

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему «Енергетичне обстеження будівлі Центру науково-технічної творчості
молоді СМР»

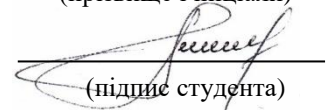
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент»

Виконавець роботи

Павловська О.В.

(прізвище і ініціали)



(підпис студента)

Випускна робота
захищена на засіданні
ЕК з оцінкою

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

Керівник роботи

(підпис)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Хованський С.О.

(прізвище і ініціали)

Секретар комісії _____
(підпис)

доцент каф. ПГМ
(наукова ступінь, звання або посада)

Суми 2022

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри прикладної гідроаеромеханіки

_____ Сотник М.І.

“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Павловська Оксана Владиславівна

1 Тема роботи «Енергетичне обстеження будівлі Центру науково-технічної творчості молоді СМР»

затверджена наказом по університету № 0310-VI від “29” квітня 2022 р.

2 Термін здачі студентом закінченої роботи до 5 червня 2022 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 енергоспоживання за видами систем енергопостачання на об’єкті; визначення питомих величин рівня енергоефективності; основні положення методики розрахунку енергетичних показників; представлення результатів розрахунку).

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

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)

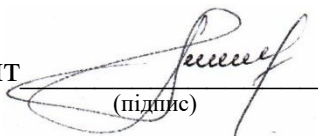
1. Енерготехнологічна схема об’єкта
2. Аналіз обсягів енергоспоживання
3. Результати розрахункового аналізу
4. Розробка енергозбережних заходів

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи (за змістом розрахунково- пояснювальної записки)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування вихідних даних	до 08.05.2022	
2	Характеристика об'єкту енергетичного обстеження	до 13.05.2022	
3	Інструментальне обстеження	до 14.05.2022	
4	Розрахунковий аналіз обстежуваної системи енергопостачання	до 23.05.2022	
5	Розробка можливих енергозбережних заходів	до 28.05.2022	
6	Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.	до 30.05.2022	
7	Оформлення розрахунково- пояснювальної записки та графічних матеріалів	до 04.06.2022	
8	Здача роботи на перевірку	до 05.06.2022	
9	Доопрацювання зауважень	до 12.06.2022	
10	Захист роботи	з 15.06.22 до 20.06.22	

Дата видачі завдання “ 02 “ травня 2022 р.

Студент


(підпис)

Павловська О.В.
(Прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Хованський С.О.
(Прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 73 с., 13 рисунків, 19 таблиць, 6 додатків, 30 літературних джерел.

Графічні матеріали: енерготехнологічна схема об'єкта, комплексний аналіз рівні енергоефективності, результати розрахункового аналізу та техніко-економічний аналіз енергозбережних 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 було вирішено такі завдання:

- Розробка організаційно-технічних заходів, спрямованих на зниження витрати енергії;
- Визначення потенціалу енергозбереження;
- Фінансова оцінка організаційно-технічних заходів.

Об'єкт енергообстеження: системи споживання енергоносіїв і води у будівлі Центру науково-технічної творчості молоді СМР.

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

Ключові слова: енергетичне обстеження, енергозбережні заходи, енергопостачання, теплонадходження, енергоаудит.


Тема роботи – «Енергетичне обстеження будівлі Центру науково-технічної творчості молоді СМР»

ЗМІСТ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

РЕФЕРАТ

ВСТУП.....	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ	8
1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження	8
1.2 Опис дійсного стану об'єкту енергетичного обстеження.....	9
1.3 Обстеження енергетичних систем и системи водопостачання будівлі	10
1.3.1 Система опалення.....	10
1.3.2 Система електропостачання	11
1.3.3 Система водопостачання та водовідведення	11
1.3.4 Система вентиляції.....	12
1.3.5 Існуючі тарифи на енергоносії та воду	12
1.4 Висновки за розділом.....	12
2 ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ОБСТЕЖЕННЯ.....	13
2.1 Опис методів та приладів вимірювання.....	13
2.2 Аналіз результатів вимірювання	14
2.3 Висновки за розділом.....	15
3 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ	16
3.1 Аналіз споживання енергоносіїв та води.....	16
3.1.1 Аналіз обсягів та ефективності споживання теплової енергії.....	16

					6.144.03 ВР 00 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Енергетичне обстеження будівлі Центру науково- технічної творчості молоді СМР	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Павловська					4	93
Перевір.		Хованський						
Н контр.								
Затв.								
						СумДУ, гр.ЕМ-81/1		

3.1.2	Аналіз обсягів та ефективності споживання електричної енергії.....	21
3.1.3	Аналіз обсягів та ефективності споживання води	24
3.2	Висновки за розділом.....	27
4	РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	29
4.1	Проведення розрахунку опору теплопередачі	30
4.2	Теплові втрати через стіни та інші конструктивні елементи	34
4.3	Визначення видів теплонадходжень до будівлі	41
4.4	Розрахунок теплової потужності всієї будівлі	43
4.5	Висновки за розділом.....	47
5	ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	48
5.1	Перелік можливих енергозберігаючих заходів.....	48
5.2	Розрахунковий аналіз можливих енергозберігаючих заходів	48
5.2.1	Утеплення огорожувальних конструкцій – стін	48
5.2.2	Утеплення огорожувальних конструкцій – підлога	54
5.2.3	Заміна дерев'яних вікон на енергозберігаючі	59
5.2.4	Встановлення рекуператора теплоти в систему вентиляції.....	62
5.3	Висновки за розділом.....	67
	ВИСНОВКИ.....	68
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	70
	ДОДАТОК А.....	74
	ДОДАТОК Б	86
	ДОДАТОК В	87
	ДОДАТОК Г	88
	ДОДАТОК Д.....	89
	ДОДАТОК Ж.....	92

ВСТУП

Енергетичний сектор економіки України потребує особливої уваги як з боку держави, так й індивідів. Важливим є використання альтернативних джерел енергії, пошук нових шляхів, способів постачання її державі [1].

Енергоефективність є важливим показником оцінки енергетичних процесів, і низький рівень представляє серйозну загрозу для економічної безпеки України [2].

Енергетичний аудит – вид діяльності, спрямований на зниження споживання ПЕР суб'єктами господарювання, який полягає у проведенні енерготехнологічної і техніко-економічної експертизи, веденні обліку ПЕР, а також у розробленні та обґрунтуванні енергоощадних заходів [3].

Тепловізійне обстеження будівель і споруд (енергоаудит) дозволяє встановити шляхи і ступінь виходу тепла з споруди або будівлі. Метою такого енергоаудиту, що полягає в моніторингу споживання енергії архітектурною конструкцією, є з'ясування рівня раціональності використання енергії та визначення шляхів, способів скорочення теплових втрат [4].

Предмет енергетичного аудиту – система обстеження споживання ПЕР, аналіз та розроблення рекомендацій, необхідних для ефективного споживання енергетичних ресурсів.

Об'єктом енергетичного аудиту є Центр науково-технічної творчості молоді СМР.

Завдання енергетичного аудиту [3]:

- Аналіз рівня ефективності використання ПЕР;
- Порівняння фактичних витрат ПЕР з діючими нормами та нормативами;
- Розроблення рекомендацій щодо зменшення фактичних витрат ПЕР;
- Перевірка функціонування (впровадження) системи енергетичного менеджменту на об'єкті;
- Розроблення заходів із енергозбереження та їх техніко-економічне обґрунтування.

						Аркуш
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета та призначення поданого енергетичного обстеження: дослідження реального стану споживання енергоносіїв та води у будівлі Центру науково-технічної творчості молоді СМР, що знаходиться за адресою: вул. Інтернаціоналістів, 18, м. Суми, Сумська область, 40034 та розроблення енергозберігаючих заходів для скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів [5].

Вихідні дані для розрахунків та проведення робіт з енергетичного обстеження (а саме покази лічильників, будівельні характеристики, схема теплопункту та температурний графік теплових мереж Центру науково-технічної творчості СМР) надані уповноваженим персоналом закладу.

						Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження

Об'єктом енергетичного обстеження є Центр науково-технічної творчості молоді СМР, який підпорядковується Управлінню освіти і науки Сумської міської ради та повністю утримується за рахунок коштів місцевого бюджету. Будівля розташована за адресою: вул. Інтернаціоналістів, 18, м. Суми, Сумська область, 40034 (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 - Центр науково-технічної творчості молоді СМР [6]

Метою цієї роботи є здійснення енергетичного обстеження системи енергозабезпечення будівлі, визначення реального стану зовнішніх огорожувальних конструкцій та вікон та дослідження обсягів споживання енергоресурсів та води, порівняння.

Технічну експлуатацію інженерних комунікацій будівлі здійснює Центр науково-технічної творчості молоді СМР. Будинок складається з однієї будівлі. Головний фасад будівлі зорієнтований на південь.

Технічна характеристика будівлі наведена у таблиці 1.1.

						Аркуш
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика будівлі

Рік побудови	1986 рік
Кількість поверхів	2 поверхи
Опалювальна площа	2706 м ²
Площа забудови	1170 м ²
Опалювальний об'єм	6300 м ³
Опалювальний об'єм за зовнішніми обмірами	6429 м ³

1.2 Опис дійсного стану об'єкту енергетичного обстеження

Загальний стан будівлі дошкільного навчального закладу здебільшого є незадовільним. Стіни будівлі виконані з гіпсобетону товщиною 0,40 м, мають явні пошкодження. Зовні та зсередини стіни виконані цементно-піщаною штукатуркою товщиною 0,01 м та 0,02 м відповідно. Дах плоский, без горища – залізобетонна плита товщиною 0,22 м, цементна стяжка, гравій керамзитовий товщиною 0,15 м та рубероїд завтовшки 0,09 м. Підлога виконана з залізобетонних плит, цементної стяжки та ПВХ лінолеуму. 80% вікон – старі дерев'яні, решта – металопластикові з двокамерним склопакетом. У будівлі 11 входів, з яких 5 дверей дерев'яних, 3 металопластикових та 3 залізних. У підвальному приміщенні знаходиться теплопункт.

Стан вентиляційної системи за час її експлуатації погіршився, майже в усіх приміщеннях доводиться відкривати вікна для провітрювання. Таким чином відбувається втрата великої кількості корисної теплоти під час відкриття вікон в будівлі.

Підтримання комфортних температур внутрішнього повітря у приміщеннях з великими об'ємами вимагає більших витрат теплової енергії.

						Аркуш
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Обстеження енергетичний систем и системи водопостачання будівлі

1.3.1 Система опалення

Будівлі закладу має централізовану систему теплопостачання, що підключена до міської мережі, теплоносієм у якому є гаряча вода. Трубопроводи утеплені мінеральною ватою та розташовані у залізобетонних латках, що ведуть до будівлі, прокладені під землею та ведуть до теплового пункту, який розташований у підвальному приміщенні (додаток Б). Трубопроводи і деталі вузла обліку теплової енергії виконані із сталі, ізольовані.

Система опалення Центру науково-технічної творчості молоді залежна, горизонтальна, однотрубна.

В якості опалювальних приладів використовують конвективні чавунні секційні радіатори типу MC-140. Розташування опалювальних приладів – під вікнами у кожному приміщенні.

Теплове навантаження будівлі – 0,229 Гкал/год. Максимальне договірне теплове навантаження складає – 0,54 Гкал/год.

У закладі відсутнє ефективне регулювання обсягів споживання теплової енергії. Тепловий потік регулюється виключно за досвідом завідуючого господарської частини.

Забезпечення закладу тепловою енергією на опалення відбувається згідно договору про надання послуг з централізованого опалення, укладений з ТОВ«Сумитеплоенерго».

Тип засобу обліку теплової енергії – ультразвуковий компактний тепловий лічильник QALCO (SKS-3) марки АХІОМА. Дата останньої повірки 23.07.2021 р. Зняття показів відбувається щоденно. У тепловій пункті водолічильник, який під'єднаний до теплолічильника, встановлений на трубі з зовнішнім діаметром $D_{тр} 40$ з діаметром умовного проходу $Dу 35$.

Передача даних постачальнику теплової енергії та оплата відбувається кожного місяця.

						Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.2 Система електропостачання

Основні електроспоживаючі системи закладу:

- система освітлення;
- система електрообладнання.

До внутрішньої системи освітлення відносяться (додаток Г): лампи розжарювання – 99 шт., потужністю по 60 Вт; люмінесцентні лампи – 274 шт., потужністю по 20 Вт; світлодіодні лампи – 35 шт., потужністю по 10 Вт; світлодіодні світильники – 55 шт., потужністю по 36 Вт.

Зовнішня система освітлення: світлодіодні світильники (прожектори) 2 шт., потужністю по 50 Вт.

До основного електроспоживаючого обладнання належать (додаток Г): комп'ютери – 30 шт., потужністю 400 Вт; ноутбуки – 5 шт., потужністю 80 Вт; принтери – 5 шт., потужністю 150 Вт; масляні обігрівачі (у холодний період року) – 10 шт., потужністю 1500 Вт; станки – 25 шт., потужністю 1600 Вт; радіостанція – 1 шт., потужністю 500 Вт.

Облік споживання електроенергії на внутрішні потреби здійснюється трьома лічильниками електричної енергії NIK 2301АПЗВ. Дата останньої повірки 07.07.2015 р. Зняття показів відбувається щоденно.

Забезпечення закладу електричною енергією відбувається згідно договору з АТ «Сумиобленерго». Передача показів лічильника за послуги відбувається кожен місяць.

1.3.3 Система водопостачання та водовідведення

Центр науково-технічної творчості молоді СМР підключено до системи міського централізованого водопостачання та міської системи водовідведення. Кількість спожитої води обліковується у вузлу обліку, який розташований у підвальному приміщенні будівлі закладу. Централізоване гаряче водопостачання не передбачене.

Основними споживачами води є працівники та відвідувачі закладу.

						Аркуш
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Використана вода потрапляє у систему водовідведення та у мережу міської каналізації.

Зняття даних лічильника відбувається кожного дня. Акт передачі показів приладів обліку відбувається кожного місяця.

Забезпечення закладу водою та водовідведенням відбувається згідно договору з КП «Міськводоканал». Облік споживання холодної води на внутрішні потруби здійснюється за допомогою лічильника МТК-UA Qn 3,5|30, виробник – Gross. Дата останньої повірки 04.11.2016 р.

1.3.4 Система вентиляції

Система вентиляції Центру науково-технічної творчості молоді СМР є природною. Видалення вентиляованого повітря здійснюється через вентиляційні канали, що знаходяться у будівельних конструкціях. Припливне повітря систем повітряної вентиляції надходить через нещільності світлопрозорих конструкцій огорожень і зовнішні двері.

1.3.5 Існуючі тарифи на енергоносії та воду

Теплопостачання – 1613,76 грн за Гкал з ПДВ;

Електропостачання – 1,68 грн/кВт·год з ПДВ;

Водопостачання – 13,752 грн/м³ з ПДВ;

Водовідведення – 13,386 грн/м³ з ПДВ.

1.4 Висновки за розділом

Під час першої стадії відбувся збір загальної характеристики об'єкту, фактичного стану огорожувальних конструкцій, систем тепло-, водо-, та електропостачання, а також систем вентиляції.

						Аркуш
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ОБСТЕЖЕННЯ

2.1 Опис методів та приладів вимірювання

Для проведення енергоаудиту Центру науково-технічної творчості молоді СМР були використані такі вимірювальні прилади:

- Термометр настінний;
- Вимірювальна рулетка;
- Тепловізор Fluke Ti25 (рисунок 2.1)

При тепловізійному обстеженні будівлі використовувався тепловізор Fluke Ti25 (рис. 2.1). Завдяки цьому приладу можливо визначити розподіл температурних полів в конструкціях будівлі та визначити теплові втрати через огорожувальні конструкції. Головні характеристики приладу наведені у таблиці 2.1.



Рисунок 2.1 - Тепловізор Fluke Ti25 [7]

Таблиця 2.1 – Характеристика тепловізора Fluke Ti25 [7]

Діапазон температурних вимірювань (не калібрується нижче $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$
Похибка	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ або 2%
Поле огляду	$23^{\circ} \times 17^{\circ}$
Просторова роздільна здатність (IFOV)	2,5 мрад
Теплова чутливість (NETD)	$\leq 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($100\text{ m}^{\circ}\text{K}$)
Мінімальна шкала (у ручному режимі)	$2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Мінімальна шкала (в автоматичному режимі)	$5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Мінімальна відстань при фокосуванні	0,15 м
Фотокамера	розширення 640 x480 пікселей
Час роботи акумулятора	3-4 години неперервної роботи

2.2 Аналіз результатів вимірювання

У день проведення тепловізійного обстеження будівлі Центру науково-технічної творчості молоді СМР температура зовнішнього повітря становила $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Середня температура в приміщеннях становила $18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Термограми дійсного стану зовнішніх огорожувальних конструкцій, зроблені тепловізором, наведено у додатку Д. На них видно типові проблеми з тепловтратами по всім зовнішнім огорожувальним конструкціям.

Детальний аналіз термограм дає можливість знайти місця найбільших втрат тепла. Нижчеперелічені фактори свідчать про те, що будівля має недостатній опір теплопередачі згідно сучасних норм [8, табл. 3], що підтверджується розрахунками у пункті 4, та потребує модернізації стін та інших огорожувальних конструкцій.

З рисунку Д.1 видно, що значна кількість тепла втрачається через підвищену температуру поверхні стін та кутових з'єднаннях. Температура поверхонь кутових

з'єднань становить від 3°C до 5°C, причиною чого є зволоження зовнішніх поверхонь стін та низькі теплозахисні властивості. Також можна побачити місцезнаходження приладів опалення.

На термограмах Д.2 видно тепловтрати крізь ділянки, де віконна рама прилягає до стіни, через неякісний стан теплового опору застарілих віконних конструкцій. Температура стиків між склом та дерев'яною рамою становить від 2°C до 6°C. Також великі тепловтрати виникають через низький рівень опору теплопередачі площі скління.

Рисунок Д.3 показує втрати тепла крізь вентиляційні отвори. Температура всередині отвору сягає 7-8°C .

З рисунку Д.4 видно, що зовнішні дверні конструкції не мають достатнього теплового опору для запобігання теплових витрат зсередини будівлі. З термограм видно, що втрати корисного тепла відбуваються через зовнішню поверхню неутеплених вхідних дверей, які мають температуру 2-3°C, а температура скла складає 5°C.

