій – стін;
- встановлення системи моніторингу на систему теплозабезпечення.

4.1.1 Утеплення огорожувальних конструкцій – підлоги

З діаграми на рисунку 3.1 видно, що значна частина втрат тепла – 26,1% становить через підлогу, бо відсутня її гідроізоляція та теплоізоляція. Тому необхідно утеплити підлогу першого поверху для подальшої економії.

Для утеплення підлоги, яка складається з залізобетонних плит товщиною 0,22 м, розчину цементно-піщаному товщиною 0,04 м та лінолеуму ПВХ товщиною 0,003 м пропонується базальтова вата Rockwool Wentirock Max з теплопровідністю 0,036 Вт/м²·К [20].

Необхідну товщину теплоізоляційного шару $\delta_{ут}$, м для утеплення огорожувальних конструкцій визначають з формули [21, пункт 1]:

$$\delta_{ут} = [R_{q \min} - (\frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3})] \cdot \lambda_{ут} = [R_{q \min} - R_{\Sigma пр}] \cdot \lambda_{ут}, \quad (4.1)$$

де $\lambda_{ут}$ – теплопровідність матеріалу теплоізоляції, Вт/м²·К [18, додаток Б, табл. 15];

						Аркуш
						52
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$\alpha_{в}$ та $\alpha_{з}$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/м²·К [18, додаток Б, табл. 9];

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу і-го шару конструкції у розрахункових умовах експлуатації, Вт/м·К;

δ_i – товщина і-го шару конструкції, м;

$R_{\Sigma пр}$ – дійсний опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт;

R_{qmin} – мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт.

Отже, товщина шару теплоізоляції становить:

$$\delta_{ут} = [5,0 - 0,45] \cdot 0,036 = 0,16 \text{ м}$$

Так як немає мінерального утеплювача з такою товщиною, ми обираємо найбільш ближчий – 0,15 м [20].

Площа підлоги становить 1268,54 м². Теплові втрати складають 127276,8 Вт.

Втрати теплової енергії через стіни після запровадження заходу становитимуть (3.4):

$$Q_{\text{пдл}}^2 = \frac{1268,54}{5,0} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 10909,44 \text{ Вт}$$

Економія витрат теплової енергії після утеплення [18]:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = 127276,8 - 10909,44 = 116367,36 \text{ Вт}$$

Річна економія теплової енергії після запровадження заходу:

$$Q_{\text{ст}}^{\text{Ек.рік}} = \Delta Q_{\text{ст}} \cdot \frac{(t_{\text{в}}^{\text{сп}} - t_{\text{сп.п}})}{(t_{\text{в}}^{\text{сп}} - t_{\text{з.р}})} \cdot n_{\text{оп}} \cdot 24 \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}, \quad (4.2)$$

де $t_{\text{в}}^{\text{сп}}$ – внутрішня температура приміщень будівлі, °С;

					Аркуш
					53
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

$t_{cp.on}$ – середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря за даними гідрометеоцентру, °С;

$t_{з.р}$ – розрахункова за опалювальний період температура зовнішнього повітря [18, додаток Б, табл. 8], °С;

$n_{оп}$ – тривалість опалювального періоду (діб).

Згідно з формулою (4.2) річна економія становить:

$$Q_{ст}^{Ек.рік} = 116367,36 \cdot \frac{(18 - (-0,6))}{(18 - (-25))} \cdot 151 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 182416,5 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

$$Q_{ст}^{Ек.рік} = 182416,5 \cdot 0,00086 = 156,88 \text{ Гкал/рік}$$

У грошовому вигляді дана економія складатиме:

$$\Delta E = 156,88 \cdot 2630,57 = 412683,82 \text{ грн} = 412,68 \text{ тис. грн}$$

Так як у вартість теплоізоляційного матеріалу входять різні складові, то приблизні затрати кожної з них на 1 м² наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Ціни та витрати на матеріал для утеплення підлоги на 1 м²

Матеріал	Одиниця виміру	Кількість	Ціна на 1 м ² , грн
Базальтова вата Rockwool Wentirock Max 150 мм	м ²	1	178,50
Ґрунтовка глибокопроникна Ceresit СТ 17	л	0,5	38,25
Дюбель	шт	10	15,5
Шуруп 100 мм	шт	10	23
Гідроізоляційна плівка	м ²	1,5	24,10

Продовження таблиці 4.1

Матеріал	Одиниця виміру	Кількість	Ціна на 1 м ² , грн
Двостороння клейка стрічка для парогідробар'єру Mustang 30 мм × 25 м	м	2	15,28
Рейка монтажна Еталон-ліс	м.п.	2	50
Пароізоляційна плівка	м ²	1	18,40
Плита підлогова	м ²	1	45
Всього витрат на 1 м ²			438,03

Капіталовкладення на впровадження даного заходу розраховують за формулою [21]:

$$K_{\text{зах}} = K_{\text{осн}} + K_{\text{суп}}, \text{ грн} \quad (4.3)$$

де $K_{\text{осн}}$ – вартість придбання теплоізоляційного матеріалу, грн;

$K_{\text{суп}}$ – вартість монтажу ізоляції, грн.

Вартість закупівлі теплоізоляційного матеріалу становитимуть:

$$K_{\text{осн}} = 438,03 \cdot 1268,54 = 555658,58 \text{ грн}$$

Вартість монтажу становитимуть:

$$K_{\text{суп}} = 1268,54 \cdot 450 = 570843 \text{ грн}$$

Капіталовкладення на впровадження заходу (4.3):

$$K_{\text{зах}} = 555658,58 + 570843 = 1126501,58 \text{ грн} = 1126,50 \text{ тис. грн}$$

Простий термін окупності визначають з формули [21]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{зах}}}{\Delta E}, \quad (4.4)$$

де $K_{\text{зах}}$ – вартість впровадження енергозберігаючого заходу, грн;

ΔE – річна економія витрат після введення енергозбережного заходу, грн.

Таким чином, термін окупності становить (4.4):

$$T_{\text{ок}} = \frac{1126,50}{412,68} = 2,73 \text{ роки.}$$

Чистий дисконтований дохід є показником цінності проекту, який запроваджується.

При одномоментному здійсненні інвестиційних витрат NPV може бути визначений за формулою [22, пункт 3.2]:

$$NPV = \sum_{t=t_n}^T \frac{P_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (4.5)$$

де P_t – чистий грошовий потік (грошові надходження) у році t ;

I_0 – одномоментні інвестиційні витрати на реалізацію інвестиційного проекту;

r – дисконтна ставка, що використовується для приведення доходів та інвестиційних витрат до єдиного моменту часу (виражається у частках одиниць);

t_n – момент отримання першого доходу;

T – термін реалізації (життєвий цикл) інвестиційного проекту, років.

Приймається ставка дисконтування – 25%. Розрахунки дисконтованого методу NPV наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінка NPV

Рік	Капітальні витрати I, тис. грн	Грошовий потік P _t , тис. грн	Чистий дохід, тис. грн	Коефіцієнт дисконтування	Приведена дисконтна вартість, тис. грн	NPV, тис. грн
0	-1126,50	-1126,50	-1126,50	1	0	-1126,50
1	0	412,68	-713,82	0,80	330,14	-796,36
2	0	412,68	-301,14	0,64	264,12	-532,24
3	0	412,68	111,54	0,51	211,29	-320,95
4	0	412,68	524,22	0,41	169,03	-151,92
5	0	412,68	936,9	0,33	135,23	-16,69
6	0	412,68	1349,58	0,26	108,18	91,49
7	0	412,68	1762,26	0,21	86,55	178,04
8	0	412,68	2174,94	0,17	69,24	247,28
9	0	412,68	2587,62	0,13	55,39	302,66
10	0	412,68	3000,3	0,11	44,31	346,98
Разом					1473,48	

$$NPV = 1473,48 - 1126,50 = 346,98 \text{ тис. грн}$$

Так як $NPV > 0$, то даний захід є прибутковим та може бути впровадженим [22, пункт 3.2]. Чистий дохід за 10 років становить 3000,3 тис. грн, чистий дисконтований – 346,98 тис. грн.

