

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Микола СОТНИК

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр
(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 144 Теплоенергетика,
(код та назва)

освітньо-професійної програми «Енергетичний менеджмент»
(освітньо-професійної / освітньо-наукової) (назва програми)

на тему: «Підвищення енергетичної ефективності систем енергозабезпечення будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа Сумської міської ради»

Здобувача групи ЕМ.м-31 Коваленка Євгена Миколайовича
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ (підпис)

Євген КОВАЛЕНКО

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доц. к.т.н. Сергій ХОВАНСЬКИЙ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Суми – 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Проходження переддипломної практики	з 21.10 до 17.11.2024	
2	Захист переддипломної практики	до 20.11.2024	
3	Виконання 1-го розділу	до 17.11.2024	
4	Виконання 2-го розділу	до 27.11.2024	
5	Виконання 3-го розділу	до 05.12.2024	
6	Представлення виконаної роботи	до 08.12.2024	
7	Проходження перевірки на плагіат	до 14.12.2024	
8	Проведення захисту роботи	з 16.12 до 20.12.2024	

5 Дата видачі завдання 21.10.2024 р

Керівник

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: містить 67 сторінок, 20 рисунків, 13 таблиць, 1 додаток, 30 літературних джерела.

Метою роботи є розробка заходів для альтернативного енергозабезпечення будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа Сумської міської ради.

Відповідно до поставленої мети були вирішені такі *задачі*:

- дослідження та аналіз енергетичного стану будівлі та систем енергозабезпечення;
- визначення ключових сфер, де можна модернізувати системи енергозабезпечення;
- виконати інженерні та економічні розрахунки, необхідні для обраного напрямку модернізації;
- визначення основних техніко-економічних показників розроблених енергозберіжних заходів.

Предметом дослідження є енергетичні процеси в системах енергозабезпечення будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа Сумської міської ради.

Об'єкт дослідження: будівля Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа Сумської міської ради.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОАУДИТ, ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ, АЛЬТЕРНАТИВНЕ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

Тема роботи – **«Підвищення енергетичної ефективності систем енергозабезпечення будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа Сумської міської ради».**

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

РЕФЕРАТ

ВСТУП.....	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ.....	9
1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження	9
1.2 Опис дійсного стану об'єкта енергетичного обстеження.....	10
1.3 Експлуатаційна характеристика систем енергопостачання об'єкта	10
1.3.1 Система теплопостачання та гарячого водопостачання.....	10
1.3.2 Система електропостачання.....	11
1.3.3 Система водопостачання.....	12
1.3.4 Система вентиляції та кондиціонування.....	12
1.3.5 Система обліку споживання енергоносіїв	12
1.3.6 Існуючі тарифи на енергоносії та воду	15
1.4 Опис методів та приладів для проведення вимірювань.....	16
1.5 Аналіз результатів вимірювання.....	17
1.6 Аналіз споживання енергоносіїв та води	18
1.6.1 Аналіз обсягів споживання теплоенергії.....	18
1.6.2 Аналіз обсягів споживання електроенергії	20
1.6.3 Аналіз обсягів споживання води	21
1.6.4 Аналіз обсягів споживання гарячої води.....	23
1.7 Розрахунковий аналіз показників енергоефективності.....	24
1.7.1 Техніко-економічний аналіз споживання теплової енергії.....	24
1.7.2 Техніко-економічний аналіз споживання електричної енергії.....	26
1.7.3 Техніко-економічний аналіз споживання води.....	27
1.8 Аналіз енергетичного балансу будівлі.....	28
1.8.1 Розрахунковий аналіз обстежуваної системи енергопостачання.....	28
1.8.2 Розрахунок теплонадходжень.....	34
1.9 Висновки за розділом.....	38

2. РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ.....	39
2.1 Опис можливих енергозбережних заходів.....	39
2.1.1 Встановлення сонячних панелей на даху будинку.....	41
2.2 Розрахунковий аналіз можливих енергозбережних заходів.....	44
2.2.1 Встановлення сонячних панелей	44
2.2.2 Встановлення теплового насоса для опалення будівлі	47
2.2.3 Встановлення сонячних панелей на даху будинку для підігріву холодної води.....	51
2.3 Висновки за розділом.....	53
3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	54
3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів на об'єкті дослідження.....	54
3.2 Розрахунок штучної вентиляції.....	57
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А	67

ВСТУП

З перших годин після вторгнення російські військові намагалися знищити не тільки українські міста і селища селищної влади, а й важливі об'єкти енергетичної інфраструктури, такі як високовольтні мережі, підстанції, диспетчерські пункти і саму електростанцію, включаючи об'єкти відновлюваної енергетики. В цілому, після атомних електростанцій і ліній електропередачі, електростанції на відновлюваних джерелах енергії стали другим пріоритетом знищення для російських загарбників [1].

Війна, розв'язана в Україні російськими окупантами, посилила фінансову кризу в енергетичному секторі країни. Відсутність достатніх коштів для продовження діяльності стало нагальною проблемою, з якою в даний час стикаються всі сектори української енергетичної системи. Але особливо болісно це відбилося на секторі відновлюваної енергетики. Державний сектор відновлюваної енергетики стикається з проблемами свого виживання в штаті. Перш за все, це можна пояснити тим, що в перші дні війни зусилля держави були спрямовані на забезпечення стабільного функціонування генерації базового навантаження та надійної роботи української енергосистеми в ізолюваному режимі, відключеної від російських та білоруських мереж 24.02.2022 року. Тому вирішення деяких проблем з використанням відновлюваних джерел енергії не стало одним з пріоритетів [1].

Основним бар'єром для широкомасштабного розвитку відновлюваних джерел енергії є непостійність та непослідовність енергетичної політики держави, яка, з одного боку, приймає рішення, що зупиняють розвиток галузі, проте, з іншого боку, все ж здійснює певні позитивні для ринку кроки [1].

Згідно [2] до 2050 року енергетичний сектор має бути максимально наближений до кліматичної нейтральності. Це означатиме наявність чистої енергії, подолання енергетичної бідності, розвиток інноваційної та децентралізованої енергосистеми, повноцінне функціонування національних енергетичних ринків і їх інтеграцію в міжнародні [2].

Ключовими принципами Енергетичної стратегії України є економічна обґрунтованість, екологічність, доступність, соціальна справедливість та ринковість [2].

Енергетична стратегія базуватиметься на цільових показниках розвитку економіки у відповідності до Національної економічної стратегії на період до 2030 року. А також на міжнародних зобов'язаннях, взятих Україною – в першу чергу, в рамках Угоди про Асоціацію України з ЄС та Паризької кліматичної угоди [2].

Метою дослідження в роботі є розробка заходів для альтернативного енергозабезпечення будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа Сумської міської ради.

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.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження

Об'єктом енергетичного аудиту є будівля Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа» СМР.

Адреса будівлі: м. Суми, пр-т Свободи, 28.

Будівля введена в експлуатацію в 1979 році. Має два поверхи та підвал. Головний фасад зорієнтований на захід.

Зовнішній вигляд фасаду будівлі зображений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд фасаду будівлі

Технічні характеристики будівлі згідно наданої інформації на об'єкті енергоаудиту:

- опалювальна площа 2153,2 м²;
- опалювальний об'єм 6459,6 м³;
- опалювальний об'єм за зовнішніми обмірами 9165,4 м³.

Станом на 12.11.2024 рік у закладі працює 32 працівники та перебуває близько 100 дітей.

Графік роботи будівлі – 5-ти денний робочий тиждень. Вихідні дні – субота та неділя.

Робочий день у будівлі розпочинається о 8⁰⁰, закінчується о 17⁰⁰.

1.2 Опис дійсного стану об'єкта енергетичного обстеження

При обстеженні даної будівлі було встановлено, що стіни будівлі виконані з цегли на яку нанесена декоративна плитка. Видимих дефектів не виявлено.

У будівлі встановлені дерев'яні та двокамерні вікна в пластикових рамах.

Підлога будівлі – залізобетонна конструкція, з бетонним шаром та плиткою.

Стеля будівлі складається з залізобетону, шару гравію та рубероїду. Дефектів не виявлено.

Зовнішні двері будівлі пластикові. Запасні двері – дерев'яні.

1.3 Експлуатаційна характеристика систем енергопостачання об'єкта

1.3.1 Система теплопостачання та гарячого водопостачання

Система теплопостачання та гарячого водопостачання закладу є централізованою. Надавач послуг – ТОВ «Сумитеплоенерго» згідно договору № 1177/38. Теплопостачання відбувається від Сумської ТЕЦ.

В тепловому пункті встановлений модульний блок з погодозалежним регулюванням (рисунок 1.2) (Додаток А).

Будівля обладнана двотрубною системою опалення з верхньою розводкою теплоносія. Подаючий та зворотній трубопровід системи опалення має діаметр Ø57 мм. Для ізоляції трубопроводів у неопалюваних приміщеннях використовується мінеральна вата.

В якості приладів опалення використовуються чавунні радіатори типу МС-140.

Терморегулюючі клапани перед опалювальними приладами відсутні.



Рисунок 1.2 – Модульний блок системи опалення

Встановлена система моніторингу споживання теплової енергії. Дана система дозволяє відслідковувати в реальному часі спожиту теплову енергію будівлею. Допомагає виявити шляхи для економії та раціонального споживання енергоресурсу.

При обстеженні явних дефектів в системі опалення виявлено не було.

Гаряча вода до будівлі подається по металевому трубопроводу Ø40 мм.

1.3.2 Система електропостачання

Електрична енергія до будівлі школи подається згідно договору з ТОВ «Енера-Суми» (№459 від 21.09.2021 року). Трансформаторна підстанція знаходиться за територією закладу. Живлення здійснюється кабелем ААБ 3×70. Дефектів в електропостачанні виявлено не було.

1.3.3 Система водопостачання

Будівля має централізовану систему водопостачання та водовідведення. Здійснюється КП «Міськводоканал» СМР на підставі Договору № 790. Вода до будинку подається по металевій трубі Ø50 мм. Тиск води на вході в будівлю $P_{хв}=0,32$ МПа.

Циркуляція води відбувається від тиску в мережах. Основними споживачами води є працівники, школярі та відвідувачі будівлі.

Водовідведення відбувається по пластиковій трубі Ø80 мм до центральної каналізаційної системи міста.

1.3.4 Система вентиляції та кондиціонування

Система вентиляції в будівлі – природня. Вентильоване повітря видаляється через систему вентиляційних каналів, розташованих в конструкції будівлі. В кабінеті хімії встановлена витяжна вентиляція.

1.3.5 Система обліку енергетичних ресурсів

Облік споживання теплової енергії здійснюється за допомогою лічильника CALMEX КОМПАКТ Q_n 3,5 типу PREMEX (рисунок 1.3). Термін повірки – 28.05.2021 р.