Проаналізувавши термограми на рисунку Д.5 і Д.6, можна зробити висновок, велика кількість теплової енергії втрачається через руйнацію стін будівлі, а також через закладені віконні отвори (температура огорожувальних конструкцій сягає - 1°C, теплові плями на закладених віконних отворах – 1-2°C). У місцях руйнації стіни, а саме, в тріщинах, температура становить 3-4°C.

2.3 Висновки за розділом

Під час проведення енергетичного обстеження Центру науково-технічної творчості молоді СМР буд використаний тепловізор Fluke Ti25. На зроблених ним термограмах видно фактичну температуру огорожувальних конструкцій, руйнації, місцезнаходження опалювальних приладів та інші типові проблеми. Проаналізувавши це, можна зробити висновок, що стіни та інші конструктивні елементи знаходяться у незадовільному стані.

						Аркуш
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

3.1 Аналіз споживання енергоносіїв та води

3.1.1 Аналіз обсягів та ефективності споживання теплової енергії

Кількість теплової енергії, спожитої будівлею закладу за 2019-2022 роки наведена у таблиці 3.1 та на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 – Кількість теплової енергії, спожитої будівлею закладу за 2019-2022 роки

Місяць	Рік			
	2019	2020	2021	2022
	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал
Січень	X	43,082	45,068	38,849
Лютий	X	36,033	42,064	35,7
Березень	X	20,435	32,199	31
Квітень	X	0	0	X
Травень	-	-	-	-
Червень	-	-	-	-
Липень	-	-	-	-
Серпень	-	-	-	-
Вересень	-	-	-	-
Жовтень	0	4,296	6,406	X
Листопад	36,18	33,467	27,411	X
Грудень	36,682	44,328	33,754	X
Всього	72,862	181,641	186,902	X

Централізоване гаряче водопостачання не передбачено.

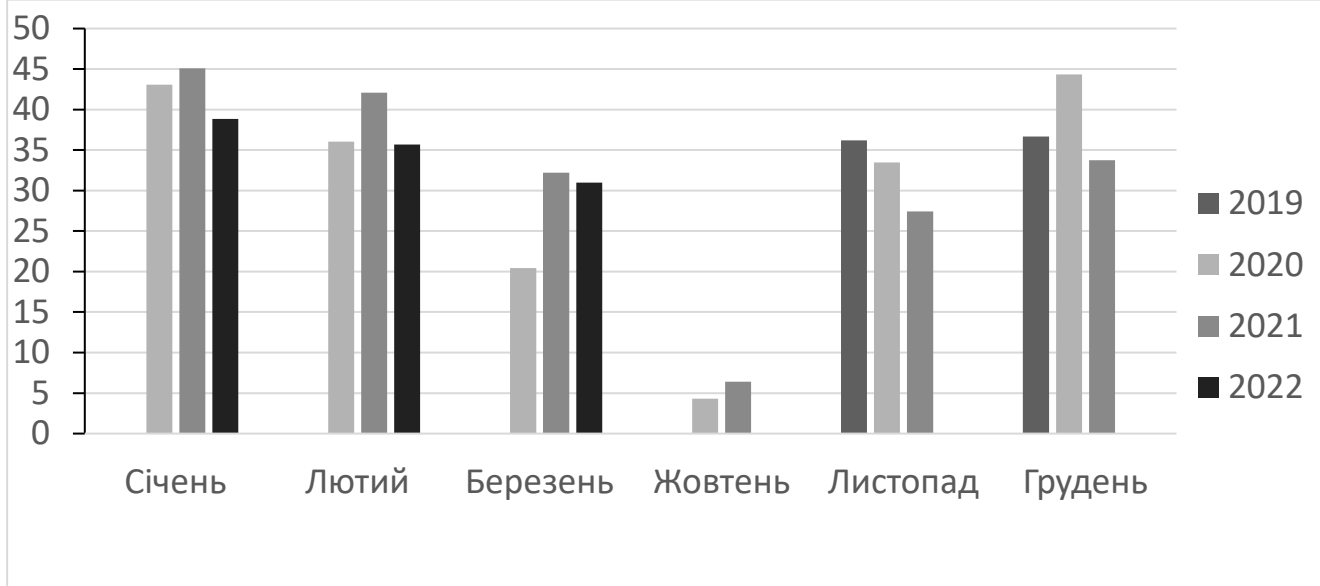


Рисунок 3.1 – Динаміка споживання теплової енергії будівлею закладу за 2019-2022 роки

Ліміти споживання теплової енергії наведені у таблиці 3.2 та на рисунку 3.2.

Таблиця 3.2 – Ліміти споживання теплової енергії за 2019-2022 роки

Місяць	Рік			
	2019	2020	2021	2022
	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал
Січень	50,2	50,2	54,2	48,772
Лютий	50,6	50,6	54,6	48,049
Березень	38,7	38,7	41,1	33,323
Квітень	15,7	15,7	15,7	5
Травень	0	0	0	0
Червень	0	0	0	0
Липень	0	0	0	0
Серпень	0	0	0	0
Вересень	0	0	0	0
Жовтень	13,8	13,8	13,8	5,856
Листопад	21,6	21,6	21,6	20
Грудень	39,4	39,4	39,4	39
Всього	230	230	240,4	200

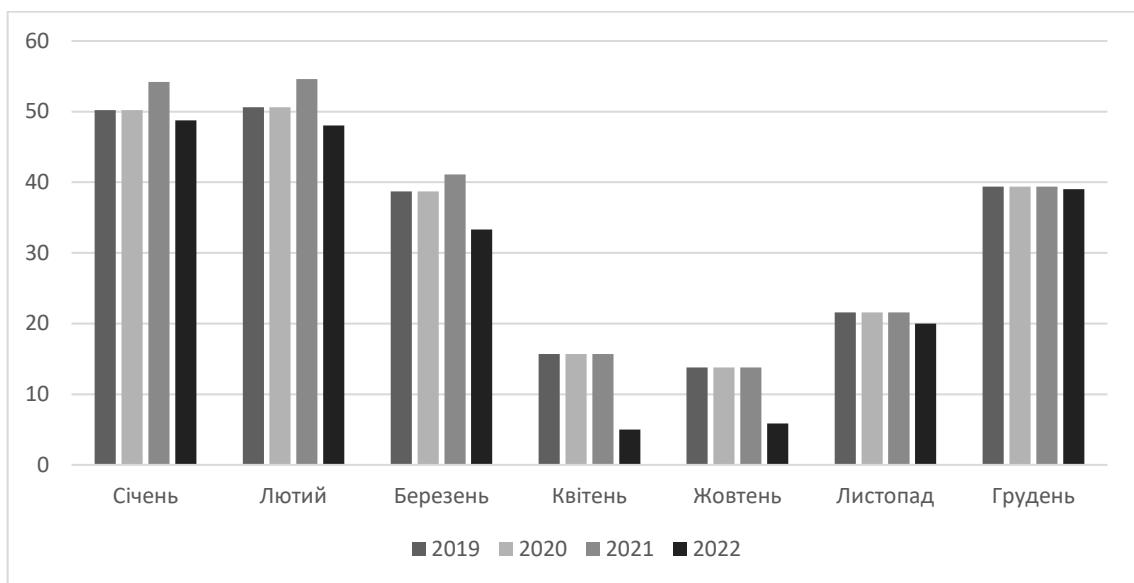


Рисунок 3.2 – Ліміти споживання теплової енергії за 2019-2022 роки

Споживання теплової енергії закладом відбувається лише під час опалювального періоду. Аналізуючи таблицю 3.1 та рисунок 3.1, видно, що максимальне споживання теплоти припадає на грудень, січень та лютий, в мінімальне – на березень та жовтень. Така різниця між теплоспоживанням по місяцям є наслідком зміни температури навколишнього середовища і зміни теплових витрат через неефективні огорожувальні конструкції будівлі.

Проаналізувавши споживання теплової енергії з таблиці 3.1 та ліміти з таблиці 3.2, можна зробити висновки, різниця лімітів та фактичного теплоспоживання виникає через:

- Різні дати початку і закінчення опалювального сезону;
- Невідповідність фактичної та розрахункової середньодобової температури навколишнього середовища кожного місяця опалювального періоду;
- Початок карантину у 2020 році, через що у березні заклад був зачинений для відвідувачів;
- Повномасштабне вторгнення на територію України у лютому 2022 року, після чого заклад був вимушений тимчасово зачинитися.

Аналіз ефективності системи опалення Центру науково-технічної творчості молоді необхідно проводити за фактичними даними попередніх опалювальних

періодів, де середні температури за місяць знаходяться у рамках нормативних показників [9;10].

Питома потреба (EP) – показник енергоефективності будинку, що визначає кількість теплоти, 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 [8, п.3.24]:

$$EP = \frac{Q_{оп}}{V_{буд}^{оп}}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^3}, \quad (3.1)$$

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.

Потреба на опалення будинків повинна відповідати умові [8, п.5.1]:

$$EP \leq EP_{max}, \quad (3.2)$$

де EP – питома річна енергопотреба будівлі, кВт·год/м³;

EP_{max} – максимально допустиме значення питомої річної енергопотреби будівлі за опалювальний період, кВт·год/м³ [8, п.5.3].

Нормативна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів першої температурної зони становлять [8, табл. 1]:

$$EP_{max} = 30 \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^3} = 0,026 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}.$$

Згідно даних показників з лічильників, які надав заклад, фактичні загальні тепловтрати на обігрів будівлі по опалювальним періодам:

- Опалювальний період 2019-2020 рік – 172,412 Гкал/рік;
- Опалювальний період 2020-2021 рік – 201,422 Гкал/рік;
- Опалювальний період 2021-2022 рік – 173,120 Гкал/рік.

						Аркуш
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення фактичних питомих енерговитрат за періодами опалення становлять:

- Опалювальний період 2019-2020 рік – 0,027 Гкал/м³;
- Опалювальний період 2020-2021 рік – 0,032 Гкал/м³;
- Опалювальний період 2021-2022 рік – 0,027 Гкал/м³.

Осереднене значення показника енергоефективності будинку за визначеними опалювальними періодами становить – $EP = 0,029$ Гкал/м³.

За результатами порівняння фактичних і нормованих показників із споживання теплової енергії можна зробити наступний висновок, а саме: отриманий середній результат за роками по будівлі близький до нормативної умові (3.2). Але, такий результат не є наслідком ефективної роботи системи тепlopостачання або технологій з енергозбереження. Враховуючи результати енергетичного обстеження, треба зазначити, що за причиною дотримання встановлених для будівлі лімітів по теплоспоживанню, у закладі періодично здійснюється вимушене зменшення обсягів споживання теплоти. У такій ситуації, при використанні методу кількісного регулювання теплоносія без відповідного спеціалізованого обладнання, порушується циркуляційний тиск теплоносія в системі опалення навчального закладу; можлива відсутність руху теплоносія в крайніх ділянках теплопровідної системи і, як наслідок, відбувається нерівномірне прогрівання приміщень закладу і зниження рівня температур.

З метою виправлення описаної ситуації пропонується впровадження автоматизованої системи моніторингу споживання теплової енергії, етапи впровадження якої включають у т. ч. теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій будівлі та проведення інструментальних вимірювань для визначення їх фактичного теплового стану.

У таблиці 3.3 надані фактичні дані про споживання теплової енергії при середньодобовій температурі навколишнього повітря 0°C за 2021-2022 роки.

						Аркуш
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 – Фактичне споживання теплової енергії та температура теплоносія при середньодобовій температурі 0°C

Дата доби	Обсяг теплоспоживання, Гкал	Температура теплоносія, °С
04.01.2021	1,32	60,8
06.01.2021	1,3	59,1
22.01.2021	1,56	59,5
27.01.2021	1,2	56,8
04.02.2021	1,43	59
01.03.2021	1,06	54,6
03.03.2021	1,03	53,5
13.11.2021	0,936	54
19.11.2021	0,89	54,2
16.12.2021	0,998	53,8
19.12.2021	1	54,4
01.01.2022	1,27	60,3
14.01.2022	1,75	58
16.01.2022	1,14	58,6
06.02.2022	1,42	57,9
09.02.2022	1,38	58,4

3.1.2 Аналіз обсягів та ефективності споживання електричної енергії

Кількість електричної енергії, спожитої будівлею закладу за 2019-2022 роки наведена на рисунку 3.3 та у таблиці 3.4.

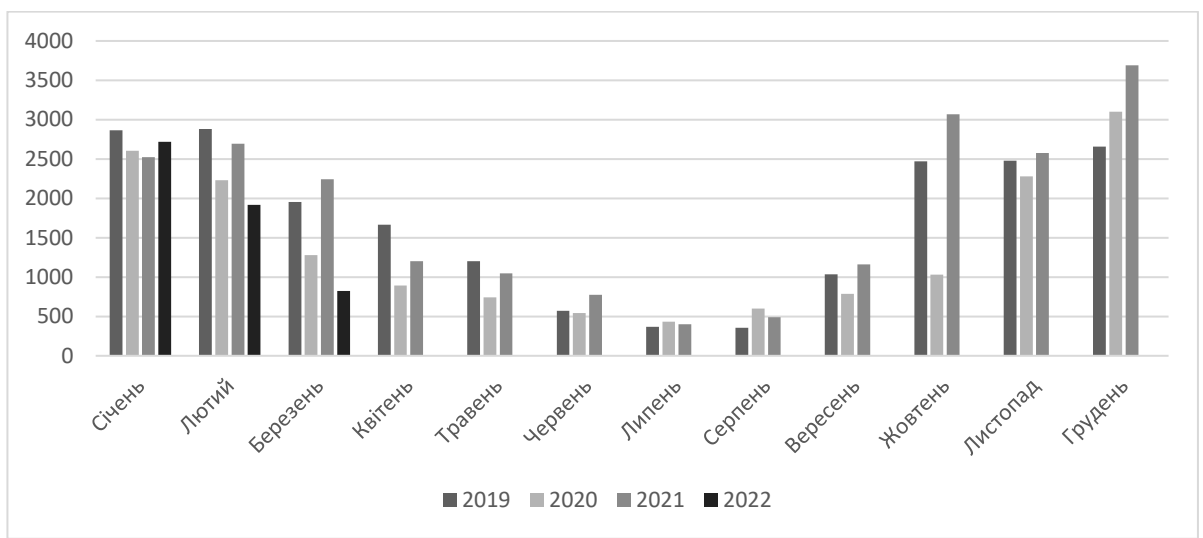


Рисунок 3.3 – Динаміка споживання електричної енергії будівлею закладу за 2019-2022 роки

Таблиця 3.4 – Кількість електричної енергії, спожитої будівлею закладу за 2019-2022 роки

Місяць	Рік			
	2019	2020	2021	2022
	кВт·год	кВт·год	кВт·год	кВт·год
Січень	2866	2603	2523	2719
Лютий	2883	2232	2694	1919
Березень	1955	1279	2242	825
Квітень	1664	892	1203	X
Травень	1200	742	1049	X
Червень	570	543	774	X
Липень	370	434	400	X
Серпень	357	602	490	X
Вересень	1034	787	1161	X
Жовтень	2472	1032	3070	X
Листопад	2480	2280	2575	X
Грудень	2656	3101	3691	X
Всього	20507	16527	21872	X

Ліміти споживання електричної енергії за 2019-2022 роки наведені на рисунку 3.4 та у таблиці 3.5.

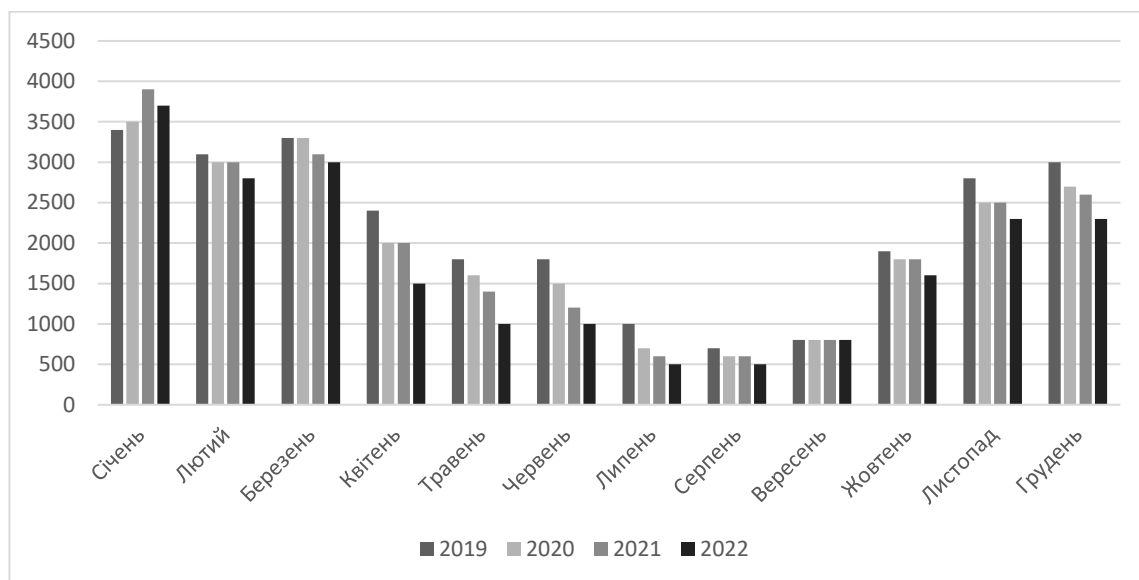


Рисунок 3.4 – Ліміти споживання електричної енергії 2019-2022 роки

Таблиця 3.5 – Ліміти споживання електричної енергії за 2019-2022 роки

Місяць	Рік			
	2019	2020	2021	2022
	кВт	кВт	кВт	кВт
Січень	3400	3500	3900	3700
Лютий	3100	3000	3000	2800
Березень	3300	3300	3100	3000
Квітень	2400	2000	2000	1500
Травень	1800	1600	1400	1000
Червень	1800	1500	1200	1000
Липень	1000	700	600	500
Серпень	700	600	600	500
Вересень	800	800	800	800
Жовтень	1900	1800	1800	1600
Листопад	2800	2500	2500	2300
Грудень	3000	2700	2600	2300
Всього	26000	24000	23500	21000

З таблиці 3.4 та з таблиці 3.5 можна зробити висновки, що будівля Центру науково-технічної творчості молоді СМР споживає електроенергію нерівномірно, а різниця з лімітами відбувається через:

- Канікули у літній час – влітку заклад не працює, в ньому перебуває лише персонал, тому використання електричної енергії є мінімальним;

- Карантин у 2020 році – з березня по жовтень заклад не працював через карантинні обмеження, тому зменшилось використання електричної енергії;

- Повномасштабне вторгнення на територію України у лютому 2022 року, через що заклад був вимушений тимчасово припинити свою роботу.