Індекс дохідності PI є відносним показником і розраховується як відношення чистого приведенного доходу від реалізації проекту до початкових або приведених інвестиційних вкладень [22, пункт 3.2]:

$$PI = \frac{\sum_{t=t_0}^T \frac{P_t}{(1+r)^t}}{I_0} \text{ або } PI = \frac{\text{приведена дисконтна вартість}}{\text{чистий дохід}} \quad (4.6)$$

Отже, індекс дохідності становить:

$$PI = \frac{1473,48}{1126,50} = 1,31$$

Так як $PI > 1$, то запропонований захід є прибутковим та привабливий у реалізації.

Під критерієм внутрішня норма дохідності IRR розуміють таку розрахункову ставку приведення, за якої дохід від реалізації проекту дорівнює приведеним витратам на здійснення [22, пункт 3.2]:

$$NPV = \sum_{t=t_n}^T \frac{P_t}{(1+IRR)^t} - \sum_{t=0}^{t_3} \frac{I_t}{(1+IRR)^t} = 0, \quad (4.7)$$

де IRR – внутрішня норма дохідності за інвестиційним проектом.

Розрахунок IRR наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Оцінка IRR

Роки	Грошовий потік, тис. грн
0	-1126,50
1	412,68
2	412,68
3	412,68
4	412,68
5	412,68
6	412,68
7	412,68
8	412,68
9	412,68
10	412,68
IRR	35%

Так як $IRR > r$, даний проект можна запроваджувати.

Дисконтований термін окупності PP – період часу, за який дисконтовані доходи покривають величину дисконтованих інвестиційних витрат за проектом [22, пункт 3.2]:

$$PP = m + \frac{I - P_m}{P_{m+1}} \quad (4.8)$$

де $(m + 1)$ – рік, у якому проект окупиться;

P_{m+1} – дисконтовані грошові надходження за проектом в $(m + 1)$ -му році.

Тому PP становить:

$$PP = 3 + \frac{1126,50 - 805,55}{169,03} = 4,9 \text{ років}$$

Таким чином, запропонований енергоефективний проект є прибутковим та може піддається реалізації: капітальні вкладення складають 1126,50 тис. грн, чистий дисконтований дохід – 346,98 тис. грн, індекс дохідності – 1,31, внутрішня норма дохідності – 35%, дисконтований термін окупності – 4,9 років.

4.1.2 Встановлення рекуператора теплоти в систему вентиляції

З діаграми на рисунку 3.1 видно, що значна частина втрат тепла – 34,3% становить на вентиляцію будівлі, тому встановлення рекуператора теплоти допоможе скоротити витрати теплової енергії.

Пластинчастий рекуператор Vents (рисунок 4.1) працює для забезпечення збереження теплової енергії. Використання рекуператора дозволяє використовувати тепло повітря, що видаляється з приміщення для нагріву очищеного повітря, яке подається, і це дозволяє значно економити на обігріві приміщення і зменшити втрати теплової енергії в холодну пору року [23].

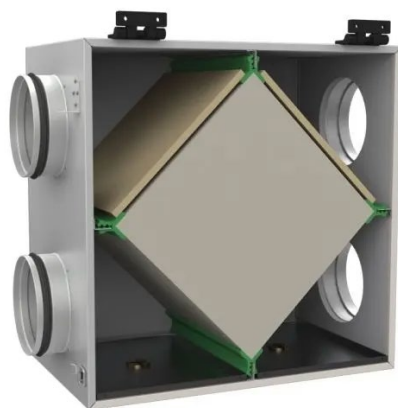


Рисунок 4.1 – Рекуператор Vents [23]

Масова втрата повітря, що проходить через рекуператор розраховують за формулою [21]:

$$G_{\text{рекуп}} = V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot k_{\text{q}}, \text{ кг/с} \quad (4.9)$$

де $V_{\text{п}}$ – внутрішній об'єм приміщення, м^3 ;

$\rho_{\text{с}}$ – густина повітря, яке видаляється з приміщення, приймаємо $\rho_{\text{с}} = 1,3 \text{ кг/м}^3$;

k_{q} – коефіцієнт тепловтрати, приймаємо 0,4.

Таким чином,

$$G_{\text{рекуп}} = 6459,6 \cdot 1,3 \cdot 0,4 = 3359 \text{ кг/с}$$

Масова втрата повітря, що вентилується розраховують за формулою [21]:

$$G_{\text{вент}} = V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot q, \text{ кг/с} \quad (4.10)$$

де $V_{\text{п}}$ – внутрішній об'єм приміщення, м^3 ;

$\rho_{\text{с}}$ – густина повітря, яке видаляється з приміщення, приймаємо $\rho_{\text{с}} = 1,3 \text{ кг/м}^3$;

q – коефіцієнт відносної витрати повітря, приймаємо 0,35.

Отже,

$$G_{\text{вент}} = 6459,6 \cdot 1,3 \cdot 0,35 = 2939,1 \text{ кг/с}$$

Середню температуру повітря розраховуємо за формулою [21]:

$$t_{\text{ср}} = \frac{G_{\text{рекуп}} \cdot t_{\text{ср.оп}} + G_{\text{вент}} \cdot t_{\text{в}}}{G_{\text{рекуп}} + G_{\text{вент}}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.11)$$

де $G_{\text{рекуп}}$ – масова витрата повітря, яка проходить через рекуператор, кг/с;

$G_{\text{вент}}$ – масова витрата повітря, яка проходить через вентиляцію, кг/с;

$t_{\text{в}}$ – температура всередині приміщення, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{ср.оп.}}$ – середня температура за опалувальний період, $^\circ\text{C}$.

Таким чином, середня температура повітря становить:

$$t_{\text{ср}} = \frac{3359 \cdot (-0,6) + 2939,1 \cdot 18}{3359 + 2939,1} = 8^\circ\text{C}$$

Обчислюємо втрати теплоти на вентиляцію після встановлення рекуператора за формулою (3.8):

$$Q_{\text{в}} = 0,28 \cdot 6459,6 \cdot 1,3 \cdot 1,005 \cdot (18 - 8) \cdot 1,94 \cdot 0,85 = 38895,58 \text{ Вт}$$

Економія втрат після впровадження заходу становить [18]:

$$\Delta Q_{\text{вент}} = 167250,98 - 38895,58 = 128355,41 \text{ Вт}$$

Згідно з формулою (4.2) річна економія становить:

$$Q_{\text{ст}}^{\text{Ек.рік}} = 128355,41 \cdot \frac{(18 - (-0,6))}{(18 - (-25))} \cdot 151 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 201208,74 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

$$Q_{\text{ст}}^{\text{Ек.рік}} = 201208,74 \cdot 0,00086 = 173,04 \text{ Гкал/рік}$$

						Аркуш
						61
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У грошовому вигляді дана економія складатиме:

$$\Delta E = 173,04 \cdot 2630,57 = 455192,56 \text{ грн} = 455,19 \text{ тис. грн}$$

Для навчального закладу пропонується встановити 86 таких рекуператори.