Рисунок 1.3 – Лічильник обліку теплової енергії [3]

Технічні характеристики даного лічильника наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики лічильника CALMEX КОМПАКТ [3]

Найменування показника	Значення показника
Клас точності	1,5
Тип встановлення	Горизонтальний
Живлення	Літієва батарейка
Довжина кабелю, м	4

При обстеженні було встановлено, що облік споживання електроенергії на потреби внутрішнього освітлення та побутові потреби здійснюється за допомогою лічильника активної енергії типу НІК 2301 АП1В (рисунок 1.4), який встановлений в електрощитовій в будівлі.



Рисунок 1.4 – Лічильник електричної енергії [4]

Технічні характеристики лічильника наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики лічильника електричної енергії [4]

Найменування показника	Значення показника
Номінальна напруга, В	220
Клас точності	2.0
Номінальна сила струму, А	5,5
Діапазон робочих напруг, В	143...253
Ступінь захисту	IP54

Облік споживання гарячої води відбувається за допомогою лічильника Новатор ЛК-15Г (рисунок 1.5). Термін повірки – 01.07.2023 р.



Рисунок 1.5 – Лічильник обліку гарячої води [5]

Технічні характеристики даного типу лічильника наведені в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики лічильника Новатор ЛК-15Г [5]

Найменування показника	Значення показника
Номінальна витрата, м ³ /год	1,6
Максимальна витрата, м ³ /год	3,0
Мінімальна витрата, м ³ /год	0,03 / 0,06
Температура вимірювальної води, °С	30...90

Облік споживання холодної води здійснюється за допомогою лічильника МТК-UA (рисунок 1.6). Термін повірки – 18.06.2021 р.



Рисунок 1.6 – Лічильник обліку холодної води [6]

Технічні характеристики даного типу лічильника наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики лічильника МТК-UA [6]

Найменування показника	Значення показника
Номінальна витрата, м ³ /год	6,0
Максимальна витрата, м ³ /год	12,0
Мінімальна витрата, м ³ /год	0,14
Температура вимірювальної води, °С	5...30

1.3.6 Існуючі тарифи на енергоносії та воду

Станом на 31.10.2024 р. тарифи на енергоносії та воду становлять з ПДВ згідно наданої інформації складають:

- теплова енергія – 3403,00 грн/Гкал;
- гаряче водопостачання – 169, 13 грн/м³;

- водопостачання – 15,98 грн/м³;
- водовідведення – 16,67 грн/м³;
- електрична енергія – 6,2 грн / кВт·год.

1.4 Опис методів та приладів для проведення вимірювань

Під час енергетичного обстеження в будівлі навчального закладу загальної середньої освіти спеціальна школа використовувались прилади: пірометр, далекомір, універсальний вимірювач.

Пірометр використовувався для вимірювань температури поверхонь безконтактним способом (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Неконтактний пірометр МТ-4 фірми Fluke [7]

Fluke 64 MAX – це інфрачервоний пірометр, який вимірює температуру поверхні в діапазоні від -30°C до +600°C. Випромінювальну здатність можна регулювати від 0,1 до 1, що робить його придатним для будь-яких матеріалів, а оптична роздільна здатність 10:1 дозволяє проводити вимірювання на безпечних відстанях [8].

Для вимірювання геометричних розмірів приміщення використовувалась лазерна рулетка (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Лазерна рулетка [8]

Для виміру вологості повітря використовувався універсальний вимірювач температури, вологості та точки роси testo 605-h1 (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 - Універсальний вимірювач температури, вологості та точки роси testo 605-h1 [9]

1.5 Аналіз результатів вимірювання

Вимірювання проводилось 06.11.2024 р. Температура зовнішнього повітря становила: +2 °С.

Вимірювані параметри склали:

1) середня температура повітря по кімнатах будівлі склала $T_{в} = 20$ °С, що відповідає санітарним вимогам [10].

2) температура теплоносія в системі опалення $T_1 = 62$ °С; $T_2 = 41$ °С (згідно показань пірометра).

3) відносна вологість повітря – 50%, що відповідає вимогам норм [10].

1.6 Аналіз споживання енергоносіїв та води

На об'єкті ведеться щомісячний облік споживання теплової енергії, електричної енергії та холодної води.

1.6.1 Аналіз обсягів споживання теплоенергії

Помісячне споживання теплової енергії у 2021, 2022, 2023 та 2024 роках наведено в таблиці 1.5 та на рисунку 1.10 в одиницях виміру на основі даних системи моніторингу.

Таблиця 1.5 – Величина споживання теплової енергії за 2021 – 2024 роки, Гкал

Місяці	2021 рік, Гкал	2022 рік, Гкал	2023 рік, Гкал	2024 рік, Гкал
Січень	69,12	70,54	56,01	72,85
Лютий	52,32	54,40	54,51	58,02
Березень	41,74	15,44	36,59	37,74
Квітень	3,14	1,88	4,37	-

Продовження таблиці 1.5

Травень	-	-	-	-
Червень	-	-	-	-
Липень	-	-	-	-
Серпень	-	-	-	-
Вересень	-	-	-	-
Жовтень	19,41	-	18,00	17,1
Листопад	24,12	39,81	43,40	-
Грудень	51,78	53,48	63,42	-
Всього	261,63	265,55	276,3	-

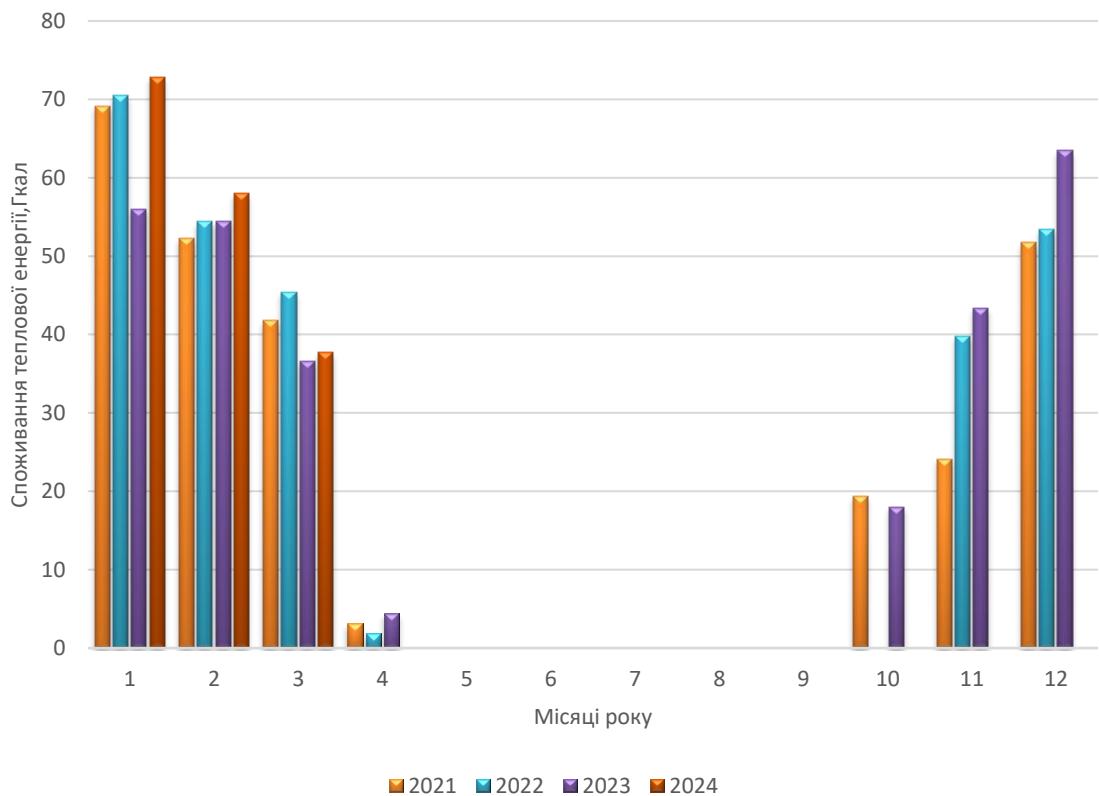


Рисунок 1.10 – Діаграма споживання теплової енергії за 2021-2024 роки

Згідно діаграми споживання теплової енергії видно, що споживання теплової енергії закладом здійснюється лише під час опалювального періоду. 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 та лімітами в споживанні.

Найменше теплової енергії споживалось в лютому та березні місяці 2022 року. Це пов'язано з повномасштабним вторгненням росії на територію України. Школа в цей час не працювала. Споживання теплової енергії було мінімальним.

1.6.2 Аналіз обсягів споживання електричної енергії

Помісячне споживання електричної енергії у 2022, 2023 та 2024 роках наведено в таблиці 1.6 та на рисунку 1.11.

Таблиця 1.6 – Величина споживання електричної енергії за 2022 – 2024 роки

Місяці	2022 рік, кВт·год	2023 рік, кВт·год	2024 рік, кВт·год
Січень	3125	1206,66	2195,67
Лютий	3295,83	1816,97	1801,00
Березень	1258,17	1982,97	2043,33
Квітень	1139,33	901,65	1971,33
Травень	466,67	803,33	1600
Червень	300	625	95
Липень	301,67	535	425
Серпень	303,34	440	693,33
Вересень	689,98	1238,34	606,67
Жовтень	775	1851,66	500
Листопад	1300	2475	-
Грудень	1458,35	3058,33	-
Всього	14413,34	16934,91	-

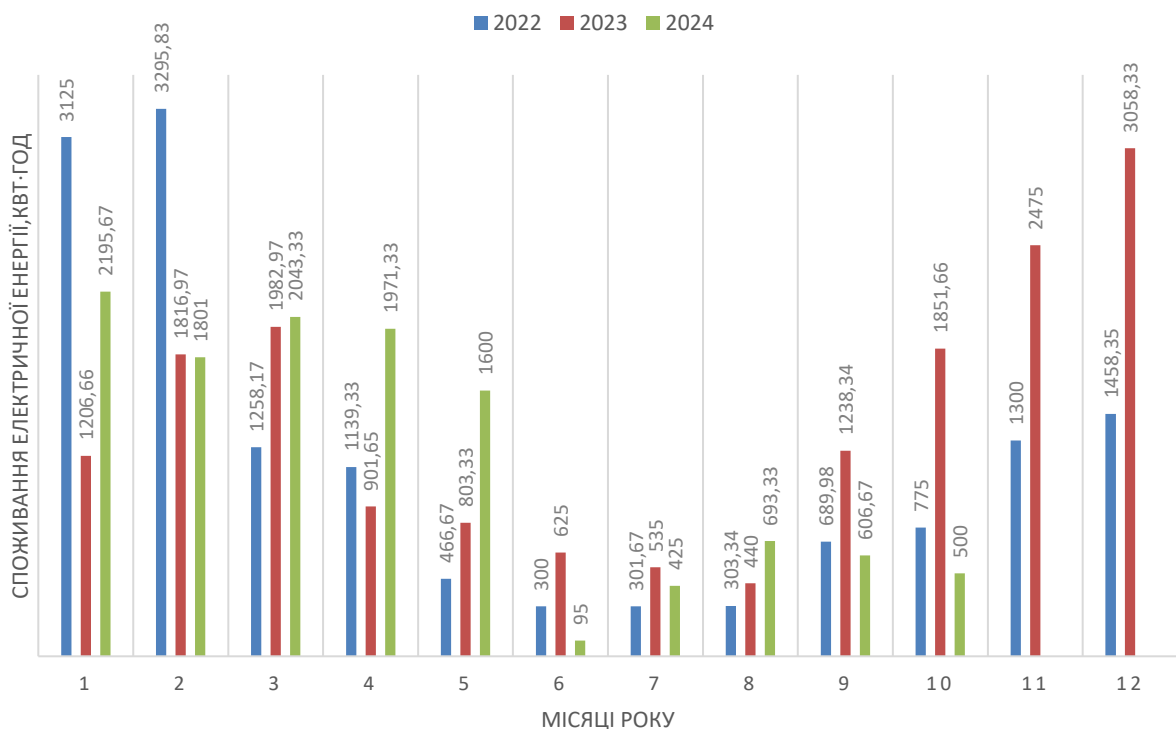


Рисунок 1.11 – Діаграма споживання електричної енергії за 2022-2024 роки

З діаграми споживання електроенергії видно, що зростання рівня споживання електричної енергії відбувається в восени та взимку. В цей період більше використовується штучних джерел освітлення.