Згідно норм споживання [11] електричної енергії для навчальних корпусів вищих і середніх спеціальних навчальних закладів (без їдалень) з кондиціонуванням повітря [11, табл. 8.7] для Сумської області нормативне значення споживання електричної енергії на одну дитину складає 43 кВт·год в рік. Фактичним споживанням на одну дитину є:

- за 2019 рік: 58 кВт·год/дитина;
- за 2020 рік: 47,22 кВт·год/дитина;
- за 2021 рік: 62,49 кВт·год/дитина.

Фактичне споживання близьке до нормативного показника. Є необхідність в подальшій економії споживання електроенергії.

3.1.3 Аналіз обсягів та ефективності споживання води

Обсяг спожитої води будівлею закладу за 2019-2022 роки наведена у таблиці 3.6 та на рисунку 3.5.

Таблиця 3.6 – Обсяги води, спожитої будівлею закладу за 2019-2022 роки

Місяць	Рік			
	2019	2020	2021	2022
	м ³	м ³	м ³	м ³
Січень	48	49	51	41
Лютий	50	43	42	43
Березень	54	41	49	25
Квітень	60	32	35	X
Травень	57	30	34	X
Червень	46	61	44	X

Продовження таблиці 3.6

Липень	47	35	35	X
Серпень	36	38	37	X
Вересень	54	44	46	X
Жовтень	63	37	47	X
Листопад	49	50	48	X
Грудень	52	75	50	X
Всього	616	535	518	X

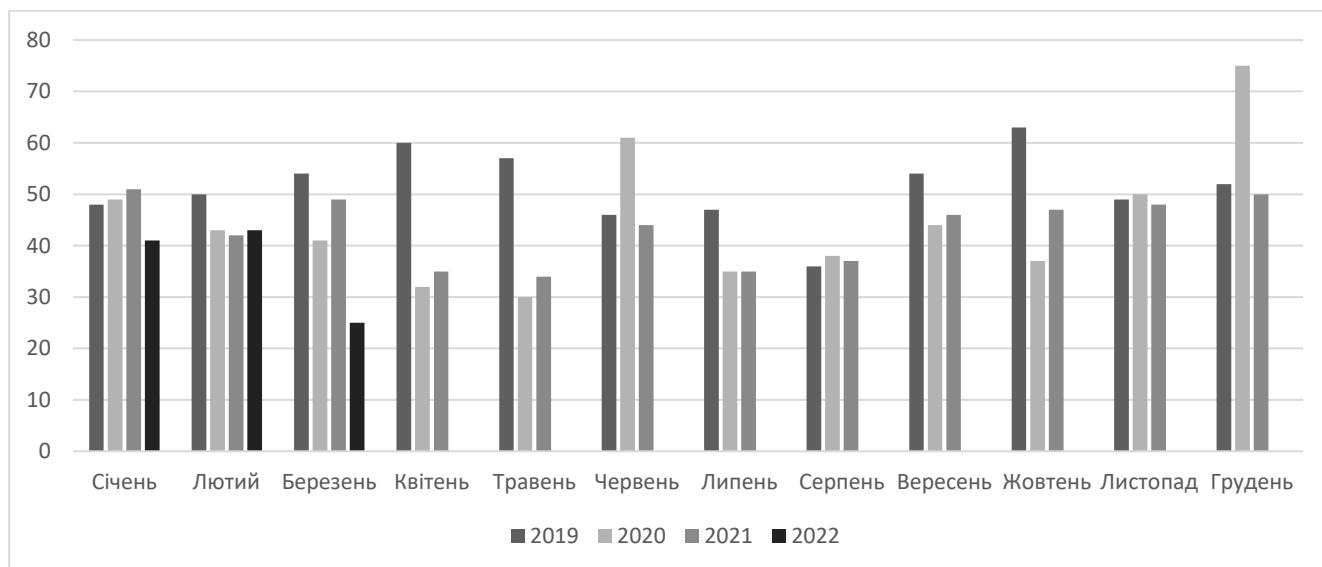


Рисунок 3.5 – Динаміка споживання води будівлею закладу за 2019-2022 роки

Ліміти споживання води на 2019-2022 роки наведені у таблиці 3.7 та на рисунку 3.6.

Таблиця 3.7 – Ліміти на споживання води за 2019-2022 роки

Місяць	Рік			
	2019	2020	2021	2022
	м ³	м ³	м ³	м ³
Січень	71	64	42	42
Лютий	70	62	46	46
Березень	51	58	42	42
Квітень	57	61	45	45
Травень	50	53	40	40

Продовження таблиці 3.7

Червень	40	39	31	31
Липень	30	30	23	23
Серпень	29	28	17	17
Вересень	51	48	39	39
Жовтень	60	57	44	44
Листопад	59	57	45	45
Грудень	60	58	41	41
Всього	628	615	455	455

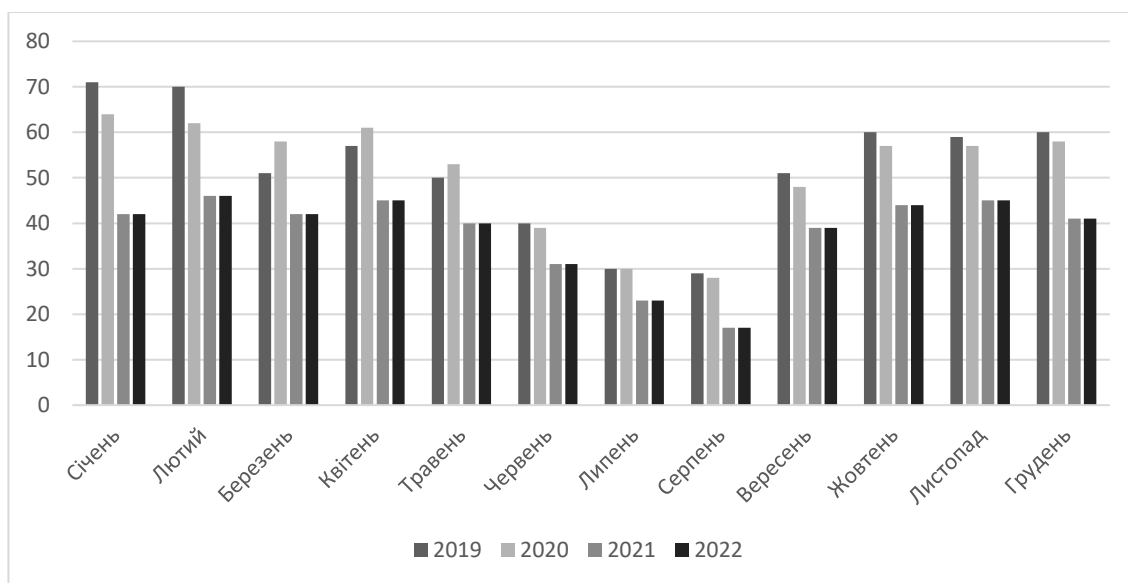


Рисунок 3.6 – Ліміти на споживання води за 2019-2022 роки

Проаналізувавши динаміку споживання і ліміти види з рисунків 3.5 і 3.6, можна зробити висновки, що різниця фактичного споживання з лімітами відбувається через:

- Сезонність – взимку холодною водою користуються рідше і в менших обсягах, тому споживання води у зимовий період менше встановлених лімітів;

- Карантинні заходи – з березня по жовтень 2020 року заклад був закритий для відвідувачів, тому в цей період зменшилось споживання води;

- Війна в Україні – в лютому 2022 року Центр науково-технічної творчості молоді СМР тимчасово припинив свою роботу, в закладі (інколи) знаходився персонал, тому в березні 2022 року споживання води було мінімальним.

Технічний аналіз споживання води проводиться згідно з нормами витрат води споживачами на одну особу [12]. Ця норма для навчального закладу [12, табл. А.2] становить 20 л/дитина. Фактичне споживання води за попередні роки:

- 2019 рік: 7,04 л/дитина в день;
- 2020 рік: 6,11 л/дитина в день;
- 2021 рік: 5,92 л/дитина в день.

Фактичний показник не перевищує норми.

3.2 Висновки за розділом

У даному розділі було проаналізоване споживання енергоресурсів та води та порівняння з нормативними даними:

- Фактичне споживання води на одну дитину не перевищує норму;
- Фактичне споживання електричної енергії на одну дитину близьке до нормативного показника;
- Значення фактичних питомих енерговитрат близьке до нормативного.

Для того, щоб проаналізувати можливий потенціал економії ресурсів, на рисунку 3.7 наведена діаграма, де відображена вартість спожитих енергоресурсів та води за 2021 рік.

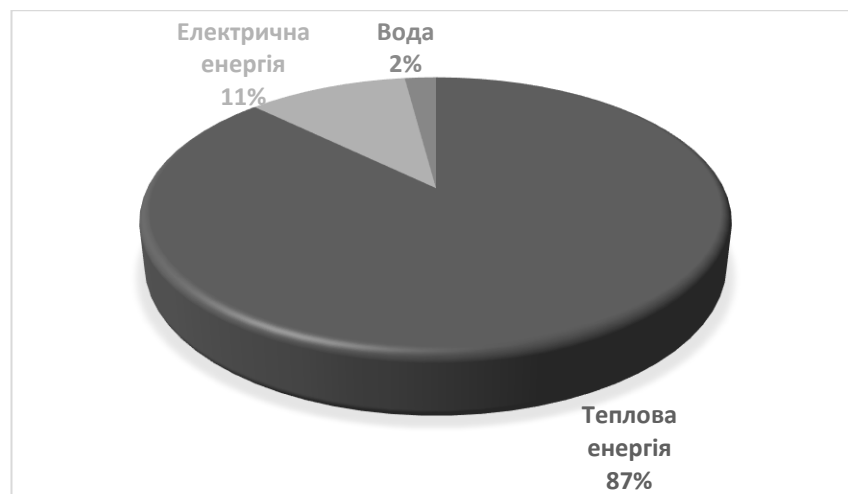


Рисунок 3.7 – Вартість спожитих енергоресурсів і води за 2021 рік

З рисунку 3.7 видно, що найбільше фінансів використовується на оплату теплової енергії – це джерело для подальшої економії коштів за допомогою енергозберігаючих заходів.

						Аркуш
						28
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4 РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

У таблиці 4.1 наведені дані та результати розрахунків опору теплопередачі стін та інших зовнішніх конструктивних елементів, проведених з використанням даних огорожувальних конструкцій та методичних вказівок [13, дод. Б, табл. 15].

Таблиця 4.1 – Дані та результати розрахунку опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі

№ п/п	Найменування конструктивного елементу	Матеріал шару	Товщина шару, δ_i , м	Теплопровідність $\lambda_i, \frac{Вт}{м \cdot К}$	$R_{\Sigma np}, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$		$R_{q \min}, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$
1	Стіни	Цементно-піщана штукатурка	0,01	1,20	1,32		3,3
		Гіпсобетон	0,40	0,35			
		Цементно-піщана штукатурка	0,02	1,20			
2	Суміщене покриття	Залізобетонна плита	0,22	1,40	1,61		5,35
		Цементна стяжка	0,03	0,12			
		Гравій керамзитовий	0,15	0,20			
		Рубероїд	0,09	0,17			
3	Вікна	Металопластикові з двокамерним склопакетом	-	-	0,64	0,42	0,75
		Дерев'яні	-	-	0,2		
4	Підлога	Залізобетонна плита	0,22	1,92	0,43		3,75
		Цементна стяжка	0,03	1,40			
		Лінолеум ПВХ	0,003	0,35			
5	Двері	Дерев'яні	0,05	0,23	0,38	0,27	0,6
		Сталеві	0,003	58	0,16		
		Металопластикові	0,05	0,43	0,27		

Отримані результати ($R_{\Sigma пр} \ll R_{q min}$) свідчать про невідповідність дійсного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій нормативним вимогам [8, табл.3]. Це вказує на незадовільні теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій, та вимагає впровадження енергозберіжних заходів щодо збільшення їх опору теплопередачі.

4.1 Проведення розрахунку опору теплопередачі

Визначення дійсного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі та порівняння з нормативними показниками для визначення подальших рекомендацій з модернізації.

Наявний опір теплопередачі стін та інших конструктивних елементів $R_{\Sigma пр}$, $m^2 \cdot K / W$ має бути менше, ніж $R_{q min}$, який визначається з санітарно-гігієнічних умов та з умов енергозбереження [13, пункт 1].

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалювальних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря, в яких відрізняються на $3 \text{ }^\circ C$ та більше, обов'язкове виконання умови [8]:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q min}, \quad (4.1)$$

де $R_{\Sigma пр}$ – дійсний опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини цієї конструкції, $m^2 \cdot K / W$;

$R_{q min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини цієї конструкції $m^2 \cdot K / W$.

Мінімально допустиме значення, $R_{q min}$, опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкції, світлопрозорих огорожувальних конструкції і дверей громадських будинків залежно від температурної зони експлуатації будинку, які беруть згідно норм [8, табл.3].

						Аркуш
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Термічний опір i -го шару конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ [13, пункт 1.1]:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}, \quad (4.2)$$

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

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкцій в розрахункових умовах експлуатації, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [13, дод. Б, табл. 15].

Дійсний опір теплопередачі $R_{\Sigma \text{пр}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, для огорожувальної конструкції при перевірці виконання умови за формулою (4.1) розраховується за умовою [13, пункт 1.3]:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{1}{a_B} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{a_3} = \frac{1}{a_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{a_3}, \quad (4.3)$$

де a_B , a_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, які дорівнюють 8,7 та 23 відповідно $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [13, дод. Б, табл. 9];

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ [13, дод. Б, табл. 15];

n - кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку;

R_i – термічний опір i -го шару конструкції, згідно формули (4.2), $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Якщо $R_{\Sigma \text{пр}} > R_{qmin}$ – огорожувальні конструкції задовольняють теплотехнічні норми. Якщо $R_{\Sigma \text{пр}} < R_{qmin}$ – теплозахисні властивості конструкцій мають незадовільне значення та не відповідають нормам [8, табл.3]. Цей факт свідчить про необхідність впровадження енергозберігаючих заходів задля збільшення опору теплопередачі.

						Аркуш
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

1. Стіни.

Цементно-піщана штукатурка товщиною $\delta_1 = 0,01$ м та теплопровідністю $\lambda_1 = 1,20$ Вт/(м·К);

Гіпсобетон товщиною $\delta_2 = 0,40$ м, $\lambda_2 = 0,35$ Вт/(м·К);

Цементно-піщана штукатурка товщиною $\delta_3 = 0,02$ м та теплопровідністю $\lambda_3 = 1,20$ Вт/(м·К).

Термічний опір теплопередачі стін визначається за формулою (4.3):

$$R_{\Sigma \text{ пр}}^{\text{ст}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{1,20} + \frac{0,40}{0,35} + \frac{0,02}{1,20} + \frac{1}{23} = 1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

2. Дах

Стандартна залізобетонна плита товщиною $\delta_4 = 0,22$ м, $\lambda_4 = 1,92$ Вт/(м·К), цементна стяжка товщиною $\delta_5 = 0,03$ м, $\lambda_5 = 1,40$ Вт/(м·К), гравій керамзитовий товщиною $\delta_6 = 0,15$ м, $\lambda_6 = 0,20$ Вт/(м·К) та рубероїд товщиною $\delta_7 = 0,09$ м, $\lambda_7 = 0,17$ Вт/(м·К). Термічний опір теплопередачі даху визначається за формулою (4.3):

$$R_{\Sigma \text{ пр}}^{\text{дах}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{0,03}{1,40} + \frac{0,15}{0,20} + \frac{0,09}{0,17} + \frac{1}{12} = 1,61 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

3. Вікна

Два типи вікон – дерев'яні з подвійним склопакетом $R_{\Sigma \text{ пр}} = 0,2$ м²·К/Вт та металопластикові з двокамерним склопакетом $R_{\Sigma \text{ пр}} = 0,64$ м²·К/Вт.

Осереднений термічний опір $R_{\Sigma \text{ пр}}^{\text{вк}} = \frac{0,2+0,64}{2} = 0,42$ м²·К/Вт.

4. Підлога

Стандартна залізобетонна плита товщиною $\delta_4 = 0,22$ м, $\lambda_4 = 1,92$ Вт/(м·К), цементна стяжка товщиною $\delta_8 = 0,03$ м, $\lambda_8 = 1,40$ Вт/(м·К) та лінолеум ПВХ $\delta_9 = 0,003$ м, $\lambda_9 = 0,35$ Вт/(м·К) Термічний опір теплопередачі підлоги визначається за формулою (4.3):

						Аркуш
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\Sigma \text{ пр}}^{\text{підл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{0,03}{1,40} + \frac{0,003}{0,35} + \frac{1}{6} = 0,43 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

5. Двері

У наявності 3 типи дверей:

- 1) Дерев'яні двері товщиною 0,05 м, $\lambda_{10} = 0,23 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- 2) Сталеві двері товщиною 0,003 м, $\lambda_{11} = 58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- 3) Металопластикові двері товщиною 0,05 м, $\lambda_{11} = 0,43 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Термічний опір теплопередачі окремо для кожного типу дверей визначається за формулою (4.3):

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

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

$$3) \quad R_{\Sigma \text{ пр}}^{\text{м.п.дв.}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,43} + \frac{1}{23} = 0,27 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Осереднений термічний опір дверей:

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

Проаналізувавши отримані результати R_{qmin} з таблиці 4.1 можна зробити висновок, що дійсний стан опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій не відповідає нормам: фактичний термічний опір стін дорівнює $1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, в той час, коли нормативний термічний опір дорівнює $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; термічний опір даху – $1,61 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, нормативний – $5,35 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; підлоги – $0,43 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ замість $3,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; дверей – $0,27 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ замість $0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. [8, табл.3].

Цей факт свідчить про необхідність впровадження енергозберігаючих заходів для посилення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.