Вартість закупівлі рекуператорів становитимуть:

$$K_{\text{осн}} = 13054 \cdot 86 = 1122644 \text{ грн}$$

Вартість монтажу становитимуть:

$$K_{\text{суп}} = 1800 \cdot 86 = 154800 \text{ грн}$$

Капіталовкладення на впровадження заходу (4.3):

$$K_{\text{зах}} = 1122644 + 154800 = 1277444 \text{ грн} = 1277,44 \text{ тис. грн}$$

Простий термін окупності становить (4.4):

$$T_{\text{ок}} = \frac{1277,44}{455,19} = 2,81 \text{ років.}$$

Чистий дисконтований дохід є показником цінності проекту, який запроваджується.

Приймається ставка дисконтування – 25%. Розрахунки дисконтованого методу NPV наведені в таблиці 4.4, обчислені за формулою (4.5).

						Аркуш
						62
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.4 – Оцінка NPV

Рік	Капітальні витрати I, тис. грн	Грошовий потік P _t , тис. грн	Чистий дохід, тис. грн	Коефіцієнт дисконтування	Приведена дисконтна вартість, тис. грн	NPV, тис. грн
0	-1277,44	-1277,44	-1277,44	1	0	-1277,44
1	0	455,19	-822,25	0,80	364,15	-913,29
2	0	455,19	-367,06	0,64	291,32	-621,97
3	0	455,19	88,13	0,51	233,06	-388,91
4	0	455,19	543,32	0,41	186,45	-202,46
5	0	455,19	998,51	0,33	149,16	-53,31
6	0	455,19	1453,7	0,26	119,33	66,02
7	0	455,19	1908,89	0,21	95,46	161,48
8	0	455,19	2364,08	0,17	76,37	237,85
9	0	455,19	2819,27	0,13	61,09	298,94
10	0	455,19	3274,46	0,11	48,88	347,82
Разом					1625,26	

$$NPV = 1625,26 - 1277,44 = 347,82 \text{ тис. грн}$$

Так як $NPV > 0$, то даний захід є прибутковим та може бути впровадженим [22, пункт 3.2]. Чистий дохід за 10 років становить 3274,46 тис. грн, чистий дисконтований – 347,82 тис. грн.

Індекс дохідності становить (4.6):

$$PI = \frac{1625,26}{1277,44} = 1,27$$

Так як $PI > 1$, то запропонований захід є прибутковим та привабливий у реалізації.

						Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		63

Внутрішня норма дохідності IRR наведена в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Оцінка IRR

Роки	Грошовий потік, тис. грн
0	-1277,44
1	455,19
2	455,19
3	455,19
4	455,19
5	455,19
6	455,19
7	455,19
8	455,19
9	455,19
10	455,19
IRR	34%

Так як $IRR > r$, даний проект можна запроваджувати.

Дисконтований термін окупності PP становить (4.8):

$$PP = 5 + \frac{1277,44 - 1224,13}{119,33} = 5,45 \text{ років}$$

Таким чином, запропонований енергоефективний проект є прибутковим та може піддаватися реалізації: капітальні вкладення складають 1277,44 тис. грн, чистий дисконтований дохід – 347,82 тис. грн, індекс дохідності – 1,27, внутрішня норма дохідності – 34%, дисконтований термін окупності – 5,45 років.

4.1.3 Утеплення огорожувальних конструкцій – стін

З діаграми на рисунку 3.1 видно, що значна частина втрат тепла – 12% становить через поверхню стін, тому їх утеплення є необхідним для подальшої економії коштів на опалення.

Найкращим способом є зовнішнє утеплення. Важливу роль також відіграє теплоізоляційний матеріал. Утеплення мінеральною ватою ззовні має багато переваг [24]:

- надійно захищає будівлю від тепловтрат;
- негорючий матеріал, який відповідає стандартам;
- не плавиться;
- має високі теплоізоляційні властивості;
- не деформується.

Для утеплення стін будівлі, що складаються з силікатної цегли на цементно-піщаному розчині товщиною 0,64 м, цементно-піщаної штукатурки товщиною 0,03 м пропонується базальтова вата BauGut Universell з теплопровідністю 0,041 Вт/м²·К [25].

Товщина шару теплоізоляції розраховують за формулою (4.1):

$$\delta_{\text{ут}} = [4,0 - 1,02] \cdot 0,041 = 0,1 \text{ м}$$

Площа стін становить 1282,19 м². Теплові втрати складають 61080,11 Вт.

Втрати теплової енергії через стіни після запровадження заходу становитимуть (3.4):

$$Q_{\text{ст}}^2 = \frac{1282,19}{4,0} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 13783,54 \text{ Вт}$$

Економія витрат теплової енергії після утеплення [18]:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = 61080,11 - 13783,54 = 47296,47 \text{ Вт}$$

						Аркуш
						65
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Згідно з формулою (4.2) річна економія становить:

$$Q_{ст}^{Ек.рік} = 47296,47 \cdot \frac{(18 - (-0,6))}{(18 - (-25))} \cdot 151 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 74141,51 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

$$Q_{ст}^{Ек.рік} = 74141,51 \cdot 0,00086 = 63,76 \text{ Гкал/рік}$$

У грошовому вигляді дана економія складатиме:

$$\Delta E = 63,76 \cdot 2630,57 = 167729,6 \text{ грн} = 167,73 \text{ тис. грн}$$

Так як у вартість теплоізоляційного матеріалу входять різні складові, то приблизні затрати кожної з них на 1 м² наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Ціни та витрати на матеріал для утеплення стін на 1 м²

Матеріал	Одиниця виміру	Кількість	Ціна на 1 м ² , грн
Базальтова вата BauGut Universell 100 мм	м ²	1	124,75
Грунтовка глибокопроникна Ceresit СТ 17	л	0,5	38,25
Суміш для приклеювання та армування Ceresit Thermo Universal	кг	7	72,40
Скляна штукатурна BauGut 160 г/м ²	м ²	1,5	43,5
Дюбель	шт	10	15,5
Шуруп 100 мм	шт	10	23
Гідроізоляційна плівка	м ²	1,5	24,10
Двостороння клейка стрічка для паро-гідробар'єру Mustang 30 мм × 25 м	м	2	15,28

Продовження таблиці 4.6

Матеріал	Одиниця виміру	Кількість	Ціна на 1 м ² , грн
Ґрунтовка адезійна BauGut GDF+	л	0,5	32
Декоративна штукатурка короїд Ceresit СТ 35	кг	3	40,80
Всього витрат на 1 м ²			429,58

Вартість закупівлі теплоізоляційного матеріалу становитимуть:

$$K_{\text{очн}} = 429,58 \cdot 1282,19 = 550803,18 \text{ грн}$$

Вартість монтажу становитимуть:

$$K_{\text{суп}} = 1282,19 \cdot 400 = 512876 \text{ грн}$$

Капіталовкладення на впровадження заходу (4.3):

$$K_{\text{зах}} = 550803,18 + 512876 = 1063679,18 \text{ грн} = 1063,68 \text{ тис. грн}$$

Простий термін окупності становить (4.4):

$$T_{\text{ок}} = \frac{1063,68}{167,73} = 6,34 \text{ років.}$$

4.1.4 Встановлення системи моніторингу на систему теплозабезпечення

Аналізуючи стан огорожувальних конструкції будівлі, доцільним буде впровадити у тепловпункті закладу автоматизовану систему моніторингу .

						Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		67

Система дозволяє в режимі он-лайн, завдяки мережі Internet, стежити за фактичним теплоспоживанням будівлі, визначати його прогнозне значення та проводити порівняння між фактичним і прогнозним показниками відповідно до зміни температури навколишнього середовища.

На рисунку 4.2 представлено розрахункове та фактичне споживання теплової енергії за останні 3 роки.