В 2023 та 2024 році рівень споживання майже не змінний. Це пояснюється контролем за режимами споживання електричної енергії та встановленими лімітами.

Найменше електричної енергії споживалося в 2022 році. Це пов'язано з повномасштабним вторгненням росії на територію України. Заклад працював в дистанційному режимі.

1.6.3 Аналіз обсягів споживання холодної води

Помісячне споживання води у 2022, 2023 та 2024 роках наведено в таблиці 1.7 та на рисунку 1.12.

Таблиця 1.7 – Споживання холодної води за 2022-2024 роки

Місяці	2022 рік, м ³	2023 рік, м ³	2024 рік, м ³
Січень	39	18	31
Лютий	38	27	33
Березень	30	34	27
Квітень	13	26	46
Травень	13	54	53
Червень	22	51	16
Липень	22	20	35
Серпень	35	32	30
Вересень	30	42	34
Жовтень	20	44	23
Листопад	29	41	-
Грудень	30	46	-
Всього	321	435	-

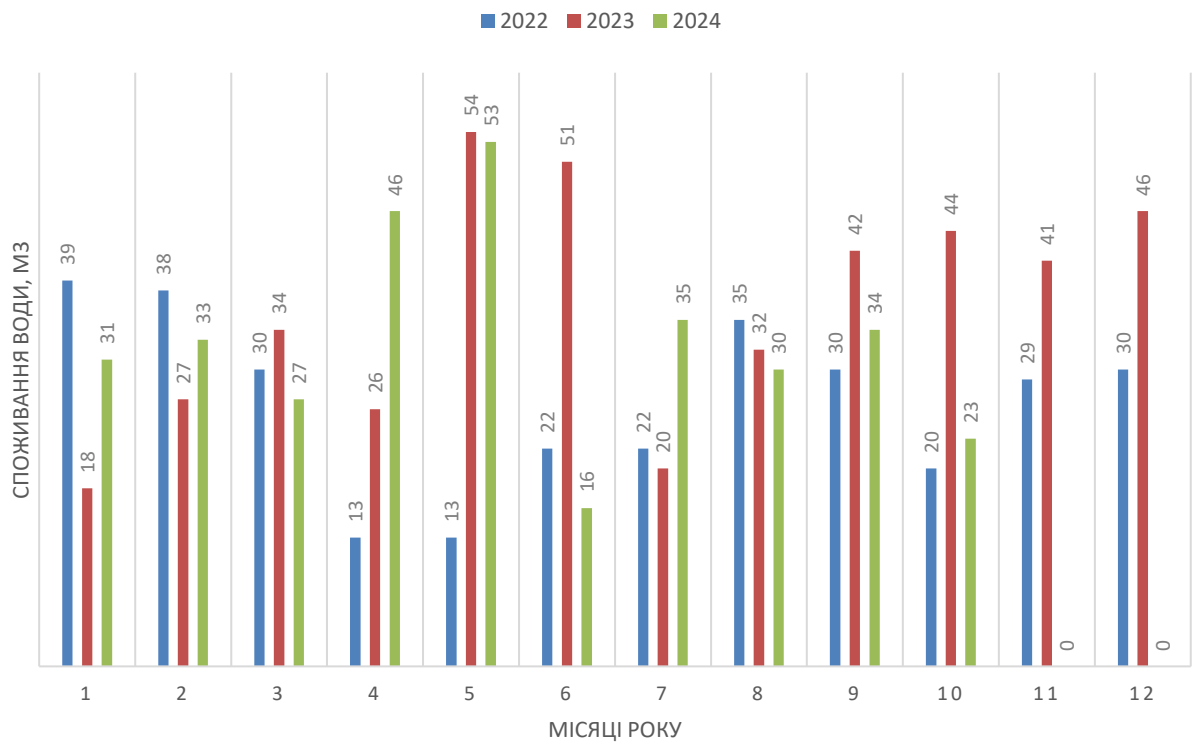


Рисунок 1.12 – Діаграма споживання води за 2022-2024 роки

Як видно з діаграми рівень споживання води в 2023-2024 році майже не змінний. Це пов'язано з контролем за режимом споживання та лімітами.

Найменше води споживалося в 2022 році. Це пов'язано з повномасштабним вторгненням росії на територію України. Кількість відвідувачів у будівлі була мінімальною.

1.6.4 Аналіз обсягів споживання гарячої води

Помісячне споживання гарячої води у 2022, 2023 та 2024 роках наведено в таблиці 1.8 та на рисунку 1.13.

Таблиця 1.8 – Споживання гарячої води за 2022-2024 роки

Місяці	2022 рік, м ³	2023 рік, м ³	2024 рік, м ³
Січень	40,02	10,21	18,33
Лютий	45,81	17,41	21,5
Березень	17,16	19,02	28,27
Квітень	30,98	16,37	40,53
Травень	24,98	0,67	32,4
Червень	1,0	16,7	16,37
Липень	0	2	7,33
Серпень	4	1,7	11,33
Вересень	10	28,2	12,67
Жовтень	13,2	31	2,0
Листопад	19,97	29,5	-
Грудень	21,41	34,67	-
Всього	228,53	207,45	-

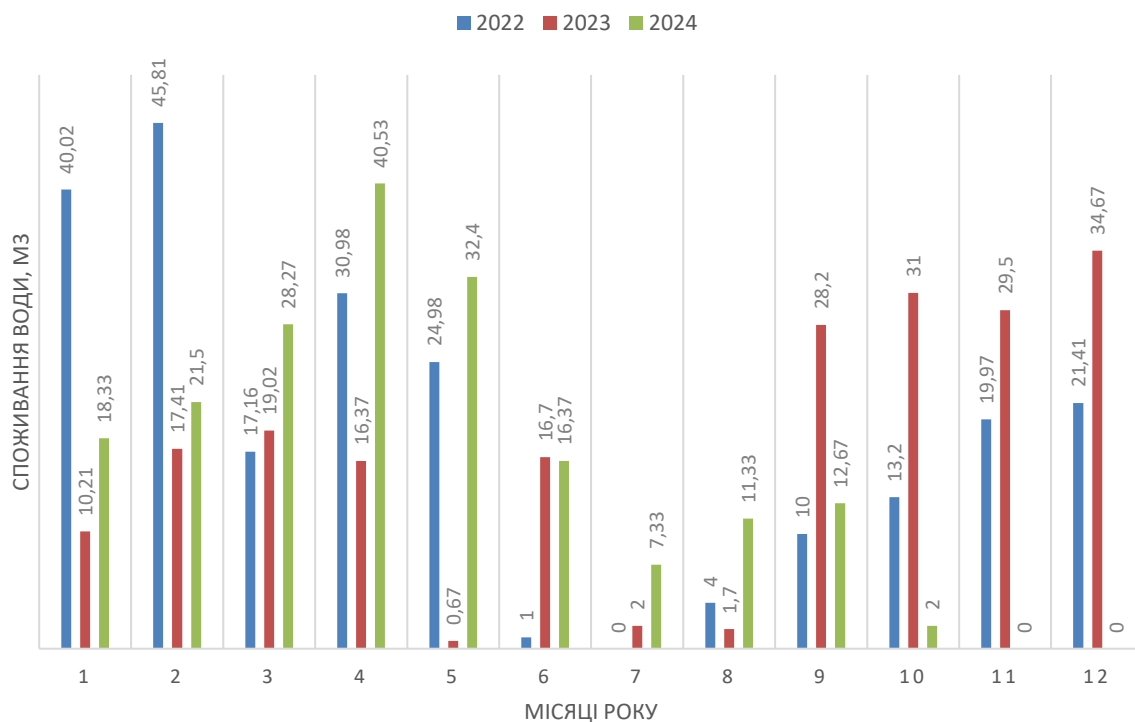


Рисунок 1.13 – Діаграма споживання води за 2022-2024 роки

Як видно з діаграми рівень споживання води в 2023-2024 році майже не змінний. Це пов'язано з контролем за режимом споживання та лімітами.

Найменше гарячої води споживалося в 2022 році. Це пов'язано з повномасштабним вторгненням росії на територію України. Кількість відвідувачів у будівлі була мінімальною.

1.7 Розрахунковий аналіз показників енергоефективності

1.7.1 Техніко-економічний аналіз споживання теплової енергії

Питома енергопотреба (EP) – показник енергетичної ефективності будівлі, що визначає кількість енергії, яку необхідно подати до або видалити з кондиціонованого об'єму для забезпечення нормованих теплових умов мікроклімату в приміщеннях, і належить до одиниці опалюваної (кондиціонованої) площі або об'єму будівлі [11]:

$$EP_{use} = \frac{Q_H}{A_f}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^3} \quad (1.1)$$

де Q_H – величина споживаної теплової потужності будинку за весь опалювальний період (за обліковими даними), кВт·год;

A_f – опалювальна площа будівлі, м².

Питома потреба на опалення будинків повинна відповідати умові [11]:

$$EP_{use} \leq EP_p, \quad (1.2)$$

де EP_{use} – питома річна енергопотреба будівлі, кВт·год/м³;

EP_p – граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні житлових та громадських будівель, що встановлюється згідно з мінімальними вимогами до енергетичної ефективності будівель, кВт год/м³ [11].

Нормативна питома енергопотреба для будівель закладів освіти згідно [11]:

$$EP_p = [55\lambda b c i + 24] \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^3} = 0,032 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}.$$

Згідно наданих об'єктом енергетичного обстеження облікових даних, фактичні питомі тепловитрати на опалення будівлі за опалювальний рік становлять:

- за 2020-2021 рік – $Q_{оп} = 261,63$ Гкал;
- за 2021-2022 рік – $Q_{оп} = 265,55$ Гкал;
- за 2022-2023 рік – $Q_{оп} = 276,3$ Гкал.