						Аркуш
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Теплові втрати через стіни та інші конструктивні елементи

Тепловтрати через огорожувальні конструкції будівлі: стіни, світлові та дверні прорізи, стелю, дахові перекриття, неутеплену підлогу і так далі – визначаються за формулою [13, пункт 2.1]:

$$Q_0 = \frac{F_{\text{орг}}}{R_0} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n, \text{ Вт} \quad (4.4)$$

де $F_{\text{орг}}$ – розрахункова площа поверхні огорожувальної конструкції по внутрішнім межах, м^2 ;

R_0 – опір теплопередачі стін та інших прозорих та непрозорих конструктивних елементів. Для визначення тепловтрат для дійсного стану підставляють $R_{\Sigma \text{пр}}$, для визначення тепловтрат при правильній утепленій конструкції підставляється R_{qmin} , $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

$t_{\text{в}}, t_{\text{з}}$ – відповідно температури всередині приміщення і розрахункові температури зовнішнього повітря [9, табл.2], $^{\circ}\text{C}$;

n – коефіцієнт, прийнятий залежно від положення зовнішньої поверхні відносно зовнішнього повітря [13, дод. Б, табл. 12].

Додаткові тепловтрати через зовнішні стіни, обумовлені орієнтацією будинків [13, пункт 2.2]:

$$Q_{\text{ор}}^{\text{д}} = Q_{\text{ст}} \cdot \beta_{\text{ор}}, \text{ Вт} \quad (4.5)$$

де $Q_{\text{ст}}$ – тепловтрати крізь зовнішні стіни приміщень, Вт;

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

Допускається для практичних розрахунків для всіх зовнішніх стін будинку, незалежно від орієнтації приймати $\beta_{\text{ор}} = 0,13$ - при двох і більше зовнішніх стін у приміщенні.

					Аркуш
					34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

Додаткові тепловтрати через не утеплені підлоги розташовані на ґрунті або над холодними підвалами [13, пункт 2.2]:

$$Q_{\text{підв}}^{\text{д}} = 0.05 \cdot Q_{\text{підл}}, \text{ Вт.} \quad (4.6)$$

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію холодного повітря через світлові прорізи [13, пункт 2.3]:

$$Q_{\text{вкн}}^{\text{інф}} = 0.28 \cdot G_{\text{н вкн}} \cdot F_{\text{вкн}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}), \text{ Вт} \quad (4.7)$$

де c – питома теплоємність повітря, яка дорівнює $1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{°C}$;

$t_{\text{в}}, t_{\text{з}}$ – відповідно температури усередині приміщення і розрахункового зовнішнього повітря °C ;

$G_{\text{н вкн}}$ – кількість інфільтрованого повітря через нещільність віконного огороження. Для розрахунків беруть нормативну повітропроникність віконних прорізів [13, дод. Б, табл. 13] $G_{\text{н вкн}} = 6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$;

$F_{\text{вкн}}$ – площа віконних прорізів, м^2 .

Додаткові тепловтрати на витяжну (природну) вентиляцію з припливом зовнішнього повітря крізь спеціальні вентиляційні отвори, розрахунок втрат на вентиляцію $Q_{\text{в}}$, Вт [13, пункт 2.3]:

$$Q_{\text{в}} = 0,28 \cdot V_{\text{п}} \cdot c \cdot \rho \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n_{\text{к}} \cdot k_{\text{в}}, \text{ Вт} \quad (4.8)$$

де питома теплоємність повітря, яка дорівнює $1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{°C}$;

$t_{\text{в}}$ і $t_{\text{з}}$ – температури внутрішнього повітря приміщення і розрахункового зовнішнього повітря °C ;

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

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

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

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт, що враховує зменшення внутрішнього об'єму приміщення через розташування в ньому різного обладнання, приймаємо $k_{\text{в}} = 0,85$.

					Аркуш
					35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

Середня кратність повітрообміну за годину громадського будинку визначається за формулою [13, пункт 2.3]:

$$n_k = \frac{\left| \left(\frac{L_V \cdot n_V}{24} \right) + \left(\frac{G_{\text{інф}} \cdot \eta \cdot n_{\text{інф}}}{24 \cdot \rho_c} \right) \right|}{v_V \cdot V_{\text{П}}}, \text{ год}^{-1} \quad (4.9)$$

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

v_V – коефіцієнт зниження об'єму повітря у приміщенні, яким враховується наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій. Для виконання розрахунків приймається $v_V = 0,85$;

F_p – розрахункова площа будівлі, м²;

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

$n_{\text{інф}}$ – кількість годин інфільтрації повітря всередину протягом однієї доби, год, для будинків із збалансованою припливно-витяжною вентиляцією дорівнює 24 год;

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

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

ρ_c – середня густина повітря, що надходить у приміщення за рахунок інфільтрації та вентиляції, розраховують з формули (4.10).

Середня густина повітряних мас:

$$\rho_c = \frac{353}{273 + 0,5 \cdot (t_B + t_{\text{ср оп}})}, \quad (4.10)$$

де $t_{\text{ср оп}}$ – середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря [9, табл.2].

						Аркуш
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведення розрахунків

Під час проведення вимірювань термометром у приміщенні Центру науково-технічної творчості молоді СМР виявлено, що температура повітря всередині закладу 18°C , яка не відповідає вимогам [8, табл. В.2]:

Згідно нормативів [8;9], місто Суми розташоване у I температурній зоні України, тому приймаються наступні розрахункові температурні величини:

1) Значення внутрішньої температури приміщень $t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}$;

2) Температура зовнішнього повітря $t_{\text{з,п}} = -25^{\circ}\text{C}$ [9, табл.2].

1. Теплові втрати через зовнішні стіни розраховуються з формули (4.4):

$$F_{\text{ст}} = 1628,5 \text{ м}^2; R_{\text{ст}} = 1,32 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}; t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}; t_{\text{з,п}} = -25^{\circ}\text{C}; n = 1.$$

$$Q_{\text{ст}} = \frac{1612,61}{1,32} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 52\,531,99 \text{ Вт.}$$

2. Теплові втрати через дах розраховуються з формули (4.4):

$$F_{\text{даху}} = 1170 \text{ м}^2; R_{\text{даху}} = 1,61 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}; t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}; t_{\text{з,п}} = -25^{\circ}\text{C}; n = 1.$$

$$Q_{\text{даху}} = \frac{1170}{1,61} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 31\,248,45 \text{ Вт.}$$

3. Тепловтрати через вікна розраховуються з формули (4.4):

1) Через металопластикові:

$$F_{\text{м.вік}} = 92,93 \text{ м}^2; R_{\text{м.вік}} = 0,64 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}; t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}; t_{\text{з,п}} = -25^{\circ}\text{C}; n = 1.$$

$$Q_{\text{м.вік}} = \frac{92,93}{0,64} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 6243,73 \text{ Вт.}$$

2) Через дерев'яні:

$$F_{\text{д.вік}} = 312,87 \text{ м}^2; R_{\text{д.вік}} = 0,2 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}; t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}; t_{\text{з,п}} = -25^{\circ}\text{C}; n = 1.$$

					Аркуш
					37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

$$Q_{д,вік} = \frac{312,87}{0,2} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 67\,267,05 \text{ Вт.}$$

4. Тепловтрати через підлогу розраховується з формули (4.4):

$$F_{вік} = 1170 \text{ м}^2; R_{вік} = 0,43 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}; t_{в} = 18 \text{ }^\circ\text{С}; t_{з,р} = -25 \text{ }^\circ\text{С}; n = 1.$$

$$Q_{підл} = \frac{1170}{0,43} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 117\,000 \text{ Вт.}$$

5. Розрахунок тепловтрат через три види дверей по формули (4.4):

1) Через металопластикові: $F_{м,дв} = 6,98 \text{ м}^2$; $R_{м,вік} = 0,27 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; $t_{в} = 18 \text{ }^\circ\text{С}$;
 $t_{з,р} = -25 \text{ }^\circ\text{С}$; $n = 1$.

$$Q_{м,дв} = \frac{6,98}{0,27} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 1111,63 \text{ Вт.}$$

2) Через стальні: $F_{ст,дв} = 6,90 \text{ м}^2$; $R_{ст,дв} = 0,16 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; $t_{в} = 18 \text{ }^\circ\text{С}$; $t_{з,р} = -25 \text{ }^\circ\text{С}$; $n = 1$.

$$Q_{ст,дв} = \frac{6,90}{0,16} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 1854,38 \text{ Вт.}$$

3) Через дерев'яні: $F_{д,дв} = 11,72 \text{ м}^2$; $R_{д,дв} = 0,38 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; $t_{в} = 18 \text{ }^\circ\text{С}$;
 $t_{з,р} = -25 \text{ }^\circ\text{С}$; $n = 1$.

$$Q_{д,дв} = \frac{11,72}{0,38} \cdot (18 - (-25)) \cdot 1 = 1326,21 \text{ Вт.}$$

Додаткові тепловтрати через зовнішні стіни обумовлені орієнтацією будинків за сторонами світу розраховується за формулою (4.5):

$$Q_{ор}^д = 52531,99 \cdot 0,13 = 6829,16 \text{ Вт.}$$

						Аркуш
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаткові тепловтрати через не утеплені підлоги розташовані на ґрунті або над холодними підвалами розраховується за формулою (4.6):

$$Q_{\text{пдл}}^{\text{д}} = 0,05 \cdot 117\,000 = 5850 \text{ Вт.}$$

Додаткові тепловтрати на інфільтрацію холодного повітря через світлові прорізи розраховуються за формулою (4.7):

$$Q_{\text{вкн}}^{\text{інф}} = 0,28 \cdot 6 \cdot 405,8 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-25)) = 29\,461,57 \text{ Вт.}$$

Визначення додаткових тепловтрат через витяжну вентиляцію. Спочатку знаходимо середню густину повітряних мас за формулою (4.10), після цього знаходимо середню кратність повітрообміну за формулою (4.9):

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

$$n_k = \frac{\left| \left(\frac{6,44 \cdot 1170 \cdot 24}{24} \right) + \left(\frac{0,5 \cdot 0,85 \cdot 6300 \cdot 0,8 \cdot 24}{24 \cdot 1,25} \right) \right|}{0,85 \cdot 6300} = 1,73 \text{ год}^{-1}$$

Тоді додаткові тепловтрати на витяжну (природну) вентиляцію розраховується згідно формули (4.8):

$$Q_v = 0,28 \cdot 6300 \cdot 1,005 \cdot 1,3 \cdot (18 - (-25)) \cdot 1,73 \cdot 0,85 = 145\,727,49 \text{ Вт.}$$

Для спрощення подальшого аналізу отриманих даних, тепловтрати через стіни та інші конструктивні елементи розраховуємо у відсотках до загальних тепловтрат. Результати розрахунку наведено у таблиці 4.2 та на рисунку 4.1.

З результатів розрахунку видно, що найбільші теплові втрати через: вентиляцію – 145,73 кВт (29%), підлогу – 122,85 кВт (25%), вікна – 102,97 кВт (21%) та стіни – 59,36 кВт (12%). Виходячи з цього, можна зробити висновок, що

						Аркуш
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

найбільшу увагу треба виділити на модернізацію вентиляції, утеплення підлоги та стін і заміну застарілих віконних конструкцій.

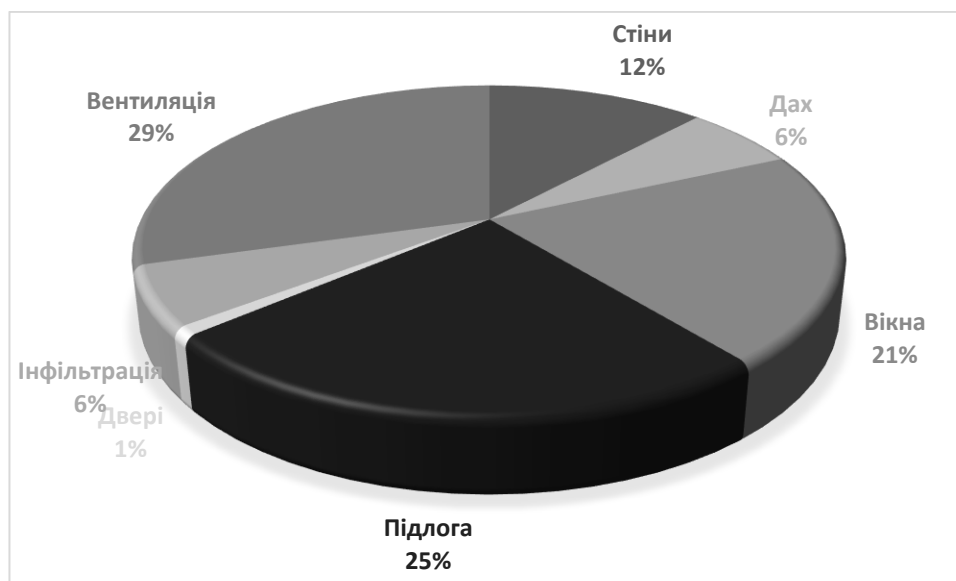


Рисунок 4.1 – Структура розподілу тепловтрат через огорджувальні конструкції

Таблиця 4.2 – Структура тепловтрат через огорджувальні конструкції

Складова тепловтрат	Втрати теплоти, Вт	%
Стіни	59361,15	11,97
Дах	31248,45	6,30
Вікна	102972,35	20,76
Підлога	122850	24,77
Двері	4292,22	0,87
Інфільтрація	29461,57	5,94
Вентиляція	145727,49	29,39
Всього	495913,23	100

4.3 Визначення видів теплонадходжень до будівлі

Теплонадходження від людей [13, пункт 3.1]:

$$Q_{\text{л}} = q_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}}, \text{ Вт} \quad (4.11)$$

де $q_{\text{л}}$ – явні теплонадходження від людей, Вт [13, дод. Б, табл.11], жінки відділяють 85% теплоти і вологи від даних для чоловіків, а діти 75%;

$n_{\text{л}}$ – кількість людей (осереднена), які знаходяться у приміщенні протягом однієї години.

Теплонадходження від джерел освітлення [13, пункт 3.1]:

$$Q_{\text{осв}} = N_{\text{л}} \cdot k_{\text{осв}} \cdot n_{\text{св}} \cdot k_{\text{з}}, \text{ Вт} \quad (4.12)$$

де $N_{\text{л}}$ – потужність одного джерела освітлення, Вт;

$k_{\text{осв}}$ – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову, для ламп розжарювання $k_{\text{осв}} = 0,95$;

$n_{\text{св}}$ – кількість однотипних джерел освітлення;

$k_{\text{з}}$ – коефіцієнт завантаження освітлення (відношення періоду роботи світильника у хвилинах до кількості хвилин за годину).

Теплонадходження від сонячної радіації [13, пункт 3.1]

Розрахунок теплонадходжень від сонячної радіації для будівель, що експлуатуються переважно у денний період доби [13]:

$$Q_{\text{рад}} = q_{\text{с}} \cdot F_{\text{с}} \cdot k_{\text{в.п}} + q_{\text{т}} \cdot F_{\text{т}} \cdot k_{\text{в.п}}, \text{ Вт} \quad (4.13)$$

$q_{\text{с}}$, $q_{\text{т}}$ – відповідно тепловий потік, що надходить через 1 м^2 скла, освітленого сонцем і в тіні, $\text{Вт}/\text{м}^2$ ($q_{\text{с}} = 250 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $q_{\text{т}} = 100 \text{ Вт}/\text{м}^2$);

$F_{\text{с}}$, $F_{\text{т}}$ – площі заповнення світлових прорізів, відповідно освітлених і затемнених, м^2 ;

					Аркуш
					41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

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

Проведення розрахунків теплонадходжень

Теплонадходження від людей розраховуються з формули (4.11):

Всього у Центрі науково-технічної творчості молоді працює 60 чоловік, серед них 8 чоловіків та 52 жінки. Кількість дітей – 350 в день. Температура у закладі згідно вимірювань 21°C .

$$Q_{л} = 8 \cdot 102,5 + 52 \cdot 102,5 \cdot 0,85 + 350 \cdot 102,5 \cdot 0,75 = 32,257 \text{ кВт.}$$

Теплонадходження від джерел освітлення по формулі (4.12):

Для розрахунку використовуються дані з ДОДАТКУ Г, що надав заклад, також у 2021 році 250 робочих днів [14].

- Коефіцієнт переводу електричної енергії в теплову для світлодіодних ламп – 0,63, для ламп розжарювання – 0,95, люмінесцентні лампи – 0,4 [13, пункт 3.1];

- Коефіцієнт завантаження освітлення k_3 знаходиться так:

Приймаємо, що всього 250 робочих днів, весною – 91 робочі дні, а восени та зимою – 159 днів.

Центр науково-технічної творчості молоді функціонує з 8:00 до 20:00.

Освітлення у осінньо-зимовий період функціонує з 10:00 до 20:00 – 10 годин на добу.

Лампи розжарювання потужністю 60 Вт: $Q_{осв 1} = 60 \cdot 0,95 \cdot 99 \cdot 10 = 56 430$ Вт.

Люмінесцентні лампи потужністю 20 Вт: $Q_{осв 2} = 20 \cdot 0,4 \cdot 274 \cdot 10 = 21 920$ Вт.

Світлодіодні лампи потужністю 10 Вт: $Q_{осв 3} = 10 \cdot 0,63 \cdot 35 \cdot 10 = 2205$ Вт.

Світлодіодні світильники потужністю 36 Вт: $Q_{осв 4} = 36 \cdot 0,63 \cdot 55 \cdot 10 = 12 474$ Вт.

						Аркуш
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Всього: $Q_{\text{осв}} = 56\,430 + 21\,920 + 2205 + 12\,474 = 93\,029$ Вт.

Теплонадходження від сонячної радіації з формули (4.13):

$$Q_{\text{рад}} = 250 \cdot 162,32 \cdot 0,5 + 100 \cdot 243,48 \cdot 0,5 = 32\,464 \text{ Вт.}$$

Сумарні теплонадходження:

$$Q_{\text{над}} = 32,257 + 93,029 + 32,46 = 157,75 \text{ кВт.}$$

4.4 Розрахунок теплової потужності всієї будівлі

Теплова потужність будівлі – потужність теплової енергії необхідної для підтримання у будівлі та приміщеннях теплового балансу, що визначається нормативними показниками [13, пункт 3.3; 8, табл. В.2].

Приймаються наступні розрахункові температурні величини:

- 1) Значення внутрішньої температури приміщень $t_b = 18^\circ\text{C}$;
- 2) Температура зовнішнього повітря $t_{3,p} = -25^\circ\text{C}$ [9, табл.2].