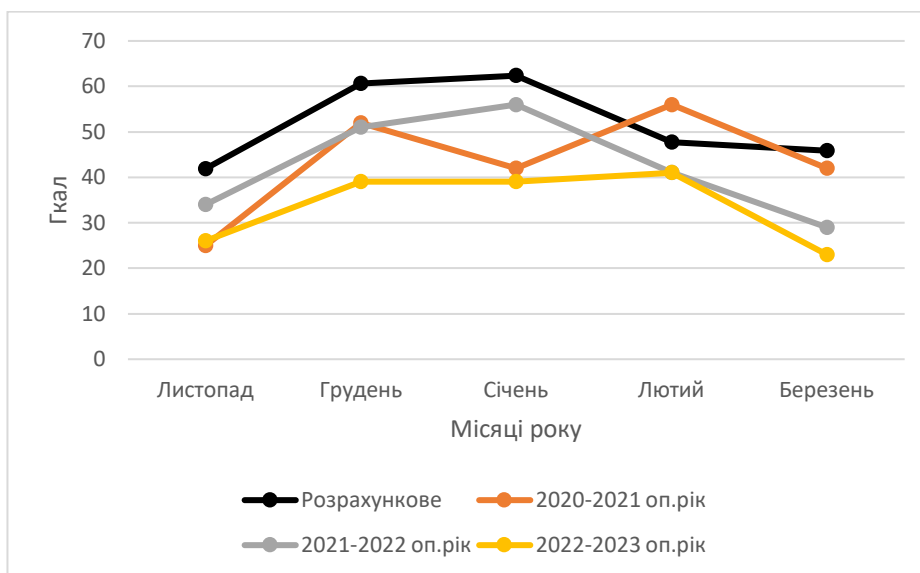


Рисунок 4.2 – Розрахункове та фактичне споживання теплової енергії за останні 3 роки.

Розрахункова базова величина рівня теплоспоживання за період однієї доби коли середньодобова температура зовнішнього повітря дорівнює 0°C в умовах запровадження чергового опалення становить (3.16):

$$Q_{p.оп} = 194,01 \cdot \frac{(18 - 0)}{(18 - (-25))} \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 1,68 \text{ Гкал}$$

Виходячи з чинного тарифу на теплову енергію, що становить на період 01 січня 2023 року 2630,57 грн/Гкал з ПДВ, розрахункова економія коштів на теплоспоживання, відносно до рівня теплоспоживання за опалювальний сезон 2021–2022 рр., з урахуванням прийнятої економії у 10%, становить:

$$E_{\phi} = 211 \cdot 0,1 \cdot 2630,17 = 55505,03 \text{ грн.}$$

Загальна сума всіх витрат ($K_{\text{зах}}$, грн), що включає в себе вартість всього комплекту обладнання (термінал з передачі даних, обчислювач) та вартість проектних робіт та робіт з монтажу становить – 52814 грн. з ПДВ.

Простий термін окупності знаходимо за формулою (4.4):

$$T_{\text{ок}} = \frac{52814}{55505,03} = 0,95 \text{ року.}$$

						Аркуш
						69
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра було здійснено енергетичне обстеження будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа СМР, яка розташована за адресою пр-т. Свободи, 28, м. Суми, Сумська область.

У першому розділі наведено загальну характеристику об'єкта, описано дійсний стан огорожувальних конструкцій, систем тепло-, електро-, водопостачання будівлі, системи вентиляції. Коротко наведено інформацію про прилади обліку енергоносіїв та води. Також зазначено за допомогою яких приладів здійснювався енергоаудит. Відповідно до зроблених знімків тепловізора було описано типові проблеми огорожувальних конструкцій, місця значних теплових втрат тощо.

У другому розділі здійснений аналіз обсягів споживання енергоресурсів на об'єкті енергетичного обстеження та порівняння їх з нормативними значеннями.

У третьому розділі були проведені розрахунки для визначення опору теплопередачі, основних та додаткових тепловтрат через стіни та інші конструктивні елементи, видів теплонадходження до будівлі та обчислено теплову потужність всієї будівлі. За результатами проведених обчислень найбільше теплових втрат припадає на вентиляцію (34,3%), підлогу (26,1%) та стіни (12,5%).

У четвертому розділі був наведений перелік енергозбережних заходів для скорочення втрат теплової енергії, які мають економічне обґрунтування. Під час проведення розрахунків було визначено економію в грошовому еквіваленті, простий та дисконтований термін окупності таких заходів як утеплення підлоги, встановлення рекуператора в систему вентиляції, утеплення стін та впровадження системи моніторингу для системи теплозабезпечення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ЗАКОН УКРАЇНИ "Про енергетичну ефективність" [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>.
2. Від енергозбереження до енергоефективності [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-2/section-3>.
3. Міжнародне співробітництво [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sace.gov.ua/uk/activity/mizhnarodne-spivrobitnytstvo>.
4. ЕНЕРГЕТИЧНА СТРАТЕГІЯ УКРАЇНИ на період до 2035 року [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/NT1202>.
5. Лічильник теплової енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR6vgS-DNcvd-Dp0qM441yCb-SJI2Sey2CUE2WMaerGMGImcCzu21doLh39rqjDlbjwiTc&usqp=CAU>
6. Многофункциональный счётчик тепловой энергии CALMEX [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ua.bizorg.su/schetchiki-teploenergii-r/p5421483-mnogofunktsionalynyy-schyotchik-teplovoy-energii-calmex-n2>.
7. Лічильник гарячої води [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://content.rozetka.com.ua/goods/images/big/284610773.jpg>
8. Лічильник гарячої води Новатор ЛК-15Г [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/156570534/p156570534/>.
9. Лічильник холодної води [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://boiler.ua/content/images/25/500x500180mc0/schetchik-kholodnoy-vody-gross-mtk-ua-25-260-du-25-1-23964470583531.webp>
10. Лічильник холодної води багатоструменевий [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://interext.com.ua/ua/p57089915-schyotchik-holodnoj-vody.html>.

11. Лічильник електричної енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://novaelektrika.ua/image/cache/catalog/Foto/140403012/img471-800x800.jpg>.
12. Электрический счетчик НИК 2301 АПЗ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://axiomplus.com.ua/elektricheskie-schetchiki/product-35880/>.
13. Тепловізор Fluke Ti25 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://electronoff.ua/good/teplovizor-fluke-ti25.php>
14. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К. : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. – 27 с.
15. Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель. / НАКАЗ Міністерства розвитку громад та територій України №260 від 27.10.2020 р.
16. Міжгалузеві норми споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ips.ligazakon.net/document/view/reg4396?an=7998&ed=1999_10_25
17. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Розробники: Ж. Бовкун, М. Кашликов. – Київ. Мінрегіон України, 2013 р. –122с.
18. 3711 Методичні вказівки до виконання розрахункових та практичних робіт на тему «Розрахунок теплового балансу будівель і споруд під час проведення енергетичного обстеження» з дисципліни «Системи виробництва та розподілу енергії» / укладачі: С.С. Антоненко, Е.В. Колісніченко. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 84 с.
19. ДСТУ Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія" –К. Мінрегіонбуд України,2006. –72 с.
20. <https://trivita.ua/ru/uteplitel-rockwool-wentirock-max-2-4-m2>
21. Методичні вказівки до виконання розрахункових та практичних робіт на тему «Економія теплової енергії на опалення будівель і витрат на її генерацію під час впровадження енергозберіжних заходів із дисципліни «Енергозбереження будівель і споруд» / укладачі: С.С.Антоненко, В.М.Козін, Е.В.Колісніченко.– Суми: Сумський державний університет, 2015. –50с.

22. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проєктів / укладачі: І.М. Сотник, О.М. Маценко, О.М. Соляник. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 48 с.

23. Пластинчатий рекуператор ВЕНТС ПР 150 для круглих каналів [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ovk.ua/shop/product/vents-pr-150-dlia-kruglyh-kanalov?gclid=CjwKCAjwg-GjBhBnEiwAMUvNWzX6OnD5nHIW5m5bCFa7stasPG6OMvJVhq0VaWLDYr28uoNdzJ87ihoC1ewQAvD_BwE.

24. Зовнішнє утеплення стін [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://teplokomfort.kiev.ua/ua/зовнішнє-утеплення-стіл>.

25. Базальтова вата BauGut Universell 30 100 мм [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://epicentrk.ua/ua/shop/bazaltovaya-vata-baugut-universell-30-100-mm-2-88-kv-m.html>.

26. Електробезпека [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ztec.com.ua/ztec/e-lib/%D0%9E%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%2017%20%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D0%B0.pdf>.

27. Сипченко М. М. Інструкція №3 з охорони праці для працівників неелектричних професій [Електронний ресурс] / М. М. Сипченко. – 2020. – Режим доступу: <https://instructions.sumdu.edu.ua/doc/100/1e1c6d37-f606-eb11-86d7-d4856459ca35.pdf>.

28. Найбільш поширені шляхи проходження струму через тіло людини [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://studfile.net/html/2706/1175/html_TqDXLd_wqg.k_1v/img-4ix21s.png

29. Шлях проходження струму через тіло людини, індивідуальні особливості [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sites.google.com/site/man11zapolskiy/zaleznist-oporu-tila-vid-riznih-faktoriv/slah-prohodzenna-strumu-cerez-tilo-ludini-individualni-osoblivosti>.

30. Види електричних травм [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://buklib.net/books/31414/>.

31. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів під час підготовки до практичного заняття з дисципліни «Охорона праці в галузі» на тему «Основи виробничої безпеки медичних працівників» [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: <https://ecology.pdmu.edu.ua/storage/common/docs/DkOm84NGI5WM4vDmdYzNNIT7TNpPqp54JvcsZHEO.pdf>.

						Аркуш
						74
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Фактори, які визначають наслідки ураження електричним струмом людини.

Види уражень

Електробезпеку називають систему організаційних, технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електромагнітного поля і статичної електрики [26].

Існують певні фактори, які визначають наслідки ураження електричним струмом. Серед них:

- електричного характеру (величина напруги та сила струму, вид та частота струму, опір тіла людини) [26];
- неелектричного характеру (тривалість дії струму, шлях проходження через тіло людини, індивідуальні особливості людини) [26];
- навколишнє середовище (температура та відносна вологість повітря) [26].

Електричний струм, визначає ступінь фізіологічного впливу на людину. Напругу слід розглядати лише як фактор, що обумовлює інтенсивність протікання того чи іншого струму в конкретних умовах – чим більше напруга дотику, тим більше вражає струм [27].

У таблиці А.1 наведено порогові значення змінного та постійного струму.

Таблиця А.1 – Порогові значення струму [27]

Вид струму	Пороговий відчутний струм, мА	Пороговий невідпускаючий струм, мА	Пороговий фібриляційний струм, мА
Змінний струм частотою 50 Гц	0,5 - 1,5	6 - 10	80 - 100
Постійний струм	5,0 - 7,0	50 - 80	300

								Аркуш
								75
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата				

Пороговий відчутній струм – найменше, що може відчутти людина. Під час пороговому невідпускаючому струмі відбувається судомне скорочення м'язів, в яких затиснутий провідник. Пороговий фібриляційний струм смертельно небезпечним, бо спричиняє фібриляцію серця людини [27].

Небезпечність ураження визначають вид та частота струму. Найбільш небезпечним для людини є струм із частотою 20 – 200 Гц [27]. Постійний струм, який проходить крізь тіло людини, викликає менш неприємні відчуття. З підвищенням напруги безпека постійного струму зростає і в інтервалі напруг 400 – 600 В практично дорівнює безпеці змінного струму з частотою 50 Гц [27].

Організм людини складається з різноманітних клітин та розчинів солей, що визначають різний електричний опір. Провідність тканин тіла людини зумовлена фізико-хімічними, біохімічними та біофізичними явищами [27]. Тіло людини є чудовим провідником електричного струму. Вважається, що опір тіла людини складається з зовнішнього опору (опору шкіри) та з внутрішнього опору (опору внутрішніх тканин). Шкіра має великий питомий опір, особливо верхній роговий шар. Якщо шкіра суха та чиста, то опір тіла людини коливається від 500 Ом до 500000 Ом. Опір зволоженої забрудненої шкіри різко зменшується, значно підвищуючи небезпеку ураження [27].

Ще одним важливим фактором є тривалість дії струму. Чим більший час проходження струму, тим швидше починає виснажуватись організм людини та починають слабшати захисні властивості.

Шлях проходження струму через тіло людини є також важливим чинником. Небезпека ураження велика тоді, коли на шляху струму знаходяться життєво важливі органи – серце, легені, головний мозок [26]. Якщо струм не проходить крізь ці органи, то його дія на них є тільки рефлекторною й імовірність ураження зменшується [26]. Шляхи струму по тілу людини називають "петлями" струму. На рисунку А.1 представлено найпоширеніші шляхи проходження струму.

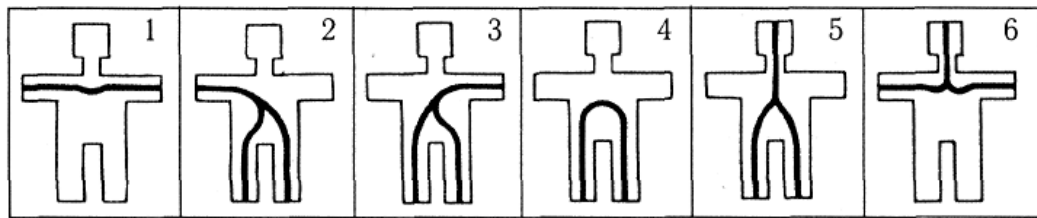


Рисунок А.1 – Шляхи проходження струму через тіло людини [28]

У таблиці А.2 наведено вірогідність проходження струму через петлі [29].

Таблиця А.2 – Поширені шляхи проходження струму

Шлях струму	Частота виникнення даного шляху струму, %
Рука – рука	40
Права рука – ноги	20
Ліва рука – ноги	17
Нога – нога	6
Голова – ноги	5
Голова – руки	4
Інші	8

Майже всі петлі називаються «великими» або «повними» петлями. Вони є найбільш небезпечними, оскільки при цьому струм захоплює область серця і через нього протікає 8 – 12 % від повного значення величини струму. Петля «нога – нога» називається «малою», бо через серце протікає всього 0,4 % від повного струму [27].

Навколишнє середовище також визначає наслідок дії електричного струму на людину. Опір перегрітого організму знижується, тому з підвищенням температури тяжкість ураження струмом підвищується. Небезпечність ураження електричним струмом зростає також і з підвищенням вологості та забрудненості повітря. Вологість, струмопровідний пил, їдка пара руйнують діють на ізоляцію електрообладнання, знижуючи її опір [27].

Через різноманітний вплив електричного струму на організм людини виникають електротравми, які поділяють на два види:

- місцеві електротравми [30];
- загальні електротравми (електричні удари), коли уражається (або виникає загроза ураження) весь організм внаслідок порушення нормальної діяльності життєво важливих органів та систем [30].