Значення фактичних питомих енерговитрат за періодами опалення становлять:

- за 2020-2021 рік – $EP = 0,041$ Гкал/м³;
- за 2021-2022 рік – $EP = 0,041$ Гкал/м³;
- за 2022-2023 рік – $EP = 0,043$ Гкал/м³.

Осереднене значення показника енергоефективності будинку за визначеними роками становить – $EP = 0,042$ Гкал/м³.

Клас енергетичної ефективності будівлі визначимо за формулою, згідно [11]:

$$\Delta_{EP} = \left(\frac{EP_{use} - EP_p}{EP_p} \right) \cdot 100\% , \quad (1.3)$$

Клас енергетичної ефективності будівлі:

$$\Delta_{EP} = \left(\frac{0,042 - 0,032}{0,032} \right) \cdot 100\% = 30\%$$

Згідно з [11] дана будівля відноситься до класу енергетичної ефективності «Е».

Такий стан усіх технічних та конструктивних елементів, що визначають енергоефективність процесів виробництва та підтримання теплового балансу в будівлі, слід вважати таким, що не відповідає сучасним вимогам енергоефективності.

1.7.2 Техніко-економічний аналіз споживання електричної енергії

Техніко-економічний аналіз споживання електричної енергії можна зробити за рахунок порівняння фактичних норм споживання електричної енергії з нормованим значенням.

Згідно з [12] норма споживання електричної енергії для навчальних закладів складає 37 кВт·год/м² корисної площі.

$$\text{- 2022 рік: } \frac{14413,34 \text{ кВт}\cdot\text{год}}{2153,2 \text{ м}^2} = 6,7 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2;$$

$$\text{- 2023 рік: } \frac{16934,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}}{2153,2 \text{ м}^2} = 7,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2.$$

Як бачимо дійсні витрати не перевищують нормовані. Це є гарним показником.

1.7.3 Техніко-економічний аналіз споживання води

Аналіз графіків зміни витрат води по місяцям року показує відповідність витрат води нормативам. За відомими величинами місячних витрат води і відомій кількості працівників у будівлі визначено питомі показники витрат холодної на одну особу за добу, які можна порівняти з нормативними величинами [13]. Норма витрат води для будівлі на одну людину становить – 40 л/добу.

$$\text{- 2022 рік } \left(\frac{321000\text{л}}{100\text{людей}} \right) / 280\text{днів} = 11,5 \text{ л/добу};$$

$$\text{- 2023 рік } \left(\frac{435000\text{л}}{100\text{людей}} \right) / 280\text{днів} = 15,5 \text{ л/добу}.$$

Порівняння норми витрат води і дійсних величин витрат показує, що реальні значення перевищують нормовані. Це є незадовільним показником.

Для того аби проаналізувати потенціал економії ресурсів на рисунку 1.14 представлено діаграму, де зображено вартість спожитих енергоресурсів та води за 2023 рік.

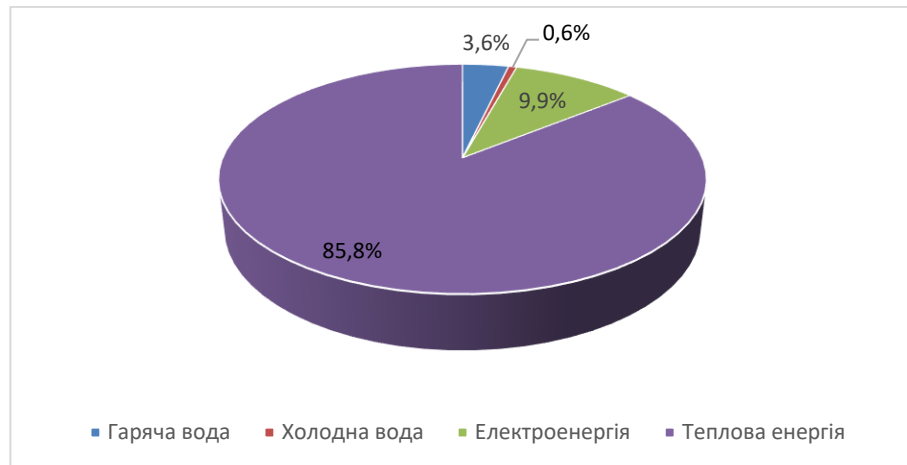


Рисунок 1.14 – Вартість спожитих енергоресурсів та води за 2023 рік

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

1.8 Аналіз енергетичного балансу будівлі

Розрахунки для оцінки енергетичного стану будівлі виконано згідно методики [14].

1.8.1 Розрахунковий аналіз обстежуваної системи енергопостачання

Розрахунок термічного опору огорожувальних конструкцій

Приведений опір теплопередачі дійсних огорожувальних конструкцій $R_{\Sigma пр}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ повинний бути не менше за вимагаємих значень $R_{q \text{ min}}$, які визначаються виходячи із санітарно-гігієнічних та комфортних умов і умов енергозбереження [14].

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд обов'язкове виконання умови:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q \text{ min}}, \quad (1.4)$$

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

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

Мінімально допустиме значення, $R_{q \text{ min}}$, опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій, дверей та воріт промислових будинків встановлюється згідно від температурної зони експлуатації будинку, тепловологісного режиму внутрішнього середовища.

R_i – термічний опір i -го шару конструкції, що розраховується за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}, \quad (1.5)$$

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

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м · К) [14];

n – кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку.

Приведений опір теплопередачі, $R_{\Sigma np}$, м²·К/Вт, непрозорої огорожувальної конструкції при перевірці виконання умови за формулою (1.4) розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3} \quad (1.6)$$

де α_6 , α_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К);

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації згідно, Вт/(м · К);

n – кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку;

R_i – термічний опір i -го шару конструкції, згідно формули (1.2), м² · К/Вт.

Розрахунок тепловтрат

При дотриманні оптимальних умов теплового балансу приміщень будинків необхідно щоб виконувалася в них умова рівності між тепловтратами і теплонадходженнями.

Сумарні розрахункові тепловтрати приміщень згідно [14]:

$$\sum Q_{втр} = \sum Q_0 + \sum Q_{\delta} + \sum Q_{инф} + \sum Q_{\epsilon}, \text{ Вт} \quad (1.7)$$

де ΣQ_0 – сумарні втрати теплоти через зовнішні огорожувальні конструкції будівлі, Вт;

ΣQ_δ – сумарні додаткові втрати теплоти через зовнішні огорожувальні конструкції, Вт;

$\Sigma Q_{in\phi}$ – сумарні додаткові втрати теплоти на інфільтрацію холодного повітря, Вт;

ΣQ_ν – сумарні додаткові втрати теплоти на витяжну вентиляцію, Вт.

Тепловтрати через огорожувальні конструкції будівлі (стіни, стелі, світлові прорізи, двері, підлоги) [14]:

$$Q_0 = \frac{F_{ozp}}{R_{\Sigma np}} \cdot (t_\theta - t_3) \cdot n, \text{ Вт} \quad (1.8)$$

де F_{ozp} – розрахункова площа поверхні огорожувальної конструкції, м²;

$R_{\Sigma np}$ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції (за результатами проведених розрахунків), м²·°С/Вт [14];

$t_\theta, t_{3,p}$ – відповідно температури усередині приміщення і зовнішнього повітря, °С;

n – коефіцієнт, прийнятий залежно від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції відносно зовнішнього повітря [14].

Сумарні втрати теплоти через огорожувальні конструкції визначаються по наступному вираженню [14]:

$$\Sigma Q_0 = \Sigma Q_{ct} + \Sigma Q_{ctл} + \Sigma Q_{вкн} + \Sigma Q_{з.д} + \Sigma Q_{ндл}, \text{ Вт} \quad (1.9)$$

де ΣQ_{ct} – сумарні втрати теплоти через зовнішні огороження (вертикальної конструкції), Вт;

$\Sigma Q_{ctл}$ – сумарні втрати теплоти через стелю (покриття), Вт;

$\Sigma Q_{вкн}$ – сумарні втрати теплоти через світлові прорізи, Вт;

$\Sigma Q_{з.д}$ – сумарні втрати теплоти через ворота, обчислені для приміщень у яких є вихід на зовнішню сторону будинку, Вт;

$\Sigma Q_{ндл}$ – сумарні втрати теплоти через неутеплені підлоги на ґрунті, Вт.

Розрахунок додаткових тепловтрат через огорожувальні конструкції

Додаткові втрати тепла через огорожувальні конструкції будівель обумовлені наявністю багатьох різних неврахованих факторів, що підвищують величини основних тепловтрат на деякі частки від їхніх значень.

Додаткові тепловтрати через зовнішні стіни, обумовлені орієнтацією будинків

$$\Sigma Q_{op}^{\partial} = \Sigma Q_{cm} \cdot \beta_{op}, \text{ Вт} \quad (1.10)$$

де ΣQ_{cm} – сумарні тепловтрати зовнішні стіни приміщень, Вт;

β_{op} – коефіцієнт добавки на орієнтацію зовнішньої стіни стосовно сторін світу [14].

Додаткові тепловтрати через неутеплені підлоги розташованими на ґрунті або над холодними підвалами

$$\Sigma Q_{ndl}^{\partial} = 0,13 \cdot Q_{ndl}, \text{ Вт} \quad (1.11)$$

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

Величина сумарних додаткових втрат теплоти через огорожувальні конструкції

$$\Sigma Q_{\partial} = \Sigma Q_{op}^{\partial} + \Sigma Q_{e}^{\partial} + \Sigma Q_{ndl}^{\partial}, \text{ Вт} \quad (1.12)$$

де ΣQ_{op}^{∂} – сумарні додаткові тепловтрати через зовнішні огороження на орієнтацію, Вт;

ΣQ_{e}^{∂} – сумарні тепловтрати по висоті приміщень, Вт;

$\Sigma Q_{ndl}^{\partial}$ – сумарні тепловтрати через неутеплені підлоги, Вт.

Додаткові втрати теплоти на інфільтрацію холодного повітря [14]

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря через світлові прорізи

$$Q_{вкн}^{інф} = 0,28 \cdot G_{н.вкн} \cdot F_{вкн} \cdot c \cdot (t_в - t_{з,р}) \cdot n_в, \text{ Вт} \quad (1.13)$$

де c – питома теплоємність повітря, що дорівнює 1,005 кДж/кг·°С [14];

$t_в$, $t_{з,р}$ – відповідно температури внутрішнього повітря приміщення і зовнішнього повітря, °С;

$G_{н.вкн}$ – кількість інфільтрованого холодного повітря через нещільність віконного огородження, кг/(м²·год);

$F_{вкн}$ – площа віконного прорізу, м².

$n_в$ – кількість однотипних вікон.