Перш за все знаходять фактичну питому опалювальну характеристику будівлі, $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ [13, пункт 3.4], за дійсними параметрами стану огорожувальних конструкцій (див. таблиця 4.1):

$$q_{\text{пит}}^{\phi} = \frac{P_6}{F_6} \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma \text{пр}}^{\text{СТН}}} + g_0 \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma \text{пр}}^{\text{ВКН}}} - \frac{1}{R_{\Sigma \text{пр}}^{\text{СТН}}} \right) \right) + \frac{1}{H_6} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma \text{пр}}^{\text{СТЛ}}} + 0,6 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma \text{пр}}^{\text{ПДЛГ}}} \right), \quad (4.14)$$

де P_6 – периметр будівлі за зовнішніми розмірами огорожувальних конструкцій, м;

F_6 – площа будівлі в межах периметра, м^2 ;

H_6 – висота будівлі в межах опалювальних приміщень, м;

g_0 – коефіцієнт скління будівлі;

$R_{\Sigma \text{пр}}^{\text{СТН}}$ – приведений опір теплопередачі зовнішніх стін, $\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$ (таблиця 4.1);

$R_{\Sigma \text{пр}}^{\text{СТЛ}}$ – приведений опір теплопередачі стелі будівлі, $\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$ (таблиця 4.1);

					Аркуш
					43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

$R_{\Sigma пр}^{пдлг}$ – приведений опір теплопередачі підлоги будівлі, $m^2 \cdot K / Wt$ (таблиця 4.1);

$R_{\Sigma пр}^{вкн}$ – приведений опір теплопередачі вікон, $m^2 \cdot K / Wt$ (таблиця 4.1).

Для визначення фактичної характеристики будівлі розраховується теплова потужність за збільшеними показниками [13, пункт 3.4], Вт:

$$Q_6 = a \cdot q_{пит}^{\phi} \cdot V_6 \cdot (t_в - t_{з.р}) \cdot 10^{-3}, \quad (4.15)$$

де V_6 – зовнішній об'єм будівлі в межах опалювальних приміщень, m^3 ;

$t_в$ – температура по приміщеннях будівлі, $^{\circ}C$ [8, табл. В.2];

$t_{з.р}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для міста, де розташована будівля, $^{\circ}C$ [9, табл.2];

a – поправковий коефіцієнт, $a = 0,54 + \left(\frac{22}{t_в^{cp} - t_{з.р}} \right)$;

$t_в^{cp}$ – осереднена температура по приміщеннях будівлі, $^{\circ}C$.

Розрахунковий рівень теплової енергії на опалення будівлі за опалювальний період [13, пункт 4], Гкал:

$$Q_{р.оп} = Q_6 \cdot \frac{(t_в^{cp} - t_{ср.п})}{(t_в^{cp} - t_{з.р})} \cdot n_{оп} \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4}, \quad (4.16)$$

де $t_в^{cp}$ – осереднена температура по приміщеннях будівлі, $^{\circ}C$;

$t_{з.р}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для міста, де розташована будівля, $^{\circ}C$ [9, табл.2];

$t_{ср.п}$ – середня температура зовнішнього повітря за відповідний період, де розташована будівля, $^{\circ}C$ [9, табл.2];

$n_{оп}$ – кількість днів за відповідний період опалення.

Базове споживання – та кількість енергії, що потребує будівля для підтримки внутрішнього мікроклімату з урахуванням санітарних норм та фактичного стану цієї будівлі [15, пункт 3.1],

						Аркуш
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова кількість теплової енергії, що потрібна для опалення закладу за одну добу при температурі навколишнього середовища 0°C визначається з формули (4.16), де $t_{\text{ср.п}} = 0^{\circ}\text{C}$.

Виконання розрахунків

Фактична питома опалювальна характеристика будівлі розраховується за формулою (4.14):

$$q_{\text{пит}}^{\text{ф}} = \frac{271}{1170} \cdot \left(\frac{1}{1,32} + 0,33 \cdot \left(\frac{1}{0,42} - \frac{1}{1,32} \right) \right) + \frac{1}{6,44} \cdot \left(0,9 \cdot \frac{1}{1,61} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,43} \right) = 0,6$$

Вт/м³·°C.

Максимальна розрахункова теплова потужність будівлі з формули (4.15):

$$Q_{\text{б}} = 0,96 \cdot 0,6 \cdot 7534,8 \cdot (18 - (-25)) \cdot 10^{-3} = 186,62 \text{ кВт} \text{ або } Q_{\text{б}} = 0,160 \text{ Гкал.}$$

Розрахункова величина теплової енергії, яка потрібна була для опалення всієї будівлі за опалювальний період 2021–2022 року (120 діб, 2880 год), при умові дотримання температурного режиму у системі тепlopостачання, та середній температурі за опалювальний сезон (01.11.2021–28.02.2022) -1°C [16] буде розраховуватися за формулою (4.16):

$$Q_{\text{р.оп}} = 186,62 \cdot \frac{(18 - (-1))}{(18 - (-25))} \cdot 120 \cdot 24 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 204,24 \text{ Гкал.}$$

Згідно наданих облікових даних по закладу за прийнятий базовий порівняльний опалювальний період 2021–2022 року (01.11.2021–28.02.2022), фактичні обсяги теплоспоживання на опалення становлять $Q_{\text{ф.оп}} = 135,713$ Гкал. Фактична величина є меншою від необхідної розрахункової на 33,55%.

						Аркуш
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлений факт невідповідності у споживанні теплової енергії дійсних показників з розрахунковими свідчить про те, що заклад не отримує у повному обсязі теплової енергії від системи тепlopостачання, що може бути пов'язано з недодержанням температурного графіку у магістральних мережах, а також із-за неможливості у прогнозованому регулюванні обсягів теплонадходження внаслідок відсутності відповідного обладнання, яке забезпечує якісний моніторинг у керуванні режимами роботи системи тепlopостачання будівлі.

На рисунку 4.2 представлені графіки базового (фактичного) рівня теплоспоживання та за нормативними розрахунковими показниками Центру науково-технічної творчості молоді СМР.

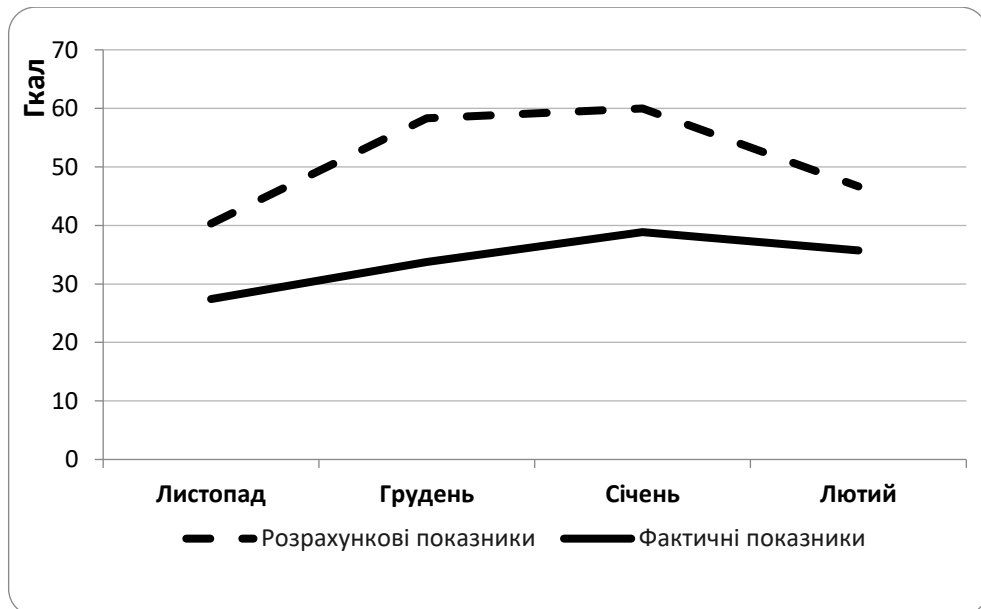


Рисунок 4.2 – Співвідношення базового теплоспоживання з розрахунковим теплоспоживанням за опалювальний період 2021–2022 роки

Встановлений факт невідповідності у споживанні теплової енергії за базовим рівнем у порівнянні з розрахунковим рівнем за нормованими показниками свідчить про те, що обстежуваний заклад не отримує у повному обсязі теплової енергії від системи тепlopостачання, та не має ефективною технології якісного та кількісного регулювання обсягів споживання теплоенергії.

4.5 Висновки за розділом

Під час даного етапу проведення енергетичного аудиту було розраховано: опір теплопередачі, основні та додаткові теплові втрати стін та інших конструктивних елементів, основні теплонадходження у будівлю та теплова потужність всієї будівлі.

Проаналізувавши опір теплопередачі, основні та додаткові втрати огорожувальних конструкцій, можна зробити висновок, що будівля Центру науково-технічної творчості молоді СМР потребує модернізації з точки зору енергозбереження для зниження показників енергоспоживання та витрат коштів.

						Аркуш
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

5.1 Перелік можливих енергозберігаючих заходів

За результатами проведення енергетичного аудиту запропоновані наступні заходи:

- Утеплення огорожувальних конструкцій - стін;
- Утеплення огорожувальних конструкцій – підлоги;
- Заміна старих дерев'яних вікон на енергозберігаючі ПВХ вікна;
- Встановлення рекуператора теплоти в систему вентиляції.

5.2 Розрахунковий аналіз можливих енергозберігаючих заходів

5.2.1 Утеплення огорожувальних конструкцій – стін

Поточний стан:

Аналіз балансу теплової енергії показав, що значна частка витрат тепла припадає на витрати через огорожувальні конструкції будівлі. Втрати через стіни склали 12%, їх додаткове утеплення спеціальними матеріалами здатне значно скоротити цей відсоток, і, відповідно зменшити потужність опалення та платню за спожиту теплову енергію.

Опис можливостей з енергозбереження:

Необхідно накласти теплоізоляцію ззовні, оскільки такий спосіб має ряд переваг [8]:

- Утепляється вся поверхня стіни (включаючи вузли прилягання перекриття);
- Не відбувається зменшення корисної площі будівлі;
- Попереджує передчасну руйнацію стін, що може бути викликана коливанням температур та вологою;
- Роботи по утепленню не порушують режиму роботи закладу.

Теплоізоляція повинна бути негорюча [17, пункт 9.8].

						Аркуш
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для утеплення стін будівлі, які складаються з цементно-піщаної штукатурки товщиною 0,01 м, гіпсобетону товщиною 0,40 м та цементно-піщаної штукатурки товщиною 0,02 м пропонується базальтова вата BauGut Universell, теплопровідністю 0,041 Вт/(м²·К), яка відповідає нормам [18].

Необхідна товщина теплоізоляційного шару $\delta_{ут}$, м для утеплення огорожувальних конструкцій [18, пункт 1]:

$$\delta_{ут} = \left[R_{q \min} - \left(\frac{1}{a_b} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i p}} + \frac{1}{a_3} \right) \right] \cdot \lambda_{ут} = [R_{q \min} - R_{\Sigma пр}] \cdot \lambda_{ут}, \text{ м} \quad (5.1)$$

де $\lambda_{ут}$ – теплопровідність матеріалу, Вт/(м²·К) [13, дод. Б, табл. 15];

a_b та a_3 – коефіцієнт теплопередачі поверхонь огорожувальних конструкцій, Вт/(м²·К) [13, дод. Б, табл. 9];

$\lambda_{i p}$ – теплопровідність матеріалу і-го шару конструкції у розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К);

δ_i – товщина і-го шару конструкції, м;

n – кількість шарів у конструкції за напрямком теплового потоку;

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

$R_{q \min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорі огорожувальної конструкції, м²·К/Вт.

Таким чином, товщина теплоізоляційного шару дорівнює:

$$\delta_{ут} = [3,3 - 1,32] \cdot 0,041 = 0,08 \text{ м.}$$

Площа стін складає 1628,5 м². Теплові втрати через цю поверхню складають 59 361,15 Вт.

Втрати теплової енергії через стіни після впровадження заходу (4.4):

$$Q_{ст}^2 = \frac{1628,5}{3,3} \cdot (21 - (-25)) = 22 700,303 \text{ Вт.}$$

						Аркуш
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Економія витрат теплоти після утеплення стін:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = 59361,15 - 22700,303 = 36\,660,85 \text{ Вт.}$$

Річна економія теплової енергії після впровадження заходу:

$$Q_{\text{ст}}^{\text{Ек.рік}} = \Delta Q_{\text{ст}} \cdot \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{ср.оп}})}{(t_{\text{в}} - t_{\text{з.р}})} \cdot 24 \cdot n_{\text{оп}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік} \quad (5.2)$$

де $t_{\text{ср.оп}} = -1,4^{\circ}\text{C}$ - середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період для Сумської області [9, табл.2];

$n_{\text{оп}} = 187$ – тривалість опалювального періоду, діб.

За формулою (5.2) знаходимо річну економію теплової енергії після впровадження заходу [18]:

$$Q_{\text{ст}}^{\text{Ек.рік}} = 36\,660,85 \cdot \frac{(21 - (-1,4))}{(21 - (-25))} \cdot 24 \cdot 187 \cdot 10^{-3} = 80\,120,85 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік.}$$

У грошовому еквіваленті ця економія складає [18]:

$$80\,120,85 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік} \cdot 0,00086 = 68,9 \text{ Гкал}/\text{рік.}$$

$$68,9 \cdot 1613,76 = 111\,194,41 \text{ грн} = 111,19 \text{ тис. грн.}$$

Так як у вартість теплоізоляційного матеріалу входять різні складові, то орієнтовані затрати кожної з них на 1 м^2 наведено у таблиці 5.1.

						Аркуш
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 – Ціни та витрати на матеріали для утеплення стін на 1 м² [19]

Матеріал	Одиниця виміру	Кількість	Ціна на 1 м ² , грн
Базальтова вата BauGut Universell 30 100 мм	м ²	1	140,03
Грунтовка глибокопроникна Ceresit СТ 17 Супер	л	0,4	13,64
Суміш для приклеювання та армування Ceresit Thermo Universal	кг	7	56,44
Скловітка штукатурна Masternet А-145	м ²	1,5	20,2
Дюбель	шт	10	12,2
Шуруп 100 мм	шт	10	20,6
Гідроізоляційна плівка Super Strong	м ²	1,5	9,8
Двостороння клейка стрічка для паро-гідробар'єру 30 мм х 25 м прозора ORIGINAL TAPE	м	2	13,52
Грунтовка кварцова адгезійна SCANMIX QUARZGRUND STANDART	л	0,4	20,88
Декоративна штукатурка короїдів BauGut RPT. Мінеральна Декоративна 2 мм	кг	3	35,6
Всього витрати на 1 м ²			342,91

Капіталовкладення на впровадження цього енергозбережного заходу розраховується за формулою [18]:

$$K_{\text{зах}} = K_{\text{осн}} + K_{\text{суп}}, \text{ грн} \quad (5.3)$$

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

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

Вартість придбання матеріалу дорівнює:

$$K_{\text{осн}} = 342,91 \cdot 1628,5 = 558\,428,94 \text{ грн.}$$

					Аркуш
					51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

Вартість монтажу ізоляції дорівнює:

$$K_{\text{суп}} = 1628,5 \cdot 200 = 325\,700 \text{ грн.}$$

Капіталовкладення на впровадження цього енергозбережного заходу (5.3):

$$K_{\text{зах}} = \frac{558428,94 + 325700}{1000} = 884,13 \text{ тис грн.}$$

Простий термін окупності енергозбережного заходу [18]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{зах}}}{\Delta E}, \quad (5.4)$$

де ΔE – річна економія витрат після введення енергозбережного заходу.

Отже,

$$T_{\text{ок}} = \frac{884,13}{111,19} = 7,95 \text{ роки.}$$

Чистий дисконтований дохід NPV- показник дисконтованого доходу [20].

При одномоментному здійсненні інвестиційних витрат NPV може бути визначений за формулою:

$$NPV = \sum_{t=t_n}^T \frac{P_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (5.5)$$

де P_t – чистий грошовий потік (гроші 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;

						Аркуш
						52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Приймається ставка дисконтування – 10% (0,1) [20, пункт 3.2.1].

У додатку Ж наведена таблиця Ж1 для спрощення подальших розрахунків дисконтованого методу NPV.

$$NPV = 946,63 - 884,13 = 62,5 \text{ тис. грн.}$$

У результаті розрахунку $NPV > 0$, отже даний енергозберіжний захід є прибутковим та може бути впровадженим [20], чистий дохід від цього заходу за 20 років становить 1339,67 тис. грн, чистий дисконтований – 62,5 тис. грн.

Індекс дохідності PI – чистий дохід підприємства на одиницю вартості інвестицій у енергозберіжний захід [20], тобто PI розраховується відповідно до формули:

$$PI = \frac{\sum_{t=tn}^T \frac{P_t}{(1+r)^t}}{I_0}, \text{ або } \frac{\text{приведена дисконтна вартість, грн}}{\text{чистий дохід, грн}}. \quad (5.6)$$

Тобто,

$$PI = \frac{946,63}{884,13} = 1,07.$$

Так як $PI > 1$ – проект є прибутковим та ефективним, що робить його привабливим для реалізації [20].

IRR – максимальна ставка r , при якій енергозберіжний захід буде окупатися. Розрахунок наведений у таблиці Ж2 додатку Ж з формули:

$$NPV = \sum_{t=tn}^T \frac{P_t}{(1+IRR)^t} - \sum_{t=0}^{t_3} \frac{I_t}{(1+IRR)^t} = 0. \quad (5.7)$$

Так як $IRR > r$ – більше, ніж мінімальна ціна інвестицій для цього заходу, то даний проект є привабливим до реалізації.

						Аркуш
						53
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисконтований індекс окупності PP – час, за який дисконтовані заходи покриваються величиною дисконтованих витрат за цим заходом [20], розраховується за формулою:

$$PP = m + \frac{I - P_m}{P_{m+1}}, \quad (5.8)$$

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

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

P_m – дисконтовані грошові надходження за проектом в кожному $(m + 1)$ -му році.

Отже,

$$PP = 8 + \frac{884,13 - 593,18}{534,74} = 8,54 \text{ років.}$$

Підводячи підсумки, можна сказати, що енергоефективний захід є прибутковим та може бути впроваджений: капітальні вкладення – 884,13 тис. грн, чистий дисконтований дохід – 62,5 тис. грн, індекс дохідності – 1,07, внутрішня норма дохідності – 11% та дисконтований термін окупності 8,54 років.