Електричні опіки – ушкодження поверхні тіла під дією електричної дуги або великих струмів, що проходять через тіло людини [30]. Буває 4 ступеня. Перший – почервоніння шкіри, другий – утворення пухирців, третій – омертвіння всієї товщі шкіри, четвертий – обвуглювання тканин та їх вигорання [31]. Опіки поділяють також на контактні та дугові. Контактні опіки виникають при напрузі – 1000-2000 В. Дугові – більш тяжкі, тому що температура може досягати 4000-15000 °С, що може призвести до смерті [31].

Електричні знаки – чітко виражені плями сірого або блідо-жовтого кольору, які з'являються на шкірі. Мають округлу або овальну форму розміром 1-5 мм із заглибленням усередині [31].

Металізація шкіри – проникнення у верхні шари шкіри дрібних металевих частинок, які розплавляються під дією електричної дуги і пропалюють шкіру [31].

Електроофтальмія – запалення зовнішніх оболонок очей унаслідок дії ультрафіолетового випромінювання електричної дуги [31].

Механічні пошкодження утворюються внаслідок скорочення м'язів та подразнення клітин, нервів людина зазнає вивихів, розтягнень м'язів та сухожиль, розриву шкіри, у тяжких випадках – переломів кісток [31].

Електричний удар – це порушення діяльності життєво-важливих органів та систем організму внаслідок дії електричного струму [31]. За тяжкістю розрізняють 4 ступеня електричного удару:

- *перший ступінь*: судомне скорочення м'язів без втрати свідомості [31];
- *другий ступінь*: судомне скорочення м'язів із втратою свідомості, але без порушення серцебиття та дихання [31];

– *третій ступінь*: втрата свідомості з порушенням серцебиття та (або) дихання [31];

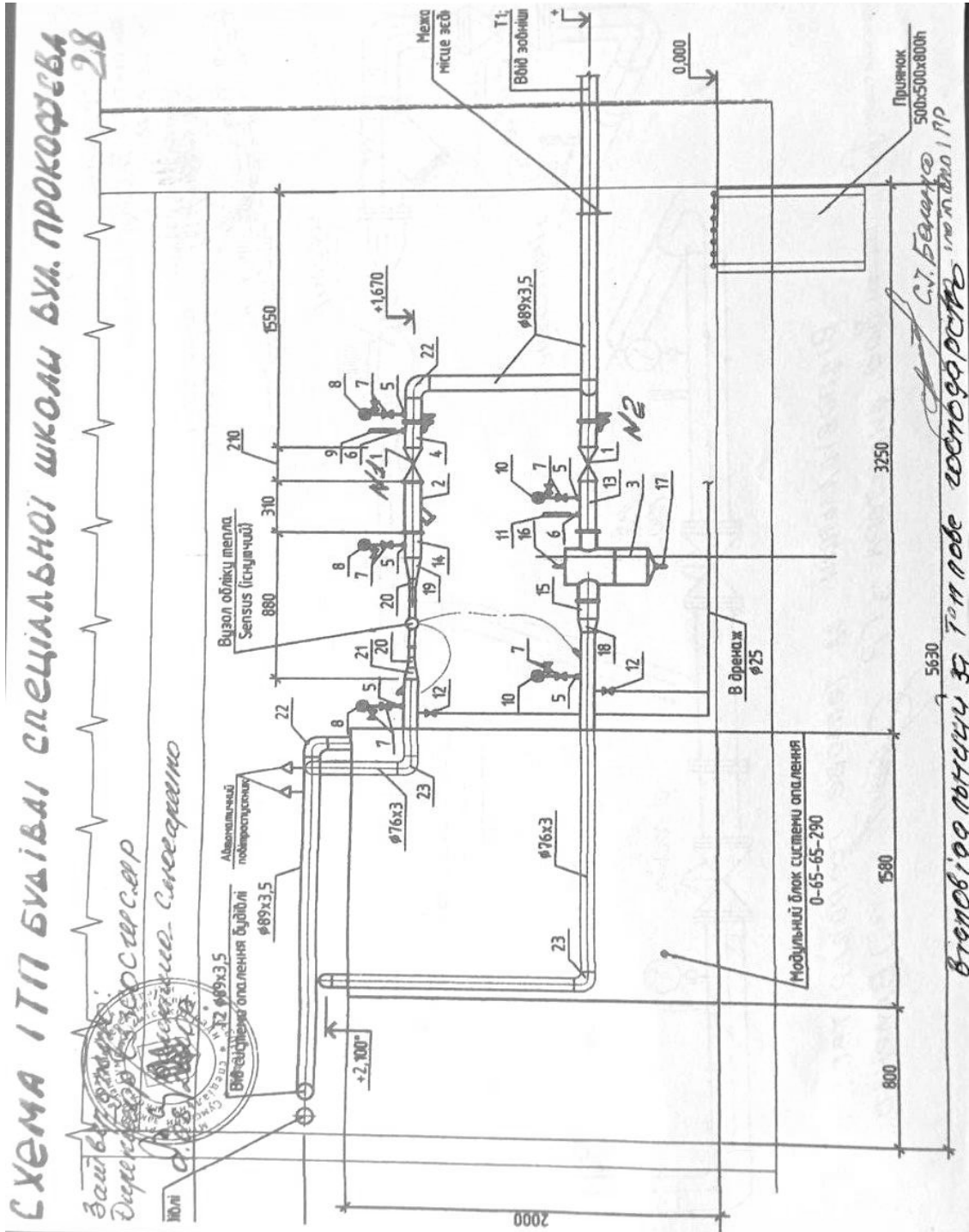
– *четвертий ступінь*: клінічна смерть. Ознаками клінічної смерті є: втрата свідомості, відсутність серцебиття та дихання, зіниця ока не реагує на світло, шкірний покрив блідий. Але зі стану клінічної смерті людину можна повернути до життя. Цей стан триває від 5-6 хвилин до 10-12 хвилин. Якщо запустити системи дихання та серцебиття, людину можна врятувати, тому необхідно робити штучне дихання та непрямий масаж серця доти, доки не прибудуть лікарі [31].

Електричний шок – тяжка нерво-рефлекторна реакція організму на дію електричного струму [31]. При шоку виникають значні розлади нервової системи і, як наслідок, розлади систем дихання, кровообігу, обміну речовин, функціонування організму в цілому і життєві функції організму поступово загасають [31]. Такий стан організму може тривати від декількох хвилин до однієї доби і якщо не надати необхідної медичної допомоги, шок може призвести до дуже тяжкого стану потерпілого і навіть до його смерті [31].

						Аркуш
						79
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Схема теплового пункту Сумського закладу загальної середньої освіти
спеціальна школа СМР



Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Система освітлення закладу

Тип освітлювального приладу	Потужність, Вт	Кількість, шт.
Лампа розжарювання	40	19
	60	10
Люмінесцентна лампа	18	228
	36	148
Компактна люмінесцентна лампа	7	16
	11	12
Світлодіодна лампа	5	60
	7	50
	10	29
Світлодіодний світильник	12	9
	13	2
	15	2
	36	35
	50	5

Таблиця В.2 – Основне електроспоживаюче обладнання

Назва	Потужність, Вт	Кількість, шт
Холодильник	240, 180, 130, 120	4
Морозильна камера	150	1
Шафа холодильна	380	1
Нагрівач води	1100	1
Телевізор	85, 120, 88	4
Електрична праска	1000, 2100	4