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря через відкриті двері

З урахуванням дії вітру масова витрата повітря, що уривається через відкриті двері, може бути визначена за рівнянням [14]:

$$G_{вр} = B \cdot H \cdot [0,33 \cdot k_q \cdot (g \cdot H \cdot \Delta\rho/\rho_c) \cdot 0,5 + 0,125 \cdot v] \cdot \rho_c, \text{ кг/с} \quad (1.14)$$

де B і H – ширина та висота дверей відповідно, м;

k_q – коефіцієнт витрати (для незахищених дверей 0,8) [14];

g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с² [14];

v – швидкість вітру під кутом до дверей (I-а кліматична зона – 2 м/с; II-а кліматична зона – 2,1 м/с) [14];

$\Delta\rho$ – різниця густин повітряних мас ($\Delta\rho = \rho - \rho_c$), кг/м³;

ρ_c – середня густина повітряних мас, кг/м³ (при нормальних умовах $\rho = 1,3$ кг/м³) [14];

$$\rho_c = \frac{353}{[273 + 0,5 \cdot (t_g + t_{cp.on})]} \quad (1.15)$$

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

Теплова потужність, яка необхідна для нагріву повітря, що вривається у двері без повітряної завіси, знаходиться за формулою [14]:

$$Q_{gp}^{inf} = G_{gp} \cdot c \cdot (t_g - t_{z,p}) \cdot k_g, \text{ кВт} \quad (1.16)$$

де G_{gp} – масова витрата зовнішнього повітря, що поступає через ворота, кг/с;
 c – питома теплоємність повітря, що дорівнює 1,005 кДж/кг·°С [14];
 t_g і $t_{z,p}$ – температура внутрішнього повітря приміщення і зовнішнього повітря, °С;
 k_g – коефіцієнт, що враховує фактичний час відкриття воріт протягом години.

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію повітря через нещільність дверей [14]

$$Q_{z.d}^{inf} = 0,28 \cdot G_{z.d} \cdot c \cdot (t_g - t_z), \quad (1.17)$$

де c – питома теплоємність повітря, що дорівнює 1,005 кДж/кг·°С;
 t_g , t_z – відповідно температури внутрішнього повітря приміщення і розрахункового зовнішнього повітря, °С;
 $G_{z.d}$ – кількість інфільтрованого холодного повітря крізь неущільнені ворота, кг/год [14]:

$$G_{z.d} = b_{n.d} \cdot L_{n.d} \cdot v_{cp.n.d} \cdot m_n \cdot 3600, \quad (1.18)$$

де $b_{n.d}$ – ширина встановленої дверної або іншої нещільності (приймається 5 мм), м;

$L_{н.д}$ – довжина нещільності (береться загальний периметр дверей), м;

$v_{ср.н.д}$ – осереднена швидкість інфільтрації холодного повітря через нещільність (приймається 0,8 м/с), м/с [14];

m_n – маса 1 м³ повітря (для практичних розрахунків беруть $m_n = 1,3$ кг).

Сумарні додаткові втрати теплоти на інфільтрацію холодного повітря

$$\Sigma Q_{инф} = Q_{вкн}^{инф} + Q_{вр}^{инф} + Q_{з.д}^{инф}, \text{ Вт} \quad (1.19)$$

Додаткові тепловтрати на витяжну вентиляцію

У випадку природної вентиляції розрахунок втрат теплоти проводиться по наступній залежності

$$Q_{в} = 0,28 \cdot V_{П} \cdot c \cdot \rho \cdot (t_{в} - t_{з.р}) \cdot n_{к} \cdot k_{V}, \text{ Вт} \quad (1.20)$$

де c – питома теплоємність повітря, що дорівнює 1,005 кДж/кг·°С [14];

$t_{в}$ і $t_{з.р}$ – температура внутрішнього повітря приміщення і розрахункового зовнішнього повітря, °С [14];

$V_{П}$ – внутрішній об'єм приміщення, м³ [14];

ρ – густина повітря, яке видаляється з приміщення, $\rho=1,3$ кг/м³ [14];

$n_{к}$ – кратність повітрообміну приміщення, год⁻¹ (за умовою завдання);

k_{V} – коефіцієнт, що враховує зменшення внутрішнього об'єму приміщення із-за розташування в ньому різного обладнання (приймається $k_{V}=0,85$) [14].

1.8.2 Розрахунок теплонадходжень

Теплонадходження від людей [14]:

$$Q_{л} = q_{л} \cdot n_{л}, \text{ Вт} \quad (1.21)$$

де $q_{л}$ – явні теплонадходження від людей, Вт;

$n_{л}$ – кількість людей.

Теплонадходження від працюючого електроустаткування [14]:

$$Q_{ел} = N_{ел} \cdot (1 - k_{II} \cdot \eta + k_T \cdot k_{II} \cdot \eta) \cdot k_c, \text{ Вт} \quad (1.22)$$

де $N_{ел}$ – номінальна потужність електроустаткування, Вт;

k_{II} – коефіцієнт завантаження;

η – ККД електроустаткування;

k_T – коефіцієнт переходу тепла в приміщення;

k_c – коефіцієнт попиту на електроенергію;

Теплонадходження від джерел освітлення [14]:

$$Q_{осв} = N_l \cdot k_{осв} \cdot n_l \cdot k_z, \text{ Вт} \quad (1.23)$$

де N_l – потужність одного джерела освітлення, Вт;

$k_{осв}$ – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову;

k_z – коефіцієнт завантаження освітлення;

n_l – кількість однотипних джерел освітлення.

Теплонадходження від сонячної радіації

$$Q_{рад} = (q_c \cdot F_c + q_T \cdot F_T) \cdot k_{ОП}, \text{ Вт} \quad (1.24)$$

де q_c , q_T – відповідно тепловий потік, що надходить через 1 м^2 скління, освітленого сонцем і перебуваючого в тіні, Вт/м^2 ($q_c=250 \text{ Вт/м}^2$; $q_T=100 \text{ Вт/м}^2$);

F_c , F_T – площі заповнення світлових прорізів, відповідно освітлених і затінених, м^2 ;

$k_{ОП}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу ($k_{ОП}=0,6$) [14].

Сумарні теплонадходження [14]:

$$Q_{тн} = Q_{л} + Q_{ел} + Q_{осв} + Q_{рад}, \text{ Вт} \quad (1.25)$$

Визначення теплової потужності всієї будівлі [14]:

$$\Delta Q = \Sigma Q_{втр} - \Sigma Q_{тн}, \text{ Вт} \quad (1.26)$$

де $\Sigma Q_{втр}$ – сумарні тепловтрати по всій будівлі, Вт;

$\Sigma Q_{тн}$ – сумарні теплонадходження по всій будівлі, Вт.

Вихідні дані та результати розрахунку наведені в таблицях 1.9,1.10.

Розрахунок проводився за допомогою текстового редактора Microsoft Excel [15] (Додаток А).

Таблиця 1.9 – Значення вихідних даних

№ п/п	Найменування конструктивного елемента	Матеріал шару	Товщина шару, δ_i , м	Тепло-провідність λ_i , $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$R_{\Sigma \text{пр}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	
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		
3	Вікна	Металопластикові з двокамерним склопакетом	-	-	0,7	0,9
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	0,16	0,27
		Металопластикові	0,05	0,43	0,27	
		Дерев'яні	0,05	0,23	0,38	

Таблиця 1.10 – Результати розрахунку

Результати розрахунку теплової потужності будівлі				
Назва приміщення	Сумарна величина тепловтрат $\Sigma Q_{\text{втр}}, \text{Вт}$	Сумарна величина теплонадходжень $\Sigma Q_{\text{тн}}, \text{Вт}$	Величина теплової потужності $\Delta Q, \text{Вт}$	Розрахункові річні витрати теплоти на опалення будівлі до впровадження ЕЗЗ, кВт
Приміщення школи	487480	121940,23	365539,8	780169,16

1.9 Висновки до розділу

- Виконано обстеження зовнішніх огороджуючих конструкцій.
- Будівля школи централізовано забезпечується тепловою енергією для опалення, холодною водою та водовідведенням.
- На об'єкті ведеться облік споживання енергоресурсів. Здійснено опис вузлів обліку енергетичних ресурсів та їхні технічні характеристики.
- Виконано аналіз споживання енергетичних ресурсів та їх порівняння з нормативними показниками.
- Виконано розрахунок опорів теплопередач зовнішніх огороджуючих конструкцій, видів тепловтрат та теплонадходжень.
- Виконано розрахунок теплової потужності будівлі, яка склала **365539,8 Вт**.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ

2.1 Опис можливих енергозбережних заходів

Теплові насоси – це енергоефективне обладнання, яке цілий рік підтримує комфортну температуру в приміщенні, опалюючи його взимку та охолоджуючи влітку. Разом із цим, теплові насоси забезпечують нагрів води для потреб системи гарячого водопостачання [15].

Існує кілька видів теплових насосів, які відрізняються принципом роботи системи, джерелом тепла. Також кожен тип обладнання має особливі вимоги для встановлення, свої переваги та недоліки [15].

Розрізняють такі види теплових насосів [15]:

1. Тепловий насос «повітря-повітря».
2. Тепловий насос «повітря-вода».
3. Геотермальний тепловий насос.

Основною характеристикою ефективності по відношенню до тепла є COP (Coefficient of Performance – коефіцієнт продуктивності тепла), який залежить від температури повітря [15]. Що ближча температура повітря до 0 °C, то більший COP. Що стосується охолодження будинку, то характеристикою є EER (Energy Efficiency Ratio) [15].

Тепловий насос для опалення складається з двох блоків: внутрішнього, яким є конденсатор, а також зовнішнього, який являє собою випарник. Для повноцінної роботи, внутрішній і зовнішній блоки зв'язуються фреоновою магістраллю, по якій рухається холодоагент [15].

Додатковим обладнанням для швидкої генерації холоду або тепла для теплового насоса «повітря-вода» є фанкойли, радіатори, внутрішньопідлогові конвектори. Підбір радіаторів має здійснюватися не вище +45 °C.

При придбанні теплового насоса з його реалізацією за допомогою теплої підлоги, радіаторів і внутрішньопідлогових конвекторів, Ви не зможете

здійснювати функцію охолодження будинку на літній період часу. Для ефективної роботи обладнання, необхідно використовувати тепловий насос, враховуючи всі його функції: опалення/охолодження, нагрів води для гарячого водопостачання. Виходячи з цього, для продуктивної експлуатації теплового насоса, необхідно замінити радіатори на фанкойли підлогового типу, які зможуть працювати як на обігрів, так і на охолодження приміщення.