5.2.2 Утеплення огорожувальних конструкцій – підлога

Поточний стан:

З рисунку 4.1 видно, що втрати теплоти через підлогу займають 25%. Втрат тепла відбувається завдяки відсутності гідроізоляції та теплоізоляції підлоги, волога піднімається по конструкціях фундаменту, виступаючих зі стіни бетонних плит балконів, терас, бетонних стяжок (що не теплоізолювані і впираються у бетонний фундамент). Бетон, як правило, є "хорошим" містком холоду [21].

Опис можливостей з енергозбереження:

Для утеплення підлоги, яка складається з залізобетонної плити товщиною 0,22 м, цементної стяжки товщиною 0,03 м та ПВХ лінолеуму товщиною 0,003 м

						Аркуш
						54
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

пропонується базальтовою ватою BauGut Universell, теплопровідністю 0,041 Вт/(м²·К), що є негорючою та відповідає нормам [18].

Розрахунок товщини теплоізоляції проводиться за формулою (5.1):

$$\delta_{\text{ут}} = [3,75 - 0,43] \cdot 0,041 = 0,14 \text{ м.}$$

Так як у номенклатурному ряду немає мінералватного утеплювача товщиною 0,14 м, беремо наступний найближчий – 0,15 м [18].

Величина площі підлоги, яку необхідно утеплити, складає – 1170 м², тепловтрати – 122 850 Вт.

Втрати теплової енергії через підлогу після впровадження заходу(4.4):

$$Q_{\text{пдл}}^2 = \frac{1170}{3,75} \cdot (21 - (-25)) = 14\,352 \text{ Вт.}$$

Економія витрат теплоти після утеплення підлоги:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = 122\,850 - 14\,352 = 108\,498 \text{ Вт.}$$

Річна економія теплової енергії після впровадження заходу (5.2):

$$Q_{\text{ст}}^{\text{Ек.рік}} = 108498 \cdot \frac{(21 - (-1,4))}{(21 - (-25))} \cdot 24 \cdot 187 \cdot 10^{-3} = 237\,188,13 \text{ кВт·год/рік.}$$

У грошовому еквіваленті ця економія складає [18]:

$$237\,118,13 \text{ кВт·год/рік} \cdot 0,00086 = 203,92 \text{ Гкал/рік.}$$

$$203,92 \cdot 1613,76 = 329,080,51 \text{ грн} = 329,08 \text{ тис. грн.}$$

Так як у вартість теплоізоляційного матеріалу входять різні складові, то орієнтовані затрати кожної з них на 1 м² наведено у таблиці 5.2.

						Аркуш
						55
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 – Ціни та витрати на матеріали для утеплення підлоги на 1м² [19]

Матеріал	Одиниця виміру	Кількість	Ціна на 1 м ² , грн
Базальтова вата BauGut Universell 30 100 мм	м ²	1	140,03
Гідроізоляційна плівка Super Strong	м ²	1,5	9,8
Двостороння клейка стрічка для паро-гідробар'єру 30 мм х 25 м прозора ORIGINAL TAPE	м	2	13,52
Рейка монтажна Еталон-ліс цільні конструкція 15х30х2000 мм	м.п.	2 м.п.	39
Дюбель	шт	10	12,2
Шуруп	шт	10	20,6
Пароізоляційна плівка RoofOK	шт	1	18
Грунтовка глибокопроникна Ceresit СТ 17 Супер	л	0,4	13,64
Плита підлогова	м ²	1	42
Всього витрати на 1 м ²			308,79

Капіталовкладення на впровадження цього енергозбережного заходу розраховується з формули (5.3):

$$K_{\text{осн}} = 308,79 \cdot 1170 = 361\,284,3 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{суп}} = 1170 \cdot 350 = 409\,500 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{зах}} = \frac{361284,3 + 409500}{1000} = 770,78 \text{ тис грн.}$$

Простий термін окупності енергозбережного заходу (5.4):

$$T_{\text{ок}} = \frac{770,78}{329,08} = 2,34 \text{ роки.}$$

						Аркуш
						56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Чистий дисконтований дохід NPV- показник дисконтованого доходу [20].

Приймається ставка дисконтування – 10% (0,1) [20, пункт 3.2.1].

Для спрощення подальших розрахунків дисконтованого методу NPV наведена таблиця 5.3.

Таблиця 5.3 – Хід розрахунку чистого дисконтованого методу NPV

Рік	Капітальні витрати, т.грн	Грошовий потік (економія), т.грн	Чистий дохід, т.грн	Коефіцієнт дисконтування	Приведена дисконтна вартість, грн	Чистий дисконтований дохід, грн
0	-770,78	-770,78	-770,78	0	0	-770,78
1	0	329,08	-441,7	0,9	299,16	-471,62
2	0	329,08	-112,62	0,83	271,97	-199,65
3	0	329,08	216,46	0,75	247,24	47,59
4	0	329,08	545,54	0,68	224,77	275,36
5	0	329,08	874,62	0,62	204,33	476,69
Разом					1247,47	

$$NPV = 1247,47 - 770,78 = 476,69 \text{ тис. грн.}$$

У результаті розрахунку $NPV > 0$, отже даний енергозберіжний захід є прибутковим та може бути впровадженим [20], чистий дохід від цього заходу за 5 років становить 874,62 тис. грн, чистий дисконтований – 476,69 тис. грн.

Індекс дохідності PI – чистий дохід підприємства на одиницю вартості інвестицій у енергозберіжний захід [20], тобто PI розраховується відповідно до формули (5.6):

$$PI = \frac{1247,47}{770,78} = 1,62.$$

Так як $PI > 1$ – проект є прибутковим та ефективним, що робить його привабливим для реалізації [20].

IRR – максимальна ставка r , при якій енергозберіжний захід буде окупатися.
Розрахунок наведений у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Оцінка IRR

Роки	Грошовий потік (економія), т.грн
0	-770,78
1	329,08
2	329,08
3	329,08
4	329,08
5	329,08
IRR	32%

Так як $IRR > r$ – більше, ніж мінімальна ціна інвестицій для цього заходу, то даний проект є привабливим до реалізації.

Дисконтований індекс окупності PP – час, за який дисконтовані заходи покриваються величиною дисконтованих витрат за цим заходом [20], розраховується за формулою (5.8):

$$PP = 3 + \frac{770,78 - 723,19}{322,95} = 3,15 \text{ років.}$$

Підводячи підсумки, можна сказати, що енергоефективний захід є прибутковим та може бути впроваджений: капітальні вкладення – 770,78 тис. грн, чистий дисконтований дохід – 454,39 тис. грн, індекс дохідності – 1,62, внутрішня норма дохідності – 32% та дисконтований термін окупності 3,15 роки.

5.2.3 Заміна дерев'яних вікон на енергозберігаючі

Поточний стан:

Аналіз наданих вище результатів розрахунків у таблиці 4.2 вказує на те, що тепловтрати через світлопрозорі віконні конструкції складають 16% від загальних. У Центрі науково-технічної творчості молоді СМР встановлено 2 типи вікон: дерев'яні загальною площею 312,87 м² з тепловтратами 67 267,05 Вт та металопластикові площею 92,93 м² з втратами тепла 6243,73 Вт.

Опис можливостей з енергозбереження:

Для покращення ситуації пропонується замінити старі дерев'яні вікна на сучасні металопластикові Galaxu з двокамерним склопакетом з енергоефективним склом.

Тепловтрати крізь віконні отвори після впровадження заходу складуть (4.4):

$$Q_{\text{вкн}}^2 = \frac{312,87}{0,75} \cdot (21 - (-25)) = 19\,189,36 \text{ Вт.}$$

Економія витрат після заміни вікон:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = Q_{\text{вкн}}^1 - Q_{\text{вкн}}^2 + Q_{\text{інф}}, \text{ кВт} \quad (5.9)$$

$$\Delta Q_{\text{ст}} = 67\,267,05 - 19\,189,36 + 29\,461,57 = 77\,539,26 \text{ Вт.}$$

Річна економія теплової енергії після впровадження заходу (5.2):

$$Q_{\text{ст}}^{\text{Ек.рік}} = 77\,539,26 \cdot \frac{(21 - (-1,4))}{(21 - (-25))} \cdot 24 \cdot 187 \cdot 10^{-3} = 169\,459,02 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік.}$$

У грошовому еквіваленті ця економія складає [18]:

$$169\,459,02 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік} \cdot 0,00086 = 145,73 \text{ Гкал}/\text{рік.}$$

$$145,73 \cdot 1613,76 = 235\,180,92 \text{ грн} = 235,18 \text{ тис. грн.}$$

						Аркуш
						59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вартість одного вікна Galaxy з двокамерним склопакетом з енергоефективним склом становить 5900 грн (з установкою), кількість вікон, які необхідно замінити – 131 шт.

Капіталовкладення на впровадження цього енергозбережного заходу:

$$K_{\text{зах}} = 5900 \cdot 131 = 772,9 \text{ тис грн.}$$

Простий термін окупності енергозбережного заходу (5.4):

$$T_{\text{ок}} = \frac{772,9}{235,18} = 3,29 \text{ роки.}$$

Чистий дисконтований дохід NPV- показник дисконтованого доходу [20].

Приймається ставка дисконтування – 10% (0,1) [20, пункт 3.2.1].

Для спрощення подальших розрахунків дисконтованого методу NPV наведена таблиця 5.5.

Таблиця 5.5 – Хід розрахунку чистого дисконтованого методу NPV

Рік	Капітальні витрати, т.грн	Грошовий потік (економія), т.грн	Чистий дохід, т.грн	Коефіцієнт дисконтування	Приведена дисконтна вартість, грн	Чистий дисконтований дохід, грн
0	-772,9	-772,9	-772,9	0	0	-772,9
1	0	235,18	-537,72	0,9	213,8	-559,1
2	0	235,18	-302,54	0,83	194,36	-364,74
3	0	235,18	-67,36	0,75	176,69	-188,05
4	0	235,18	167,82	0,68	160,63	-27,42
5	0	235,18	403	0,62	146,03	118,61
Разом					891,51	

$$NPV = 891,51 - 772,9 = 118,61 \text{ тис. грн.}$$

У результаті розрахунку $NPV > 0$, отже даний енергозберіжний захід є прибутковим та може бути впровадженим [20], чистий дохід від цього заходу за 5 років становить 403 тис. грн, чистий дисконтований – 118,61 тис. грн.

Індекс дохідності PI – чистий дохід підприємства на одиницю вартості інвестицій у енергозберіжний захід [20], тобто PI розраховується відповідно до формули (5.6):

$$PI = \frac{891,51}{772,9} = 1,15.$$

Так як $PI > 1$ – проект є прибутковим та ефективним, що робить його привабливим для реалізації [20].

IRR – максимальна ставка r , при якій енергозберіжний захід буде окупатися. Розрахунок наведений у таблиці 5.6.

Так як $IRR > r$ – більше, ніж мінімальна ціна інвестицій для цього заходу, то даний проект є привабливим до реалізації.

Таблиця 5.6 – Оцінка IRR

Роки	Грошовий потік (економія), т.грн
0	-772,9
1	235,18
2	235,18
3	235,18
4	235,18
5	235,18
IRR	16%

Дисконтований індекс окупності PP – час, за який дисконтовані заходи покриваються величиною дисконтованих витрат за цим заходом [20], розраховується за формулою (5.8):

$$PP = 4 + \frac{772,9 - 745,48}{91,19} = 4,3 \text{ роки.}$$

Підводячи підсумки, можна сказати, що енергоефективний захід є прибутковим та може бути впроваджений: капітальні вкладення – 772,9 тис. грн, чистий дисконтований дохід – 118,61 тис. грн, індекс дохідності – 1,15, внутрішня норма дохідності – 16% та дисконтований термін окупності 4,3 роки.

5.2.4 Встановлення рекуператора теплоти в систему вентиляції

Поточний стан:

Аналіз балансу теплової енергії показує, що найбільша частка витрат тепла (29%) припадає на вентиляцію будівлі. Тому встановлення рекуператора теплоти здатне значно скоротити витрати теплової енергії та зменшити платню за спожиту теплову енергію.

Опис можливостей з енергозбереження:

Необхідно встановити пластинчастий рекуператор Вентс ПР 150 П-G4, який зображено на рисунку 5.1.



Рисунок 5.1 - Пластинчастий рекуператор Вентс ПР 150 П-G4 [22]

						Аркуш
						62
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливості пластинчастого рекуператора Вентс ПР 150 П-G4 [22]:

- Тепло та шумоізолюваний антикорозійний корпус;
- Високоєфективний рекуператор перехресного типу із полістиролу або алюмінію;
- Ефективність рекуперації – до 75%;
- Вбудовані фільтри G4 для фільтрації припливного та витяжного повітря;
- Компактні розміри та мала вага.

Масова втрата повітря, яке проходить через рекуператор визначається за формулою [18]:

$$G_{\text{рекуп}} = V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot k_{\text{q}}, \text{ кг/с} \quad (5.10)$$

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

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

k_{q} – коефіцієнт тепловтрати, приймаємо $k_{\text{q}} = 0,4$.

Тоді за формулою:

$$G_{\text{рекуп}} = 6300 \cdot 1,3 \cdot 0,4 = 3276 \text{ кг/с.}$$

Масова витрата повітря, яке проходить через вентиляцію визначається за формулою [18]:

$$G_{\text{вент}} = V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot q, \text{ кг/с} \quad (5.11)$$

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

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

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

Тоді:

$$G_{\text{вент}} = 6300 \cdot 1,3 \cdot 0,35 = 2866,5 \text{ кг/с.}$$

						Аркуш
						63
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Середню температуру повітря розраховуємо за формулою [18]:

$$t_{\text{ср}} = \frac{G_{\text{рекуп}} \cdot t_{\text{ср.оп}} + G_{\text{вент}} \cdot t_{\text{в}}}{G_{\text{рекуп}} + G_{\text{вент}}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.12)$$

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

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

Отже, середня температура повітря дорівнює:

$$t_{\text{ср}} = \frac{3276 \cdot (-1,4) + 2866,5 \cdot 18}{3276 + 2866,5} = 7,65 \approx 8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розраховуємо втрати теплоти на вентиляцію після встановлення рекуператора теплоти за формулою (4.8):

$$Q_{\text{рекуп}} = 0,28 \cdot 6300 \cdot 1,005 \cdot 1,3 \cdot (18 - 8) \cdot 1,73 \cdot 0,85 = 33\,890,11 \text{ Вт}.$$

Різницю між втратами через вентиляцію і встановленим рекуператором знаходимо по формулі:

$$\Delta Q_{\text{вент}} = Q_{\text{вент}} - Q_{\text{рекуп}}, \text{ Вт.} \quad (5.13)$$

$$\Delta Q_{\text{вент}} = 145727,49 - 33890,11 = 111\,837,38 \text{ Вт}.$$

Річна економія теплоти після встановлення рекуператора [18] (5.2):

$$Q_{\text{рекуп}}^{\text{Ек.рік}} = 111837,38 \cdot \frac{(21 - (-1,4))}{(21 - (-25))} \cdot 24 \cdot 187 \cdot 10^{-3} = 244\,416,22 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}.$$

У грошовому еквіваленті ця економія складає [18]:

$$244416,22 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік} \cdot 0,00086 = 210,2 \text{ Гкал}/\text{рік}.$$

					Аркуш
					64
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

$$210,2 \cdot 1613,76 = 339\,209,04 \text{ грн} = 339,21 \text{ тис. грн.}$$

Для Центру науково-технічної творчості молоді СМР запропоновано встановити 84 рекуператори. Орієнтована загальна сума капітальних витрат для впровадження запропонованого заходу:

$$K_{\text{осн}} = 9200 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{суп}} = 1300 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{зах}} = (9200 + 1300) \cdot 84 = 882\,000 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності енергозбережного заходу (5.4):

$$T_{\text{ок}} = \frac{882}{339,21} = 2,6 \text{ року.}$$

Чистий дисконтований дохід NPV- показник дисконтованого доходу [20].

Приймається ставка дисконтування – 10% (0,1) [20, пункт 3.2.1].

Для спрощення подальших розрахунків дисконтованого методу NPV наведена таблиця 5.7.

Таблиця 5.7 – Хід розрахунку чистого дисконтованого методу NPV

Рік	Капітальні витрати, т.грн	Грошовий потік (економія), т.грн	Чистий дохід, т.грн	Коефіцієнт дисконтування	Приведена дисконтна вартість, грн	Чистий дисконтований дохід, грн
0	-882	-882	-882	0	0	-882
1	0	339,21	-542,79	0,9	308,37	-573,63
2	0	339,21	-203,58	0,83	280,34	-293,29
3	0	339,21	132,63	0,75	254,85	-38,44
4	0	339,21	474,84	0,68	231,68	193,24
5	0	339,21	814,05	0,62	210,62	403,86
Разом					1285,86	

$$NPV = 1285,86 - 882 = 403,86 \text{ тис. грн.}$$

У результаті розрахунку $NPV > 0$, отже даний енергозберіжний захід є прибутковим та може бути впровадженим [20], чистий дохід від цього заходу за 5 років становить 814,05 тис. грн, чистий дисконтований – 403,86 тис. грн.

Індекс дохідності PI – чистий дохід підприємства на одиницю вартості інвестицій у енергозберіжний захід [20], тобто PI розраховується відповідно до формули (5.6):

$$PI = \frac{1285,86}{882} = 1,46.$$

Так як $PI > 1$ – проект є прибутковим та ефективним, що робить його привабливим для реалізації [20].

IRR – максимальна ставка r , при якій енергозберіжний захід буде окупатися. Розрахунок наведений у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Оцінка IRR

Роки	Грошовий потік (економія), т.грн
0	-882
1	339,21
2	339,21
3	339,21
4	339,21
5	339,21
IRR	27%

Так як $IRR > r$ – більше, ніж мінімальна ціна інвестицій для цього заходу, то даний проект є привабливим до реалізації.

Дисконтований індекс окупності PP – час, за який дисконтовані заходи покриваються величиною дисконтованих витрат за цим заходом [20], розраховується за формулою (5.8):

$$PP = 3 + \frac{882-843,56}{154,8} = 3,25 \text{ роки.}$$

Підводячи підсумки, можна сказати, що енергоефективний захід є прибутковим та може бути впроваджений: капітальні вкладення – 882 тис. грн, чистий дисконтований дохід – 403,86 тис. грн, індекс дохідності – 1,46, внутрішня норма дохідності – 27% та дисконтований термін окупності 3,25 роки.