Продовження додатку В

Продовження таблиці В.2

Магнітола	40	1
Машинка швейна	550, 75	3
Електрична м'ясорубка	120, 2000	2
Шафа пекарська	16000	1
Овочерізка	1000	1
Плита електрична	4500, 1300	2
Пральна машина	1300	1
Ноутбуки	45, 50	15
Комп'ютери	300, 250, 350	14
Проектор мультимедійний	180	6
Принтери	60	3
Електричний обігрівач	3000,	1
Кондиціонер	870	1
Мікрохвильова піч	2400	2
Smart TV	60	1
Музичний центр	250, 90	2
Станок фуговальний	600	1
Електричний паяльник	60	1
Станок заточний	600	1
Електричний рубанок	680	1
Дриль електрична	580	1
Лобзик електричний	630	1
Відеоплеєр	90	1
Вентилятор	180	2
Колонки	60	7
Електрична праска	1000, 2100	4
Блок живлення	85, 90	5

ДОДАТОК Г

Термограми із зазначенням місць найбільших втрат теплової енергії у Сумському закладі загальної середньої освіти спеціальна школа СМР

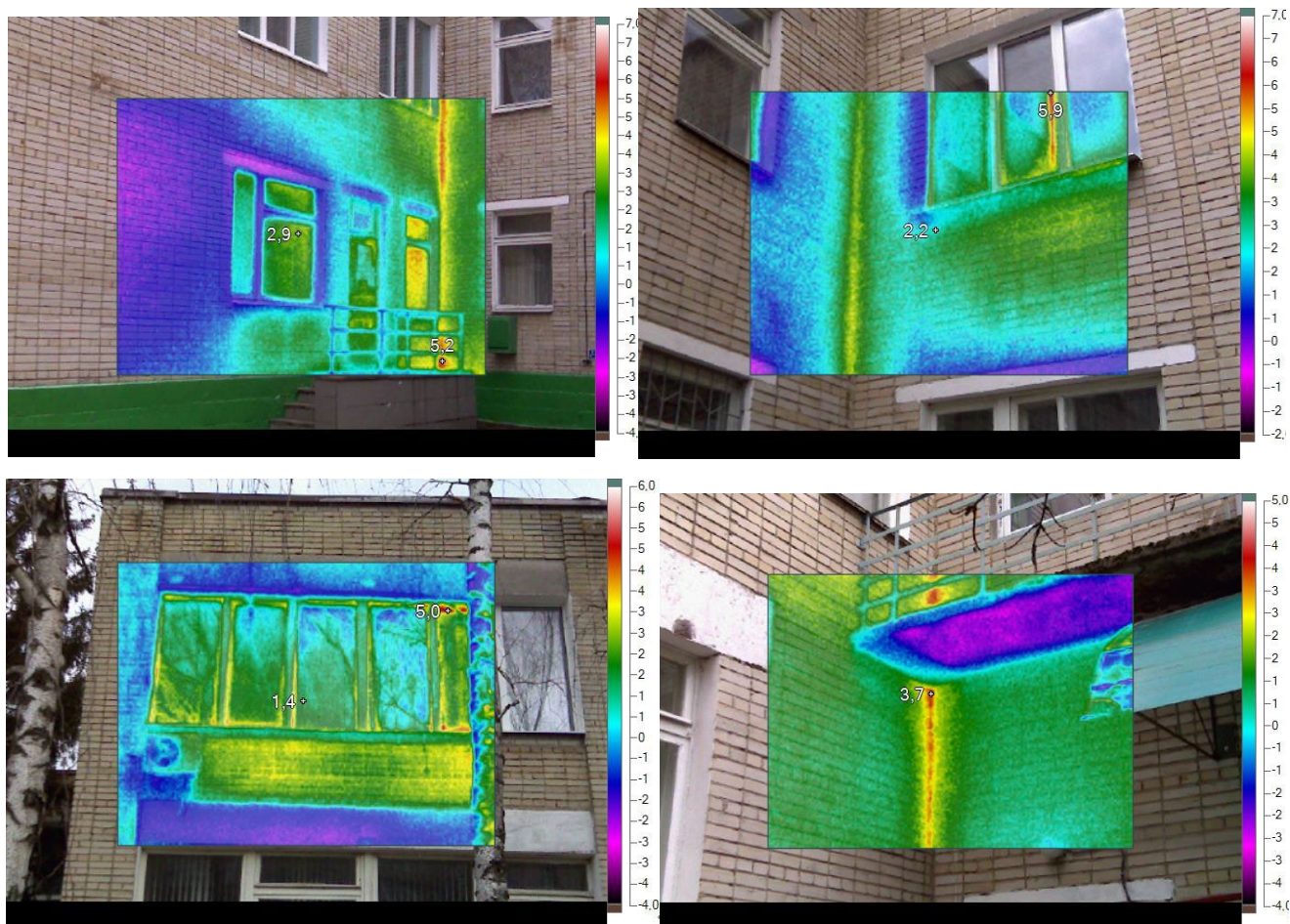


Рисунок Г.1 – Термограми кутових конструкції будівлі

Продовження додатку Г

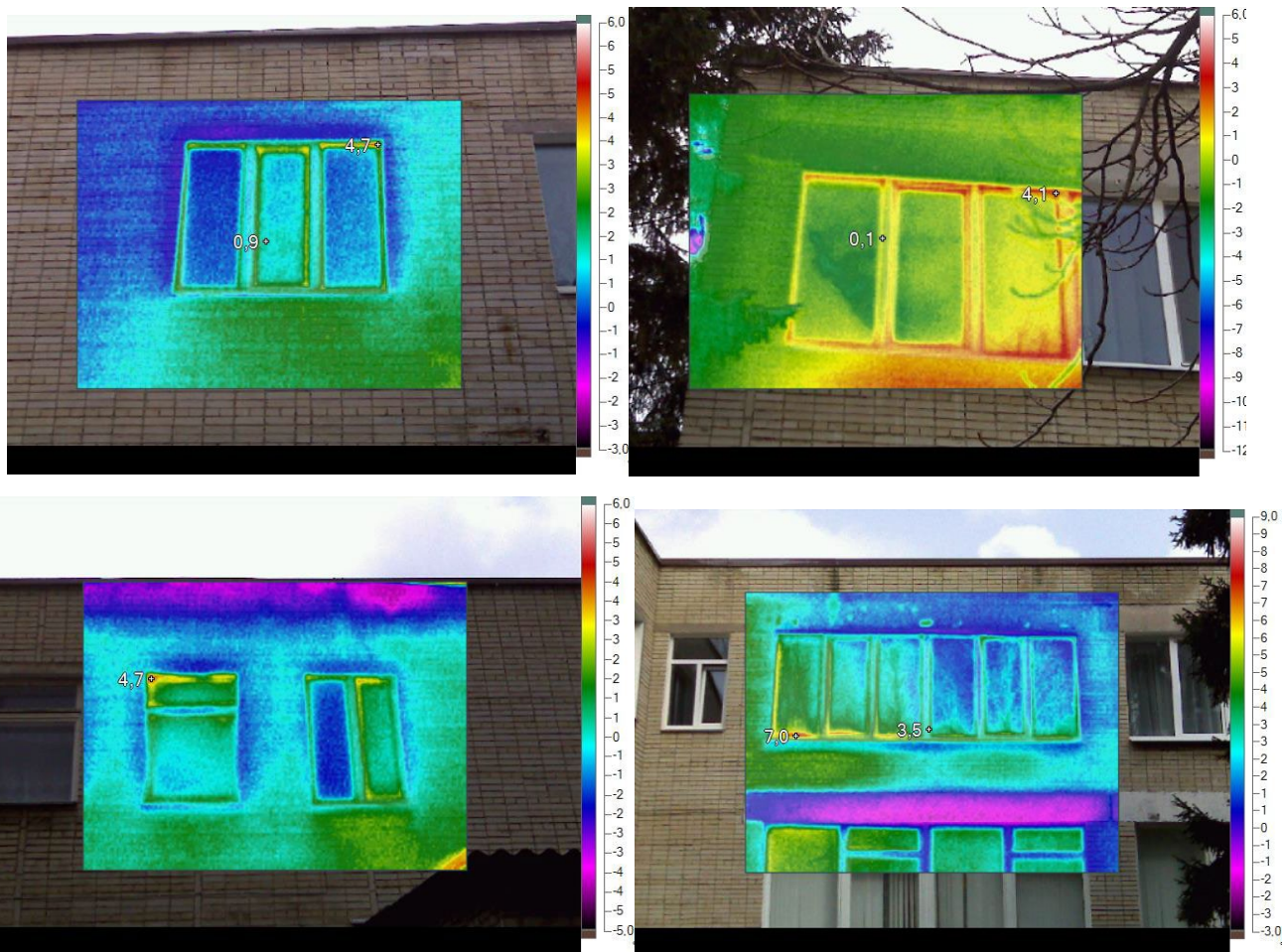


Рисунок Г.2 – Термограми втрат через неякісний монтаж віконних конструкцій



Рисунок Г.3 – Термограма втрат через недостатню природну вентиляцію

Продовження додатку Г

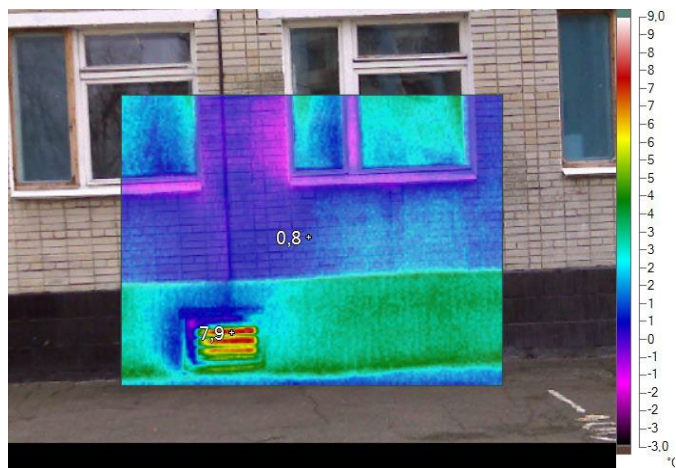


Рисунок Г.4 – Термограма втрат через технічні отвори з підвального приміщення

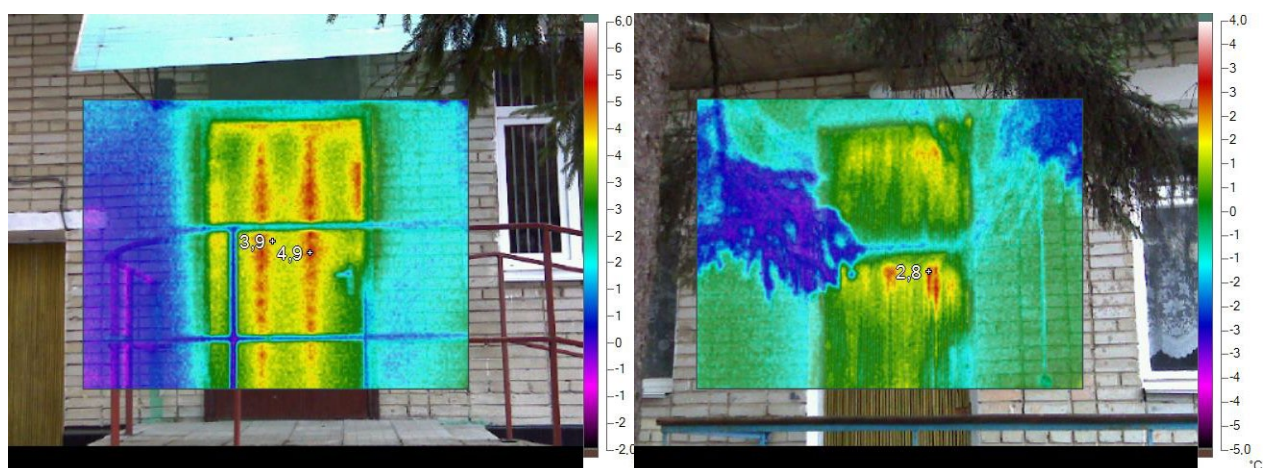


Рисунок Г.5 – Термограми втрат через зовнішні дверні конструкції

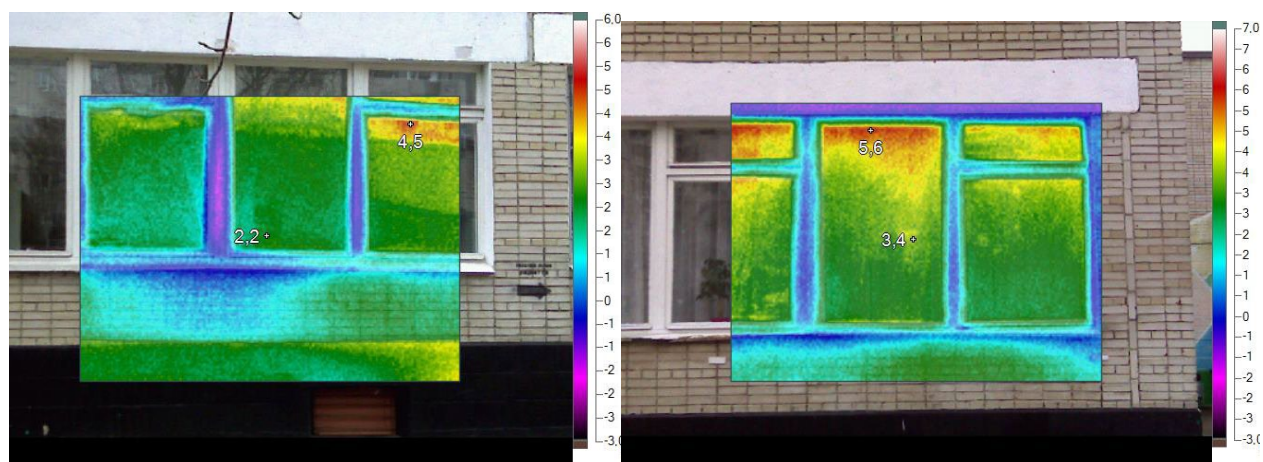


Рисунок Г.6 – Термограми втрат через застарілі конструкції дерев'яних вікон

Продовження додатку Г

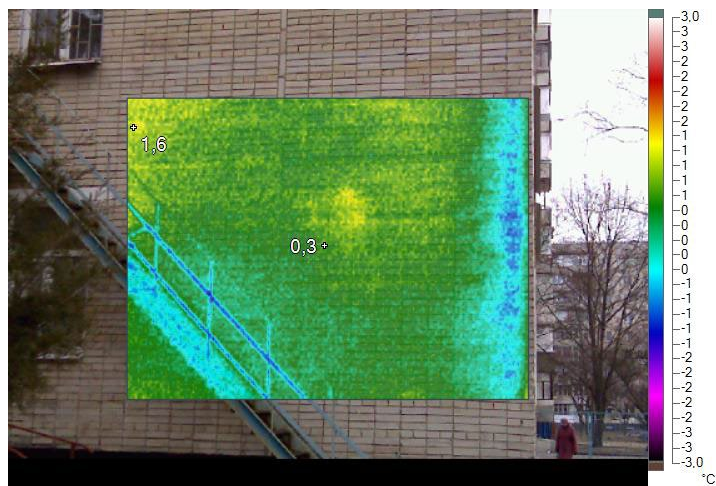


Рисунок Г.7 – Термограма втрат через зовнішні поверхні стін