Тепловий насос для опалення є низькотемпературним обладнанням, яке працює при спільній роботі з теплою підлогою. Таким чином, що нижча температура подачі, то ефективніший сам тепловий насос.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд теплового насосу [16]

Тепловий насос для опалення має низку переваг [15]:

- висока енергоефективність, яка передбачає мінімальні витрати на щомісячне утримання будинку. Річ у тім, що під час купівлі 1 кВт електроенергії, завдяки високому коефіцієнту перетворення тепла, система дає змогу отримати 3 кВт теплової енергії;

- пристрій не залежить від наявності газу в будинку, оскільки підведення газу на ділянку є дорогим рішенням, тому Ви заощадите за допомогою цього обладнання;

- опалення тепловим насосом економічно вигідне в експлуатації, що супроводжує мінімальні витрати на утримання холоду, тепла і ГВП. Опалення тепловим насосом набагато дешевше, порівняно з використанням газового або електрокотла.

Для споживачів електроенергії було встановлено нові тарифи, які робили використання теплового насоса ще більш вигідним [13]:

- якщо на ділянці відсутня проводка газу в будинок, держава могла надати 3000 кВт годин з 50% знижкою – що вважалось дуже вигідною пропозицією [13];

- у нічний період часу мешканці могли використовувати електроенергію, ціна якої була знижена ще на 50%. Сьогодні використовується тільки нічний тариф, в якому існує знижка -50% від початкової ціни [13];

- режим, що налаштовується. Автоматика теплового насоса дасть можливість підтримувати комфортну температуру в приміщенні, незалежно від пори року [15];

- екологічний. Відсутні шкідливі викиди в навколишнє середовище, які вважаються небезпечними як для природи, так і для людей [15].

2.1.1 Встановлення сонячних панелей на даху будинку

В умовах постійних відключень електроенергії через війну з росією сучасний напрямок впровадження сонячних електростанцій є чудовим рішенням [17]. Переваги та фактори, які роблять фотоелектричні електростанції привабливими для децентралізованого виробництва енергії, перераховані нижче.

Незалежність від централізованого постачання електричної енергії. Фотоелектричні електростанції можуть виробляти електроенергію в точці споживання, таким чином усуваючи потребу в електропостачанні від централізованих електростанцій [17].

Стійкість до відключень. Сонце є найдешевшим джерелом енергії, сонячні панелі можуть виробляти електроенергію навіть тоді, коли доступ до інших джерел енергії обмежений.

Енергетична незалежність: Встановлення сонячних електростанцій дозволить людям стати енергонезалежними та самодостатніми в електроенергії в умовах конфлікту.

Екологічність. Сонячні батареї працюють на відновлюваних джерелах енергії, а тому є екологічно чистими та сприяють зменшенню викидів парникових газів.

Простота в монтажу. Невеликі сонячні батареї можуть бути легко встановлені на дахах, гаражах та інших доступних місцях, що робить їх цілком доступними і легкодоступними.

Економічна вигода: Відсутність витрат на паливо та інші ресурси для виробництва електроенергії знижує експлуатаційні витрати і робить сонячні електростанції економічно вигідними в довгостроковій перспективі.

В умовах надзвичайної ситуації або війни з росією використання сонячних електростанцій забезпечує безпеку енергопостачання та полегшує життя людей.

Сонячні батареї, встановлені на даху або стінах будівлі, можуть бути підключені до розподільчого щита і забезпечувати електроенергією лише побутові потреби (вуличне або аварійне освітлення) [17].



Рисунок 2.2 – Принцип встановлення сонячних панелей на даху будівлі [17]

Ключові фактори при встановленні сонячних панелей [17]:

1. Місцевість

Місце повинне бути без затінь, навколо щонайменше дерев, високих будівель, парканів, тощо. Необхідно максимально передбачити появу будь-яких об'єктів, що можуть перешкодити потраплянню променів на вашу майбутню СЕС.

2. Рівень інсоляції в регіоні

Це показник кількості сонячної радіації. Чим він вищий, тим більше може генерувати станція. У різних областях потрібна інша кількість панелей для отримання такого ж результату.

3. Орієнтація на сонячну сторону

Ідеальний варіант – станція обличчям на південь. Такий варіант не завжди можливий, наприклад, у випадку з двоскатним дахом на захід-схід. Але слід вибрати найбільш оптимальне розташування.

Якщо розглядати наземну конструкцію, то з орієнтацією тут все просто. Досвідчені монтажники з легкістю розрахують правильний напрямок. Питання полягає вже в іншому: чи є необхідна вільна площа.

2.2 Розрахунковий аналіз можливих енергозбережних заходів

2.2.1 Встановлення сонячних панелей

Пропоную встановити сонячні батареї для забезпечення будівлі електричною енергією для потреб освітлення та комп'ютерної техніки.

Методика розрахунку наведена в [18].

Для забезпечення електричною енергією будівлі школи в зимовий період необхідно приблизно 75 кВт електричної енергії .

Врахуємо втрати на розряд-заряд акумулятора. Величину втрат приймемо 20% [18].

$$W_3^{зар} = 75 \cdot 1,2 = 90 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$$

Обираємо сонячні панелі RISEN 585 В (рисунок 2.1) [18].

Потужність електричної енергії, що виробляється за допомогою однієї панелі:

$$W_3 = 0,5 \cdot 0,585 = 0,3 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$$



Рисунок 2.3 – Вигляд сонячної панелі [19]

0,5 – поправковий коефіцієнт для зимового періоду відповідно [18];

0,585 – потужність однієї панелі, кВт/год [19]

Необхідна кількість панелей згідно [18]:

$$N = \frac{W^{\text{заг}}}{W} \quad (2.2)$$

Для зимового періоду:

$$N_3 = \frac{90}{0,3} = 300 \text{ панелей}$$

Як показують розрахунки необхідно встановити 300 панелей.

Необхідну ємність акумулятора знайдемо за формулою [18]:

$$Q = \frac{Q_3 \cdot t}{V \cdot k} \quad (2.3)$$

де: t – час, на який потрібно зарезервувати електричну енергію, год;

V – напруга, В;

k – коефіцієнт використання акумулятора.

$$Q = \frac{90 \cdot 6}{12 \cdot 0,7} = 64 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Обираємо 1 акумулятор LX12-80MG - 12В - 75 А/ч [20].

Вартість фотоелектричних панелей, включаючи доставку та монтаж з додатковими матеріалами (40% від вартості панелей) складає приблизно $K = 3045000$ грн [19].

Розрахуємо термін окупності даного енергозберігаючого заходу.

За 2023 рік було спожито 16934,91 кВт·год електричної енергії.

В грошовому еквіваленті економія складе:

$$E = 6,2 \cdot 16934,91 = 104996,4 \text{ грн}$$

Термін окупності даного заходу складе:

$$T_{ок} = \frac{3045000}{104996,4} = 29 \text{ років}$$

Знайдемо дисконтований термін окупності даного енергозберігаючого заходу згідно методики [21].

Результати розрахунку наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку дисконтованого терміну окупності

Рік	Інвестиції I (капітальні витрати), грн	Вигоди D (дохід), грн	Чистий грошовий потік, P_t , грн	Дисконтний множник за ставкою $r=r_1$	Приведена дисконтна вартість, грн.	NPV, грн
0	-3045000	-3045000		1		
1	0	104996,4	-2940003,6	0,909	95451	-2949549
2	0	104996,4	-2835007,2	0,826	86774	-2862775
3	0	104996,4	-2730010,8	0,751	78885	-2783889
4	0	104996,4	-2625014,4	0,683	71714	-2712176
5	0	104996,4	-2520018	0,621	65195	-2646981
6	0	104996,4	-2415021,6	0,564	59268	-2587713
7	0	104996,4	-2310025,2	0,513	53880	-2533834
8	0	104996,4	-2205028,8	0,467	48982	-2484852
9	0	104996,4	-2100032,4	0,424	44529	-2440323
10	0	104996,4	-1995036	0,386	40481	-2399843
...
25	0	104996,4	-420090	0,092	9691	-2091943

Дисконтований термін окупності даного енергозберігаючого заходу складе більше $PP = 25$ років.

2.2.2 Встановлення теплового насоса для опалення будівлі

Метою даного заходу є відмова від використання централізованої системи опалення для потреб опалення будівлі шляхом встановлення геотермального теплового насосу.

Методику розрахунку теплового насоса наведено в [18].

Вибираємо тепловий насос типу NIBE.

- потужність – 85 кВт;
 - резервування – вбудований, двохступінчастий;
 - температура подачі теплоносія в систему опалення – до 70 °С;
 - температура зворотнього теплоносія – 50 °С;
 - циркуляційні насоси (один резервний);
 - основні розміри: висота – 2100 мм; ширина – 900 мм; глибина – 800 мм; вага – 350 кг.
- електромережа – 380 В;
 - дисплей – цвітний.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд теплового насосу типу NIBE [22]

Тепловий насос має комбіноване управління опаленням «по погоді», або «по температурі в середині будівлі». Управління «по погоді» забезпечує швидке реагування системи опалення на зміну погоди. На рисунку 2.5 зображено інтерфейс блоку управління системою опалення.



Рисунок 2.5 – Інтерфейс блоку системою опалення [19]

Існує також можливість регулювання опалення по днях тижня, і за часом. Наприклад: зменшення температури вночі, або у вихідний день (зменшення температури в будівлі на 1 °C зменшує витрати опалення на 5%).

Вартість теплового насосу та робота, включаючи транспортування, пусконаладжувальні роботи, обслуговування, консультування при виникненні позаштатних ситуацій (погана електромережа, вина споживачів, тощо) складає приблизно $K = 990000$ грн [22].

Даний проект спрямований на відмову від централізованої системи тепlopостачання. Джерелом фінансування можуть бути кошти з держбюджету, або кошти іноземних організацій.

Тариф за споживання теплової енергії становить 3403,00 грн/Гкал.

Тоді споживання теплової енергії будівлею у грошовому еквіваленті за 2022-2023 рік складає:

$$E_{опал} = 3403,00 \cdot 276,3 = 940248,9 \text{ грн.}$$

Розрахуємо річну економію коштів після впровадження заходу:

- необхідна потужність теплового насосу $\Delta Q = 365539,8$ кВт.
- циркуляційні насоси споживають $W_{ц.н.} = 2500$ кВт·год за рік.
- COP теплового насосу – 4,5.

Визначимо споживання електричної енергії тепловим насосом за формулою:

$$COP = \frac{\Delta Q}{W_{Т.Н.}}, \quad (3.1)$$

де ΔQ – тепла енергія яку виробив насос;

$W_{Т.Н.}$ – споживання електричної енергії тепловим насосом.

Тоді:

$$W_{Т.Н.} = \frac{\Delta Q}{COP} = \frac{365539,8}{4,5} = 81231,1 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Сумарне споживання електричної енергії:

$$W = W_{Т.Н.} + W_{ц.н.}, \quad (3.2)$$

де $W_{Т.Н.}$ – споживання електричної енергії тепловим насосом;

$W_{ц.н.}$ – споживання електричної енергії циркуляційними насосами.

$$W = 81231,1 + 2500 = 83731,1 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

В грошовому еквіваленті:

$$E_{елект} = 83731,1 \cdot 6,2 = 519132,6 \text{ грн.}$$

Грошова економія складе:

$$\Delta E = 940248,9 - 519132,6 = 421116,3 \text{ грн/рік.}$$

Простий термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta E} = \frac{990000}{421116,3} = 2,4 \text{ роки.}$$

Визначимо дисконтований термін окупності даного енергозберігаючого заходу.