5.3 Висновки за розділом

У ході енергетичного аудиту будівлі Центру науково-технічної творчості молоді СМР було запропоновано 4 енергозберігаючих заходів: утеплення стін, утеплення підлоги, заміна дерев'яних вікон на металопластикові та встановлення рекуператора теплоти в систему вентиляції.

Згідно розрахунків, впровадження даних заходів може допомогти заощадити: 80 120,85 кВт·год/рік (111,19 тис. грн) від утеплення стін, 237 188,13 кВт·год/рік (329,08 тис. грн) від утеплення підлоги, 169 459,02 кВт·год/рік (235,18 тис. грн) від заміни дерев'яних вікон на енергозберігаючі, та 244 416,22 кВт·год/рік (339,21 тис. грн) від встановлення рекуператора теплоти.

На рисунку 5.2 зображено питома вага енерговитрат у загальному енергетичному балансі.

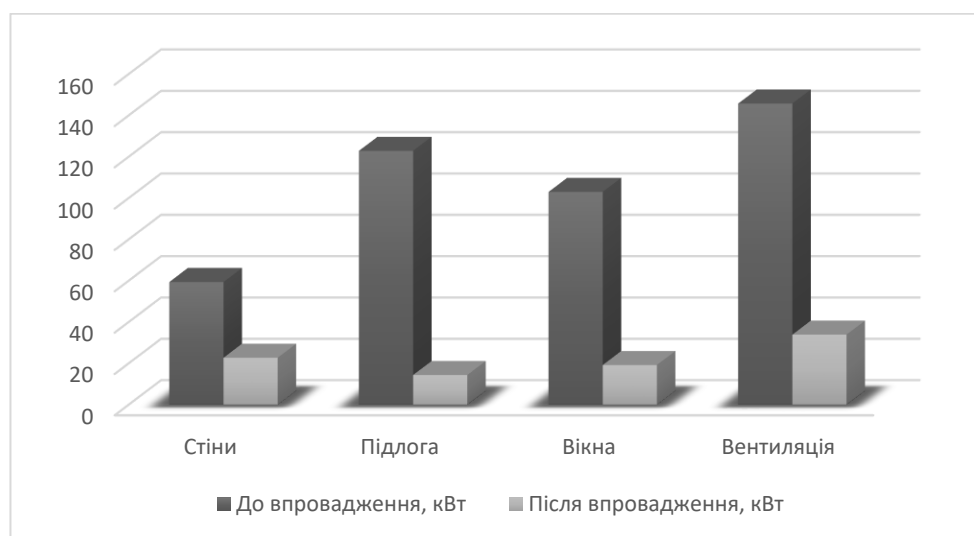


Рисунок 5.2 – Питома вага енерговитрат у загальному енергетичному балансі

					Аркуш
					67
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

ВИСНОВКИ

У першому розділі роботи було описано загальні характеристики об'єкту, фактичного стану огорожувальних конструкцій, систем тепло-, водо-, та електропостачання, а також систем вентиляції.

У другому розділі було описано методи та прилади вимірювання. Під час проведення енергетичного обстеження Центру науково-технічної творчості молоді СМР буд використаний тепловізор Fluke Ti25. На зроблених ним термограмах видно фактичну температуру огорожувальних конструкцій, руйнації, місцезнаходження опалювальних приладів та інші типові проблеми. Проаналізувавши це, можна зробити висновок, що стіни та інші конструктивні елементи знаходяться у незадовільному стані.

У третьому розділі було проаналізоване споживання енергоресурсів та води та порівняння з нормативними даними. Нормативна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів першої температурної зони становлять $0,026 \text{ Гкал/м}^3$. Осереднене значення показника енергоефективності будинку за визначеними опалювальними періодами становить – $EP = 0,029 \text{ Гкал/м}^3$, це означає, що значення фактичних питомих енерговитрат близьке до нормативного. Нормативне значення споживання електричної енергії на одну дитину для навчальних корпусів вищих і середніх спеціальних навчальних закладів (без їдальнь) з кондиціонуванням повітря для Сумської області складає $43 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ в рік. Фактичне значення споживання електроенергії на одну дитину за 2019 рік становить $58 \text{ кВт}\cdot\text{год/дитина}$, за 2020 рік - $47,22 \text{ кВт}\cdot\text{год/дитина}$, за 2021 рік - $62,49 \text{ кВт}\cdot\text{год/дитина}$. Фактичне споживання електроенергії близьке до нормативного показника. Для навчального закладу норма споживання води на одну дитину становить 20 л/дитина в день. Фактичний показник за 2019 рік становить $7,04 \text{ л/дитина}$ в день, за 2020 рік – $6,11 \text{ л/дитина}$ в день, за 2021 рік – $5,92 \text{ л/дитина}$ в день. Фактичний показник не перевищує норми.

						Аркуш
						68
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У четвертому розділі було розраховано опір теплопередачі, основні та додаткові теплові втрати стін та інших конструктивних елементів, основні теплонадходження у будівлю та теплова потужність всієї будівлі.

З результатів розрахунку видно, що найбільші теплові втрати через: вентиляцію – 145,73 кВт (29%), підлогу – 122,85 кВт (25%), вікна – 102,97 кВт (21%) та стіни – 59,36 кВт (12%). Виходячи з цього, можна зробити висновок, що найбільшу увагу треба виділити на модернізацію вентиляції, утеплення підлоги та стін і заміну застарілих віконних конструкцій

У п'ятому розділі було запропоновано 4 енергозберігаючих заходів: утеплення стін, утеплення підлоги, заміна дерев'яних вікон на металопластикові та встановлення рекуператора теплоти в систему вентиляції.

Згідно розрахунків, впровадження даних заходів може допомогти заощадити: 80 120,85 кВт·год/рік (111,19 тис. грн) від утеплення стін, 237 188,13 кВт·год/рік (329,08 тис. грн) від утеплення підлоги, 169 459,02 кВт·год/рік (235,18 тис. грн) від заміни дерев'яних вікон на енергозберігаючі, та 244 416,22 кВт·год/рік (339,21 тис. грн) від встановлення рекуператора теплоти.

						Аркуш
						69
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проблеми енергозбереження в Україні [електронний ресурс] Режим посилання: <https://eprints.kname.edu.ua/32275/1/90.pdf>
2. Енергоефективність в муніципальному секторі. Навчальний посібник для посадових осіб місцевого самоврядування / А.Максимов, І.Вахович, Т.Гутніченко, П.Бабічева, Н.Вакуленко, Н.Ігольнікова, Т.Цифра, О.Молодід, О.Белекова, Ю.Ячменьова, Ю.Дорошук, А.Скрипник, А.Ваколюк, В.Бойко, М.Сегедій, Д.Вахович / Асоціація міст України – К., ТОВ «ПІДПРИЄМСТВО «ВІ ЕН ЕЙ», 2015. – 184 с.
3. Енергетичний аудит: опорний конспект лекцій / укладач С.В.Сапожніков. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 120 с.
4. Енергетична ефективність будівель: тепловізійне обстеження, аудит [електронний ресурс] Режим посилання: <https://mb.expert/energetychna-efektyvnist-budivel-teplovizijne-obstezhennya-audyt/>
5. Методичні вказівки до курсової роботи з курсу «Енергетичний аудит» на тему «Енергетичне обстеження енергоспоживаючих систем та систем водопостачання будівлі»/ укладачі: С.В.Сапожніков, С.С.Антоненко. – Суми:Сумський державний університет, 2011.
6. Центр научно-технічного Творчества Молодежи [електронний ресурс] Режим посилання: <https://www.google.com/maps/contrib/104313485106550013262/photos/@50.909493,34.8289843,3a,75y,90t/data=!3m7!1e2!3m5!1sAF1QipOI Tugc57dLZv0KjqXnJZmjiLCwIxGrfWPgYQlc!2e10!6shttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipOI Tugc57dLZv0KjqXnJZmjiLCwIxGrfWPgYQlc%3Dw433-h260-k-no!7i2560!8i1536!4m3!8m2!3m1!1e1>
7. Промышленный тепловизор Fluke Ti25 [електронний ресурс] Режим посилання: <http://www.promprylad.com.ua/fluke-ti25.html>

					Аркуш
					70
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

8. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. –К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2017. – 30 с.

9. ДСТУ Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія" –К. Мінрегіонбуд України,2006. – 72 с.

10. КТМ 204 України 244-94. Норми та вказівки з нормування витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. Державний комітет України по житлово-комунальному господарству. – Київ, 2001 р.

11. Міжгалузеві норми споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України [електронний ресурс] Режим посилання: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0175-00#Text>

12. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Розробники: Ж. Бовкун, М. Кашликов. – Київ. Мінрегіон України, 2013 р. – 122с.

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

14. Виробничий календар на 2021 рік [електронний ресурс] Режим посилання: <https://www.kadrovik.ua/content/vyrobnychyu-kalendar-na-2021-rik>

15. ДСТУ Б В.2.2-39:2016. Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», ТК 302 «Енергоефективність будівель і споруд» ПК 4 «Енергетична паспортизація будівель. Розробники: Г. Фаренюк, д-р техн. наук (науковий керівник); М. Тимоєєв, канд. техн наук.

16. Архив погоды в Сумах [електронний ресурс] Режим посилання: <https://pogoda.turtella.ru/ukraine/sumy/archive>

17. ДБН В.2.2-4:2018. Будинки і споруди. Заклади дошкільної освіти. ПАТ «Український зональний науково-дослідний і проектний інститут по

						Аркуш
						71
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

цивільному будівництву» (ПАТ «КІЇВЗНДІЕП»). Розробники: Б. Губов; М. Коренюк, канд. Тех. Наук; В. Куцевич, д-р архіт. (науковий керівник). МІнрегіон України, 2018.

18. 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.

19. Епіцентр [електронний ресурс] Режим посилання: <https://epicentrk.ua>

20. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент»/ укладачі: І. М. Сотник, О. М. Маценко, О. М. Соляник. –Суми : Сумський державний університет, 2013. – 48 с.

21. ГОТОВІ РІШЕННЯ З УТЕПЛЕННЯ [електронний ресурс] Режим посилання: https://ppu.biz.ua/index.php/teploizoliatsiia/vse-pro-pinopoliuretan/hotovi-rishennia-z-uteplennia-ppu?gclid=Cj0KCQjwyMiTBhDKARIsAAJ-9VtL_Q2qXxQ8fbyBdAXsjkdxv9Sjov_bz3QBciId3am8mnmBgTls9IaAhH-EALw_wcB

22. Пластинчатый рекуператор Вентс ПР 150 П-G4 [електронний ресурс] Режим посилання: https://moystroy.com.ua/ventilyaciya/prinadlezhnosti-dlya-sistemy-ventilyacii/rekuperator/пластинчатый-рекуператор-вентс-пр-150-п-g4?gclid=CjwKCAjw682TBhATEiwA9crl32msCZSuR3t5Mb8AKZ77wxzpkTYXyTaIjBsxWGBMtVUZ1vyEIXrPWxoCsicQAvD_BwE

23. Вібрація [електронний ресурс] Режим посилання: <https://pidru4niki.com/1181092038290/bzhd/vibratsiya>

24. Вібрація. Параметри та види вібрації, її дія на організм людини [електронний ресурс] Режим посилання: <https://studfile.net/preview/5470308/page:43/>

25. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99 [електронний ресурс] Режим посилання: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99#Text>

						Аркуш
						72
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

26. ПАРАМЕТРИ ТА ВИДИ ВІБРАЦІЇ, ЇЇ ДІЯ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ [електронний ресурс] Режим посилання: <https://infopedia.su/8xf7a9.html>

27. Нормування вібрації [електронний ресурс] Режим посилання: <https://studfile.net/preview/5470308/page:44/>

28. Заходи та засоби захисту від вібрації [електронний ресурс] Режим посилання: <https://studfile.net/preview/5470308/page:45/>

29. Захист від вібрації та неіонізуючих випромінювань.Вимоги безпеки до технологічного обладнання і процесів [електронний ресурс] Режим посилання: <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/09/Лекція-7.pdf>

30. Захист від вібрацій [електронний ресурс] Режим посилання: <https://buklib.net/books/29894/>

						Аркуш
						73
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

А.1 – Параметри, які характеризують вібрацію

Під вібрацією розуміють механічні коливання твердого тіла. Найпростіший вид механічних коливань – це гармонійні коливання, за яких відбувається почергове наростання та спадання в часі (за синусоїдальним законом) значень рухомої точки чи механічної системи [23].

Зазвичай, вібрації викинають при роботі машин та механізмів, що мають неврівноважені і незбалансовані частини, які обертаються чи здійснюють зворотно-поступальний рух. Це можуть бути наступні види устаткування: оброблювальні верстати, штампувальні та ковальські молоти, електро- та пневмоперфоратори, електроприводи, насосні установки, компресори, механізований інструмент та ін. При роботі даних машин та механізмів вібрація відіграє негативну роль. Також, вібрацію застосовують і для інтенсифікації виробничих процесів, наприклад, при ущільненні бетонних сумішей, роздрібнюванні та сортуванні інертних матеріалів, розвантажуванні, сортуванні сипучих матеріалів тощо [24].

Вібрація характеризується абсолютними та відносними параметрами [24].

Основні абсолютні параметри: вібропереміщення (y) – це миттєве значення кожної з координат, які описують положення тіла чи матеріальної точки під час вібрації; амплітуда вібропереміщення (A) – найбільше відхилення точки, що коливається з певною частотою, від положення рівноваги, м; віброшвидкість (v) – це кінематичний параметр, який дорівнює швидкості переміщення точки, що коливається з певною частотою, м/с; віброприскорення (a) – це кінематичний параметр, який дорівнює прискоренню переміщення точки, що коливається з певною частотою, м/с²; період вібрації (T) – найменший інтервал часу, через який під час періодичної вібрації повторюється кожне значення величини, що характеризує вібрацію, с; частота вібрації (f) – величина, обернено пропорційна

періоду вібрації, яка показує кількість коливань за одиницю часу точки під час вібрації, Гц [23].

На практиці частіше використовують відносні параметри — рівні, які визначаються щодо опорного (порогового) значення відповідного параметра і вимірюються у децибелах (дБ), оскільки абсолютні параметри, що характеризують вібрацію змінюються в широких межах [24]. Стандартні опорні значення наступні:

- амплітуди вібропереміщення [24]:

$$A_0 = 8 \cdot 10^{-12} \text{ м}; \quad (\text{A.1})$$

- віброшвидкості [24]:

$$v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}; \quad (\text{A.2})$$

- віброприскорення [24]:

$$a_0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2. \quad (\text{A.3})$$

Найчастіше для оцінки вібрації використовують логарифмічний рівень віброшвидкості L_v , який визначається за формулою [24]:

$$L_v = \frac{201 \cdot g \cdot v}{v_0}, \text{ дБ} \quad (\text{A.4})$$

де v - абсолютне значення віброшвидкості, м/с;

v_0 – опорне значення віброшвидкості, м/с.

A.2 – Дія на організм людини

За способом передачі на тіло людини розрізняють загальну та локальну вібрацію. Класифікація виробничої вібрації наведена на рисунку А.1.

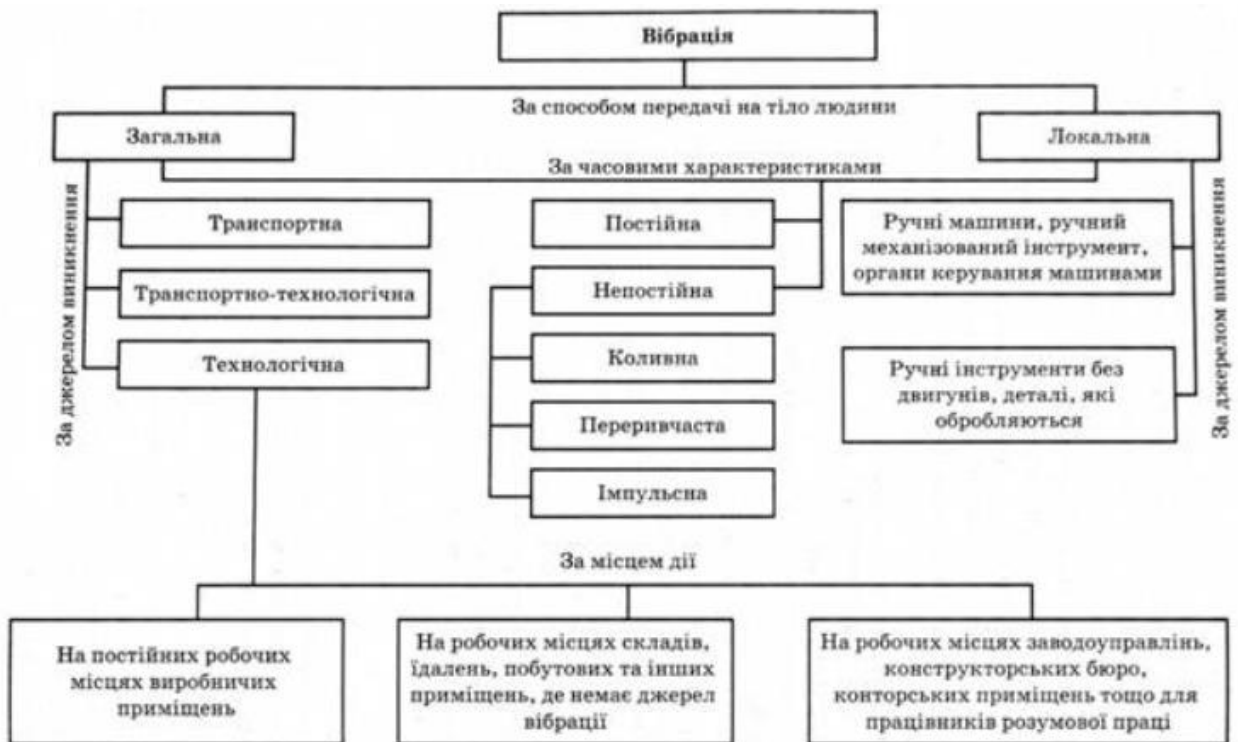


Рисунок А.1 – Класифікація виробничої вібрації [23]

Загальна вібрація передається на тіло людини, яка сидить або стоїть, переважно через опорні поверхні. Локальна вібрація передається через руки працюючих при контакті з ручним механізованим інструментом, органами керування машинами і обладнанням, деталями, які обробляються та ін. [25, пункт 2.1].