Методика розрахунку наведено в [21].

Цей проект спрямований на альтернативне теплозабезпечення будівлі шляхом встановлення теплового насосу.

Знайдемо дисконтований термін окупності даного енергозберігаючого заходу згідно методики [21].

Результати розрахунку наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку дисконтованого терміну окупності

Рік	Інвестиції I (капітальні витрати), грн	Вигоди D (дохід), грн	Чистий грошовий потік, P_t , грн	Дисконтний множник за ставкою $r=r_1$	Приведена дисконтна вартість, грн.	NPV, грн
0	-990000	-990000		1		
1	0	421116,3	-568883,7	0,909	382833	-607167
2	0	421116,3	-147767,4	0,826	348030	-259137

Продовження таблиці 2.2.

3	0	421116,3	273348,9	0,751	316391	57254
4	0	421116,3	694465,2	0,683	287628	344882
5	0	421116,3	1115581,5	0,621	261480	606362
6	0	421116,3	1536697,8	0,564	237709	844071
7	0	421116,3	1957814,1	0,513	216099	1060171
8	0	421116,3	2378930,4	0,467	196454	1256624
9	0	421116,3	2800046,7	0,424	178594	1435219
10	0	421116,3	3221163	0,386	162359	1597577

Дисконтований термін окупності згідно [21]:

$$PP = 2 + \frac{990000 - 730863}{316391} = 2,8 \text{ роки.}$$

2.2.3 Встановлення сонячних панелей на даху будинку для підігріву холодної води

Для забезпечення будівлі гарячим водопостачанням (для потреб кухні, та побутових проблем) пропоную встановити сонячні колектори для підігріву води.

Методика розрахунку наведена в [21]

Пропонується встановити сонячний комплект «SANLARIX» [22].

Середнє споживання гарячої води для побутових проблем складає в середньому 1,5 м³/добу.

Температура вихідної води для нагрівання – +10 °С.

Температура гарячої води – 50 °С.

Для нагрівання 1 л води необхідно затратити 4,19 кДж.

Визначимо кількість енергії для забезпечення побутових потреб у гарячій воді для будівлі:

$$Q = 1500 \cdot (50 - 10) \cdot 4,19 = 251400 \text{ кДж} = 69,9 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу} = 19568,9 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік.},$$

Річна економія складе:

$$\Delta E = 19568,9 \cdot 6,2 = 121327,7 \text{ грн/рік}$$

Витрати на встановлення сонячного колектора складають $K = 650000$ грн [24].

Простий термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{650000}{121327,7} = 5,4 \text{ роки.}$$

Знайдемо дисконтований термін окупності даного енергозберігаючого заходу згідно методики [21].

Результати розрахунку наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку дисконтованого терміну окупності

Рік	Інвестиції I (капітальні витрати), грн	Вигоди D (дохід), грн	Чистий грошовий потік, P_t , грн	Дисконтний множник за ставкою $r=r_1$	Приведена дисконтна вартість, грн.	NPV, грн
0	-650000	-650000		1		
1	0	121327,7	-528672,3	0,909	110298	-539702
2	0	121327,7	-407344,6	0,826	100271	-439431
3	0	121327,7	-286016,9	0,751	91155	-348276
4	0	121327,7	-164689,2	0,683	82868	-265408
5	0	121327,7	-43361,5	0,621	75335	-190073
6	0	121327,7	77966,2	0,564	68486	-121586
7	0	121327,7	199293,9	0,513	62260	-59326
8	0	121327,7	320621,6	0,467	56600	-2726
9	0	121327,7	441949,3	0,424	51455	48729
10	0	121327,7	563277	0,386	46777	95506

Дисконтований термін окупності згідно [21]:

$$PP = 8 + \frac{650000 - 647274}{51455} = 8,1 \text{ рік.}$$

2.3 Висновки за розділом

В даному розділі наведено опис енергозбережних заходів, таких як:

- встановлення сонячних панелей для забезпечення електричною енергією будівлі школи;
- встановлення теплового насосу для системи опалення;
- встановлення сонячних панелей для підігріву холодної води.

Виконано фінансовий аналіз даних заходів та виконано розрахунок простого та дисконтованого термінів окупності.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів на об'єкті дослідження

Безпека та гігієна праці має вирішальне значення для працівників та учнів Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа» СМР, яка знаходиться за адресою м. Суми, пр-т. Перемоги, 28. Вона є головним фактором для навчального-процесу і психічного та фізіологічного здоров'я людей.

До основних небезпек в будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа» СМР є [25]:

- небезпека ураження електричним струмом;
- незадовільні ергономічні характеристики робочого місця;
- негативний вплив недостатнього освітлення робочої зони на зір та продуктивність роботи учнів;
- негативний вплив незадовільних параметрів повітряного середовища робочої зони на здоров'я учнів;
- небезпека виникнення пожежі.

За охорону праці в з закладі відповідальний керівник.

3.1.1 Електробезпека

На основі «Правила улаштування електроустановок» [26] практично всі приміщення відносяться до 2-ої категорії «Приміщення з підвищеною безпекою».

Електробезпека в закладі обумовлена тим, що в закладі використовуються електроприлади та є електропостачання. Щоб запобігти ураження електричним струмом в будівлі впроваджені такі заходи та засоби захисту:

- встановлені сучасні автоматичні вимикачі та диференціальні автомати;
- наявне захисне заземлення;
- забезпечена безпечна напруга.

До основного обладнання, яке споживає електричну енергію відноситься:

- електроплити;
- холодильники;
- комп'ютери;
- принтери;
- освітлення.

При обстеженні було встановлено, що у приміщеннях відсутні відкриті струмопровідні частини. Ураження електричним струмом можливо тільки у разі несправності апаратури і мережних кабелів.

3.1.2 Механічна небезпека

До механічної небезпеки в закладі можна віднести падіння важких предметів. До них відносять шафи, стільці, тумби, монітори, принтери. За для безпеки потрібно дотримуватися рекомендацій з установа даних предметів.

3.1.3 Термічна небезпека

До термічної небезпеки в даній будівлі відносяться температура нагрітих поверхонь електроплит та радіаторів опалення. Вони досягають високих температур і можуть спричинити опіки при необережному поводженні. Щоб уберегти від термічного ураження, необхідно дотримуватися правил з техніки безпеки.

3.1.4 Мікроклімат

Мікроклімат в будівлі закладу обумовлений параметрами температури, вологості та швидкістю руху повітря. Згідно [27] нормованою температурою у навчальних приміщеннях навчальних закладів є +19–23 °С. В приміщеннях, які займають кутове положення в будівлі, температура повітря повинна бути не менше

+22 °С. Вологість повітря згідно [27] повинна складати від 40 % до 60 %. Швидкість руху – 0,1 м/с [27].

Аналізуючи дані отримані в результаті інструментального обстеження, можна сказати що температура, вологість в приміщеннях відповідають нормативним параметрам.

3.1.5 Освітлення

Освітлення робочого місця – найважливіший чинник створення нормальних умов праці. У даній будівлі застосовується комбіноване освітлення, яке складається із загального та місцевого. Місцеве освітлення створюється світильниками з люмінесцентними лампами. Природне освітлення здійснюється через вікна.

Освітленість робочої поверхні має відповідати нормам встановленим ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [28] для зорової роботи IV в точності і становити 300 лк [28].

3.1.6 Шум та іонне випромінювання

До чинників шуму в закладі відносять роботу оргтехніки та холодильників. Вони не становлять негативного фактору.

Для зменшення фактору іонного випромінювання використовуються більш сучасні прилади, які мають менші параметри випромінювання і встановлюються подалі від місця занять дітей. Це такі прилади, як комп'ютери та офісна техніка.

3.1.7 Пожежна безпека

Пожежу супроводжують такі небезпечні фактори:

- відкритий вогонь;
- висока температура повітря, предметів, обладнання;
- токсичні продукти горіння, дим, низька концентрація кисню;
- обвалення, пошкодження будинків та споруд, вибух.

Приміщення будівлі оснащено первинними засобами пожежогасіння: внутрішніми пожежними водопроводами, ручними вогнегасниками. Згідно з ДНАОП 0.01-1.01-95 «Правила пожежної безпеки в Україні» [29] будівля відноситься до категорії В пожежної безпеки приміщень. Пожежні крани встановлені в коридорах, на майданчиках сходових кліток, коло входів.

3.2 Розрахунок штучної вентиляції

Розрахунок штучної вентиляції

Методика розрахунку наведена в [30].

Розрахуємо необхідну потужність вентилятора та електропривода, для належного функціонування механічної вентиляції для місця в кабінеті хімії.

Вихідні дані для розрахунку:

Довжина приміщення – 4,35 м;

Ширина приміщення – 2,7 м;

Висота приміщення – 2,5 м.

Надмірне тепловиділення – 1903 Вт.

$t_g = 20,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

$t_3 = -22 \text{ }^\circ\text{C}$.

Схематичне зображення влаштування вентиляції показано на рисунку 3.1

Кількість припливного повітря, необхідного для відводу надлишку теплоти:

$$L = \frac{Q \cdot 3,6}{c \cdot \rho \cdot (t_g - t_3)}, \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (3.1)$$

де Q – надмірне тепловиділення, Вт

c – теплоємність повітря, кДж/(кг·°C) (приймаємо c=1,005 кДж/(кг·°C)).

3,6 – коефіцієнт переведення Вт в кДж.

ρ – густина повітря, кг/м³ ($\rho=1,3 \text{ кг/м}^3$)

t_g – температура внутрішнього повітря, °С.

t_3 – температура зовнішнього повітря, °С.

$$L = \frac{1903 \cdot 3,6}{1,005 \cdot 1,3 \cdot (20 - (-22))} = 122 \frac{m^3}{год}$$

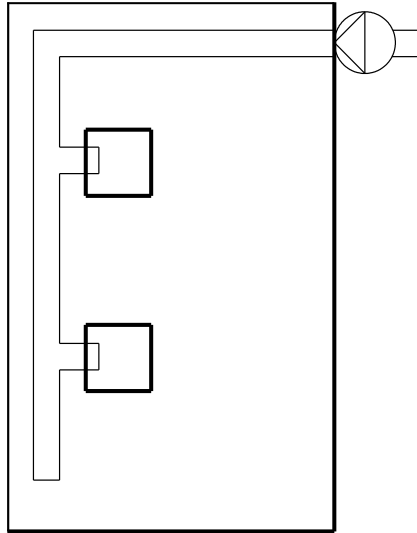


Рисунок 3.1 – Схема влаштування вентиляції

Знаходимо кратність повітрообміну:

$$K = \frac{L}{V}, год \quad (3.2)$$

де L – потрібний повітрообмін, $m^3/год$.

V – об'єм приміщення, m^3 .

$$K = \frac{122}{2,7 \cdot 4,35 \cdot 2,5} = 2,9 год.$$

Підберемо необхідну потужність вентилятора та електродвигуна.

Швидкість руху повітря в вентиляційному каналі можна обирати з діапазону 5-25 м/с. Обираємо $V=12$ м/с.

Знайдемо необхідний діаметр вентиляційного каналу:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}, \text{ м} \quad (3.3)$$

де Q – витрата повітря, м³/год.

V – швидкість руху повітря, м/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0397}{3,14 \cdot 12}} = 0,065 \text{ м}$$

Обираємо найближче стандартне значення діаметра трубопроводу – 0,1 м.

Знайдемо динамічний тиск повітря на виході:

$$P_d = \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \text{ Па} \quad (3.4)$$

де ρ – густина повітря, кг/м³.

V – швидкість руху повітря, м/с.

$$P_d = \frac{1,3 \cdot 12^2}{2} = 94 \text{ Па}$$

Розрахуємо втрати тиску на тертя (по довжині):

$$P_{\text{терт}} = \frac{\rho}{2} \cdot \sum_{i=1}^2 \frac{\lambda \cdot L_i \cdot V^2}{d}, \text{ Па} \quad (3.5)$$

де ρ – густина повітря кг/м³.

λ – коефіцієнт втрат на тертя.

L_i – довжина ділянки трубопроводу, м.

V – швидкість руху повітря, м/с.

d – діаметр вентиляційного каналу, м.

Коефіцієнт втрат на тертя:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{q \cdot \Delta_e}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (3.6)$$

де Δ_e – абсолютна еквівалентна шорсткість поверхні рівна 10^{-4} м.

q – коефіцієнт втрат тиску на тертя ($q = 1,5$)

d – діаметр вентиляційного каналу, м.

Re – число Рейнольдса.

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (3.7)$$

де V – швидкість руху повітря, м/с.

d – діаметр вентиляційного каналу, м.

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря ($\nu = 1,5 \cdot 10^{-5}$ м²/с).

$$\text{Re} = \frac{12 \cdot 0,065}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 52000.$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{0,065} + \frac{68}{52000} \right)^{0,25} = 0,027$$

$$P_{\text{терт}} = \frac{1,3}{2} \cdot \left(\frac{0,027 \cdot 2,5 \cdot 12}{0,065} + \frac{0,027 \cdot 4 \cdot 12}{0,065} \right) = 21 \text{ Па}$$

Розрахуємо втрати на тертя в місцевих опорах:

$$P_M = \frac{\rho}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \zeta \cdot V^2, \text{ Па} \quad (3.8)$$

де ρ – густина повітря кг/м³.

ζ – коефіцієнт місцевого опору.

V – швидкість руху повітря, м/с.

Згідно з рисунком 5.1 ми маємо три місцевих опори:

Коліно – $\zeta = 1,3$.

Потроєння – $\zeta = 1,5$.

Потроєння – $\zeta = 1,5$.

$$P_M = \frac{1,3}{2} \cdot (1,3 \cdot 12^2 + 1,5 \cdot 12^2 + 1,5 \cdot 12^2) = 403 \text{ Па}$$

Загальні втрати тиску:

$$P = P_D + P_{\text{терт}} + P_M. \quad (3.9)$$

$$P = 94 + 21 + 403 = 518 \text{ Па.}$$

Потужність на валу вентилятора:

$$N_B = \frac{Q \cdot P}{\eta} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (3.10)$$

де Q – витрата повітря, м³/год.

P – загальні втрати тиску, Па.

η – ККД вентилятора.

$$N_B = \frac{0,0397 \cdot 518}{0,5} \cdot 10^{-3} = 0,041 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{k \cdot N_B}{\eta_{II}}, \text{ кВт} \quad (3.11)$$

де k – коефіцієнт запасу (обираємо рівним 1,2).

η_{II} – ККД передачі (обираємо рівним 0,93)

$$N_{\text{дв}} = \frac{1,2 \cdot 0,041}{0,93} = 0,053 \text{ кВт}$$

Вибираємо вентилятор ROSENBERG UNO ME 67-400-4E [20]. Даний тип вентилятора має ряд переваг:

- простота в обслуговуванні;
- висока продуктивність;
- низька вартість.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістр був проведений аналіз ефективності енергозабезпечення будівлі Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа» СМР.

Адреса будівлі: м. Суми, пр-т Свободи, 28.

У розділі «ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ» було о проведено енергетичний аудит будівлі, вивчено проектну документацію та здійснено аналіз використання енергоносіїв.

Виконано опис вузлів обліку енергетичних ресурсів, приладів для проведення вимірювань та результати інструментального обстеження.

Наведено положення методики розрахункового аналізу системи енергопостачання та представлення результатів розрахунку основних видів тепловтрат та теплонадходжень.

У розділі «РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ» виконано опис енергозбережних заходів та здійснено їхній фінансовий аналіз.

З метою підвищення рівня енергоефективності та забезпечення енергонезалежності будівлі пропоную запровадити наступні енергозбережні заходи:

- встановлення сонячних панелей;
- встановлення теплового насосу;
- встановлення сонячних панелей для підігріву холодної води.

Виконано розрахунки фінансової економії від впровадження енергозбережних заходів з подальшим визначенням їх термінів окупності. Отримані результати термінів окупності задовольняють сучасним вимогам щодо реалізації заходів з енергозбереження.

У розділі «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯ» розглядалося питання «Аналіз небезпечних і шкідливих факторів на об'єкті дослідження та розрахунок аварійного освітлення».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни [електронний ресурс] Режим посилання: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>
2. Енергетична стратегія [електронний ресурс] Режим посилання: <https://mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya-0>
3. Лічильник обліку теплової енергії [електронний ресурс] Режим посилання: <https://ktek.com.ua/ua/p507071259-ultrazvukovoj-teploschetchik-sensus.html>
4. Лічильник електричної енергії [електронний ресурс] Режим посилання: <https://nik-el.com.ua/products/electricity-meters/1f-electricity-meters>
5. Лічильник гарячої води [Електронний ресурс]. Режим посилання: <https://content.rozetka.com.ua/goods/images/big/284610773.jpg>
6. Лічильник холодної води [електронний ресурс] Режим посилання: <https://romstal.ua/uk/product/19748-schetchyk-dlja-vody-lk-15kh-du-15-t-30s-lat-so-shtutseramy>
7. Техпаспорт пірометра [електронний ресурс] Режим посилання: MiniTemp MT2 фірми Raytek <https://www.indiamart.com/proddetail/raytek-mt-4-ir-thermometer-9209071355.html>
8. Далекомір [електронний ресурс] Режим посилання: https://tehnoshok.com.ua/lazernyi-dalekomir-bosch-glm-40-0601072900/?gclid=CjwKCAjw2K6lBhBXEiwA5RjtCbCZej5qVVBuT7L-7dnLATRGilxL-mhNS41hE1tWpXGuXKNyTAF3IBoC5dcQAvD_BwE
9. Техпаспорт універсального вимірювача Testo 605-H1 [електронний ресурс] Режим посилання: <https://chemtest.com.ua/termogigrometr-professionalnyj-testo-635-1>
10. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. 01.12.1999. Київ-150 с.
11. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. – К.: Міністерство розвитку громад, 2022. – 23 с.

12. НАКАЗ №91 від 25.10.99 Про затвердження Міжгалузевих норм споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України.

13. Норма споживання холодної води [електронний ресурс] Режим посилання: <https://vodokanal.sumy.ua/poslugy-taryfy/>

14. 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» для студентів напряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика». - Суми: Сумський державний університет, 2014 р.

15. Теплові насоси [електронний ресурс] Режим посилання: <https://shop.alterair.ua/otoplenie/teplovye-nasosy/>

16. Тепловий насос [електронний ресурс] Режим посилання: <https://termos.ua/uk/geotermalni-teplovi-nasosi/>

17. Сонячні панелі [електронний ресурс] Режим посилання: <https://soncedim.com.ua/blog/vstanovlennya-sonyachnyh-batarej>

18. Курсова робота з дисципліни «Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії на тему «Проект енергоефективного будинку та систем його енергозабезпечення, розташованого в Сумській області».

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

20. Акумулятор [електронний ресурс] Режим посилання: https://leo-shop.com.ua/helevyi-akkumuliator-250-amper-12v-250ah-dlia-kotla-jarrett-akkumuliatornaia-batareia-dlia-solnechnykh-panelei-ybp/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiArva5BhBiEiwA-oTnXdkoH4HjVUhOR9g0gcttEG9YcI_ASrMubfMBTtfEj0X1Z1n5Y4OykBoCt88QAvD_BwE

21. Сонячні панелі [електронний ресурс] Режим посилання: https://hexagon-energy.com.ua/ua/articles/46.osnovnie_pravila_ustanovki_solnechnih_batarey

22. Теплові насоси типу «Найб» [електронний ресурс] Режим посилання:
<https://ekonomteplo.com.ua/teplovi-nasosy/nibe/>

23. Мережева сонячна електростанція [електронний ресурс]
Режим посилання: https://sanlarix.com.ua/merezheva-soniachna-elektrostantsiia-30-kvt/?gclid=Cj0KCQiAjMKqBhCgARIsAPDgWlye2YG-4hM0fRQ9DjUB4qOBmJmhzFkzQksq7XgDiN7whhxiTbdk02caAj1yEALw_wcB

24. Сонячні панелі [електронний ресурс] Режим посилання:
<https://intersolar.ua/solnechnyie-batarei/solnechnaya-panel-risen-rsm110-8-545bmdg-545-vt-12-vv.html?srsId=AfmBOorlaUckIqBTy3QpCHt4-ePvRadCR0LfM9i5S9b13maLe21V0FTU>

25. Охорона праці [електронний ресурс] Режим посилання:
https://pidruchniki.com/15290527/bzhd/perelik_nebezpechnih_shkidlivih_virobnichih_faktoriv

26. «Правила улаштування електроустановок» Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – Київ, 2017 р. – 600 с.

27. Параметри мікроклімату приміщень [електронний ресурс]
Режим посилання: <https://dpss-te.gov.ua/golovni-novini/vimogi-do-povitriano-teplovogo-rezhimu-v-ditiachih-navchalnih-zakladah>

28. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2019 – 180 с.

29. ДНАОП 0.01-1.01-95 «Правила пожежної безпеки в Україні» [електронний ресурс] Режим посилання:
http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=60541

30. Охорона праці [електронний ресурс] Режим посилання:
<https://westudents.com.ua/glavy/3451-2433-metodi-rozrahunku-sistem-shtuchno-ventilyats.html>

ДОДАТОК А

Схема теплового пункту Сумського закладу загальної середньої освіти спеціальна школа СМР

Схема ІТП будівлі спеціальної школи просп.Свободи,28