Загальну вібрацію за джерелом її виникнення поділяють на такі категорії [25, пункт 2.2]:

Категорія 1 – це транспортна вібрація, що діє на людину на робочих місцях самохідних та причіпних машин, транспортних засобів під час руху по місцевості, агрофонах і дорогах (включаючи їх будівництво).

До джерел транспортної вібрації відносять: трактори сільськогосподарські та промислові, самохідні сільськогосподарські машини (включаючи комбайни);

автомобілі вантажні (в тому числі тягачі, скрепери, грейдери, котки та ін.); снігоприбирачі, самохідний гірничо-шахтний рейковий транспорт [25, пункт 2.2].

Категорія 2 – це транспортно-технологічна вібрація, що діє на людину на робочих місцях машин з обмеженою рухливістю та таких, що рухаються тільки по спеціально підготовленим поверхням виробничих приміщень, промислових майданчиків та гірничих виробок.

До джерел транспортно-технологічної вібрації відносять: екскаватори (включаючи роторні), крани промислові та будівельні, машини для завантаження мартенівських печей (завалочні), гірничі комбайни, самохідні бурильні каретки, шляхові машини, бетоноукладчики, транспорт виробничих приміщень [25, пункт 2.2].

Категорія 3 – це технологічна вібрація, яка діє на людину на робочих місцях стаціонарних машин чи передається на робочі місця, які не мають джерел вібрації.

До джерел технологічної вібрації відносяться: верстати та метало-деревобробне, пресувально-ковальське обладнання, ливарні машини, електричні машини, стаціонарні електричні установки, насосні агрегати та вентилятори, обладнання для буріння свердловин, бурові верстати, машини для тваринництва, очищення та сортування зерна (включаючи сушарні), обладнання промисловості будматеріалів (крім бетоноукладачів), установки хімічної та нафтохімічної промисловості та ін. [25, пункт 2.2].

Загальну технологічну вібрацію за місцем дії поділяють на такі типи (рис. А.1):

- на постійних робочих місцях виробничих приміщень підприємств;
- на робочих місцях складів, їдальнь, побутових, чергових та інших виробничих приміщень, де немає джерел вібрації;
- на робочих місцях заводоуправлінь, конструкторських бюро, лабораторій, учбових пунктів, обчислювальних центрів, медпунктів, конторських приміщень, робочих кімнат та інших приміщень для працівників розумової праці [26].

За джерелом виникнення локальну вібрацію поділяють на таку, що передається від (рис. А.1):

- ручних машин або ручного механізованого інструменту, органів керування машинами та устаткуванням;

- ручних інструментів без двигунів (наприклад, рихтувальні молотки) та деталей, які обробляються [26].

За часовими характеристиками загальні та локальні вібрації поділяються на (рис. А.1):

- постійні, для яких величина віброприскорення чи віброшвидкості змінюється менше ніж у два рази (менше 6 дБ) за робочу зміну;

- непостійні, для яких вищеперераховані параметри вібрації змінюються не менше ніж у два рази (6 дБ і більше) за робочу зміну [26].

В свою чергу, непостійні вібрації поділяються на [26]:

- коливні, рівні яких безперервно змінюються в часі;
- переривчасті, коли контакт з вібрацією в процесі роботи переривається, причому довжина інтервалів, під час яких має місце контакт, становить більше 1 с;

- імпульсні, що складаються з одного або кількох вібраційних впливів (наприклад, ударів), кожен довжиною менше ніж 1 с, при частоті їх дії менше ніж 5,6 Гц.

При дії вібрації на організм людини спостерігаються зміни в діяльності серцевої та нервової систем, спазм судин, зміни у суглобах, що призводить до обмеження їх рухомості. Якщо дія вібрації є короткотривалою, працівник передчасно втомлюється, тому його продуктивність праці знижується. Тривала дія вібрації може спричинити деяке професійне захворювання – вібраційну хворобу. Під час розвитку цієї хвороби з'являється наступні симптоми: оніміння, відчуття повзання мурашок, біль у суглобах тощо. Важливо сказати, що ефективне лікування вібраційної хвороби можливе лише на ранній стадії її розвитку. Особливо небезпечна вібрація робочих місць з частотою, яка є резонансною з частотою коливання окремих органів чи частин тіла людини, що може призвести до їх механічного пошкодження. Для більшості внутрішніх органів людини частота власних коливань становить 6—12 Гц [24].

Ступінь та характер впливу вібрації на організм людини залежить не лише від виду та параметрів, а також і від напрямку її дії. Тому вібрація поділяється

залежно від осей ортогональної системи координат X , Y , Z , вздовж яких вона діє (рис. А.2). Особливо чутливий організм людини до вертикальної загальної вібрації (вздовж осі Z), коли коливання передаються від ніг до голови [24].

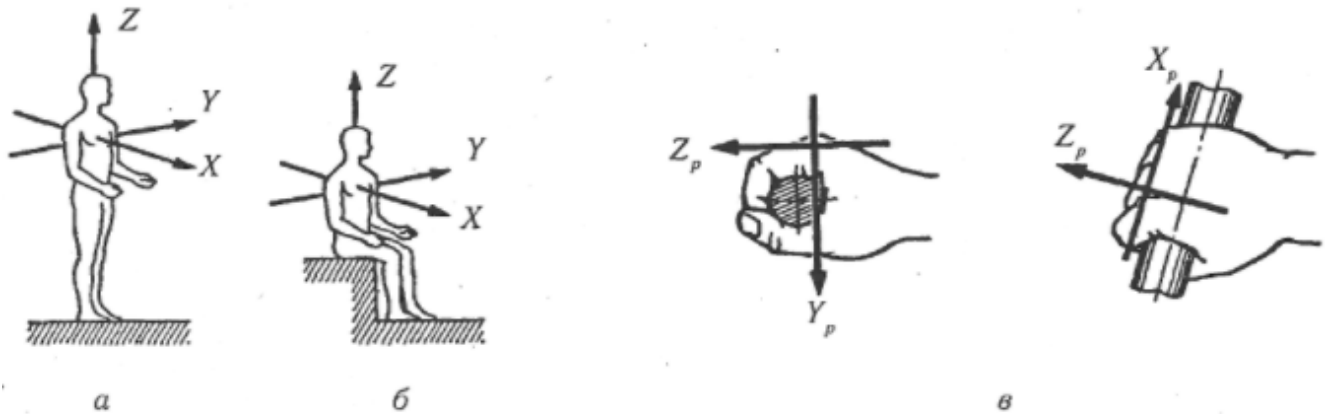


Рисунок А.2 – Напрямок координатних осей при дії загальної (а, б) та локальної (в) вібрації: а – положення стоячи; б – положення сидячи [24]

А.3 – Нормування вібрації

Нормування вібрації поділяється на гігієнічне та технічне. При гігієнічному нормуванні регламентуються відповідні умови щодо захисту від вібрації людини, а при технічному – щодо захисту машин, устаткування, механізмів і т. п. від дії вібрації, яка може призвести до їх пошкодження чи передчасного виходу з ладу. Основними нормативними документами з охорони праці стосовно вібрації є ГОСТ 12.1.012-90 та ДСН 3.3.6.039-99 [26].

Гігієнічна оцінка вібрації, яка діє на людину у виробничих умовах, здійснюється за допомогою наступних методів [25, пункт 3.1]:

- частотного (спектрального) аналізу її параметрів;
- інтегральної оцінки по спектру частот параметрів, що нормуються;
- дози вібрації.

При дії постійної локальної та загальної вібрації параметром, що нормується, є середньоквадратичне значення віброшвидкості (V) та віброприскорення (a) або їх

логарифмічні рівні у дБ в діапазоні октавних смуг із середньгеометричними частотами [25, пункт 3.2]:

- 8,0; 16,0; 31,5; 63,0; 125,0; 250,0; 500,0; 1000,0 Гц – для локальної вібрації;

- 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0; 31,5; 63,0 Гц або в діапазоні 1/3 октавних смуг 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц - для загальної вібрації.

Гігієнічні норми в логарифмічних рівнях середніх квадратичних значень віброшвидкостей для октавних смуг частот наведені на рис. А.3.

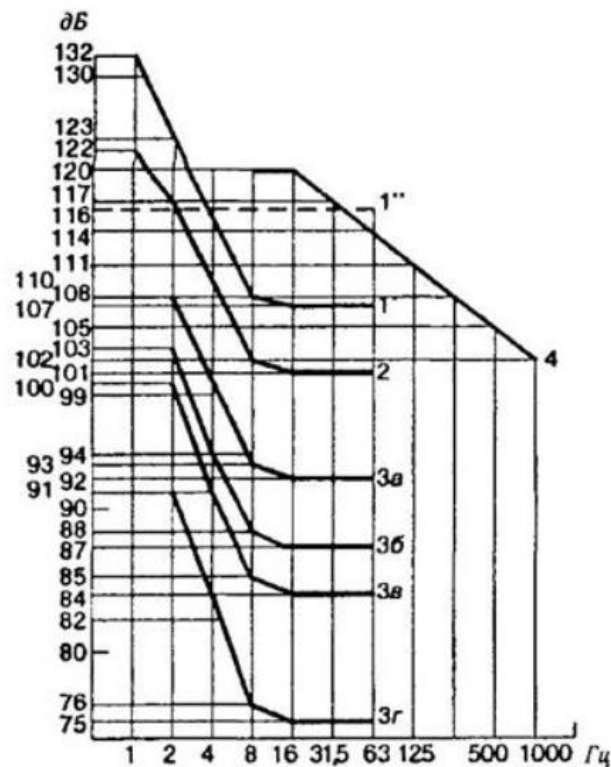


Рисунок А.3 – Гігієнічні норми вібрації: 1-3 – загальна вібрація; 1' - вертикальна транспортна; 1'' - горизонтальна транспортна; 2 – транспортно-технологічна; 3а – технологічна у виробничих приміщеннях; 3б – у службових приміщеннях на судах; 3в – у виробничих приміщеннях, де немає джерел вібрації; 3г – у приміщеннях адміністративно-управлінських та для розумової праці; 4 – локальна вібрація [26]

Гігієнічні норми вібрації, що діє на людину у виробничих умовах встановлені для тривалості 480 хв. (8 год). При дії вібрації, яка перевищує

гранично допустимий рівень, сумарний час її дії протягом робочої зміни повинен бути меншим [27]. У табл. А.1 наведено допустимий сумарний час дії локальної вібрації в залежності від перевищення її гранично допустимого рівня.

Таблиця А.1 - Допустимий сумарний час дії локальної вібрації в залежності від перевищення її гранично допустимого рівня

Перевищення гранично допустимого рівня, дБ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Допустимий сумарний час дії вібрації за зміну, хв	384	302	240	191	151	120	95	76	60	48	38	30

А.4 – Методи захисту від вібрації

Заходи та засоби захисту від вібрації за організаційною ознакою поділяються на колективні та індивідуальні (рис. А.4). Колективні заходи та засоби віброзахисту можна підрозділити за наступними напрямками [28]:

- Технічні заходи, наприклад, зниження вібрації в джерелі її виникнення (вибір на стадії проектування кінематичних і технологічних систем, які знижують динамічні навантаження в устаткуванні та ін); зниження діючої вібрації на шляху розповсюдження від джерела виникнення (вібропоглинання, віброгасіння, віброізоляція) [29];

- Організаційні заходи, наприклад, організаційно-технічні (своєчасний ремонт та обслуговування обладнання за технологічним регламентом, контроль допустимих рівнів вібрації, дистанційне керування вібронезбезпечним обладнанням); організаційно-режимні (забезпечення відповідного режиму праці та відпочинку, заборону залучення до вібраційних робіт осіб молодших 18 років, тощо) [29];

- Лікувально-профілактичні заходи: періодичні медичні огляди; лікувальні процедури (фізіологічні процедури, вітамінно- та фітотерапія) [29].

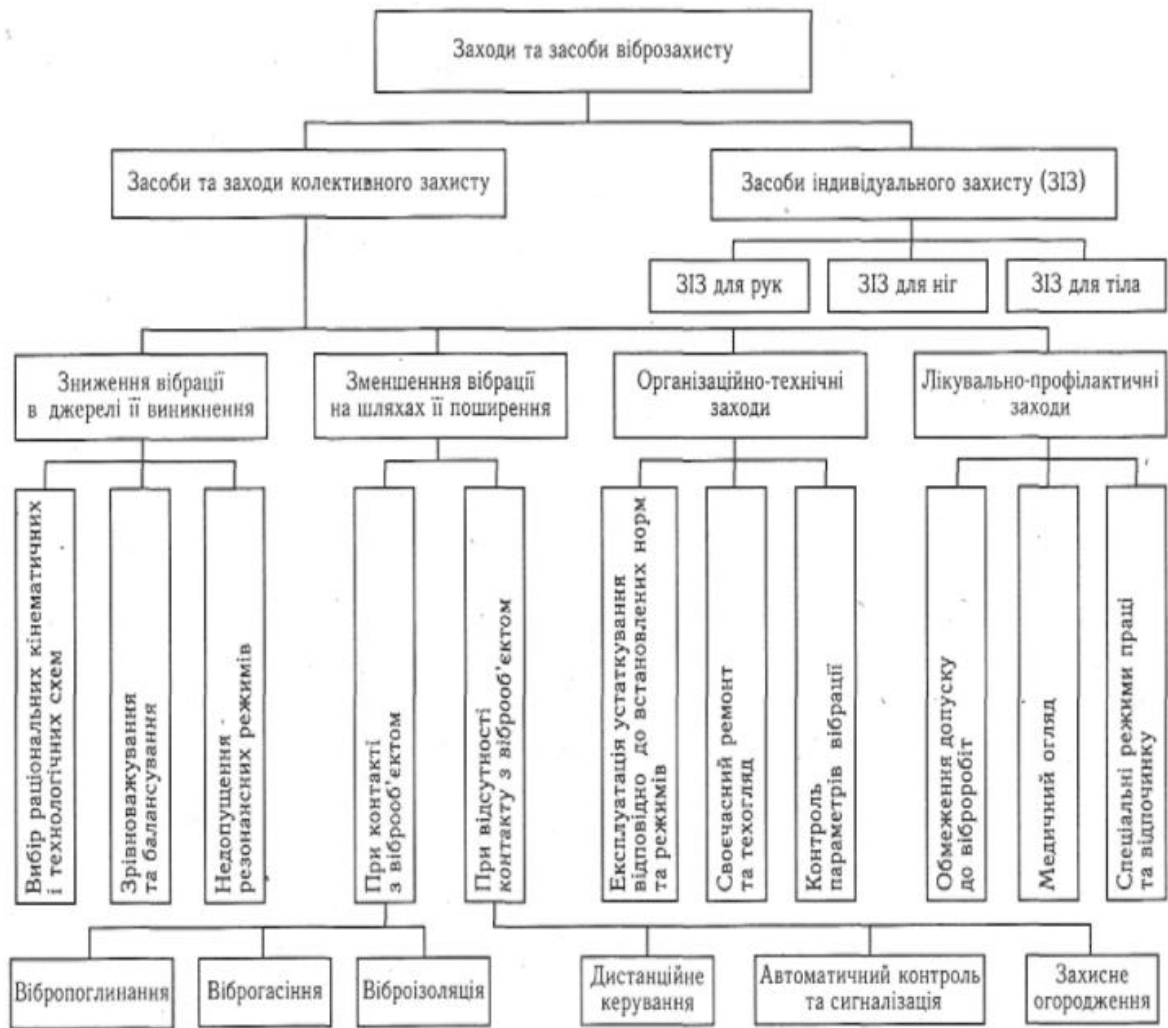


Рисунок А.4 – Класифікація заходів та засобів віброзахисту [28]

Зменшення вібрації в джерелі її виникнення досягається шляхом застосування кінематичних та технологічних схем, що можуть усунути чи мінімально знизити дію динамічних сил. Наприклад, вібрація ослаблюється при заміні кулачкових та кривошипних механізмів на механізми, що обертаються з рівномірною швидкістю, механічних приводів — на гідравлічні і т. ін. Зменшення вібрації досягається також статичним та динамічним зрівноважуванням механізмів та об'єктів, що обертаються [28].

Контакту працівника з віброоб'єктом, а відтак і шкідливої дії вібрації можна уникнути шляхом використання дистанційного керування, автоматичного

контролю та сигналізації, а також застосування захисного огородження. Якщо цього досягти неможливо, то необхідно при контакті працівника з віброоб'єктом домогтися зменшення параметрів вібрації на шляху її поширення від джерела змусувальної сили. Це можна досягти за допомогою вібропоглинання, віброгасіння та віброізоляції [28].

Для динамічного віброгасіння коливань використовують динамічні віброгасії пружинні, маятникові, ексцентрикові, гідравлічні [30].

Зазвичай, вони являють собою додаткову коливну систему, яка встановлюється на агрегаті, що вібрує, масою M та жорсткістю C (рис. А.5). Причому маса m та жорсткість c цієї системи підібрані таким чином, що в кожен момент часу збуджуються коливання, які знаходяться в протифазі з коливаннями агрегату. Недоліком динамічних віброгасників є те, що вони налаштовані на певну частоту, яка відповідає їх резонансному режиму коливання [28].

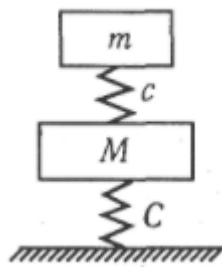


Рисунок А.5 - Схема дії динамічного віброгасника [28]

Для зниження вібрації застосовують також ударні віброгасники маятникового, пружинного і плаваючого типів. У них здійснюється перехід кінетичної енергії відносного руху елементів, що контактують, в енергію деформації з поширенням напружень із зони контакту по елементах, що взаємодіють. Внаслідок цього енергія розподіляється по об'єму елементів віброгасника, які зазнають взаємних ударів, викликаючи їх коливання. Одночасно відбувається розсіювання енергії внаслідок дії сил зовнішнього та внутрішнього тертя. Маятникові ударні віброгасники використовуються для гасіння коливань частотою 0,4-2,0 Гц, пружинні - 2-10 Гц, плаваючі - понад 10 Гц [28].

Динамічне віброгасіння також може бути досягнене за допомогою встановлення агрегату на масивному фундаменті (рис. А.6). Маса фундаменту підбирається таким чином, щоб амплітуда його коливань не перевищувала допустимих значень [28].

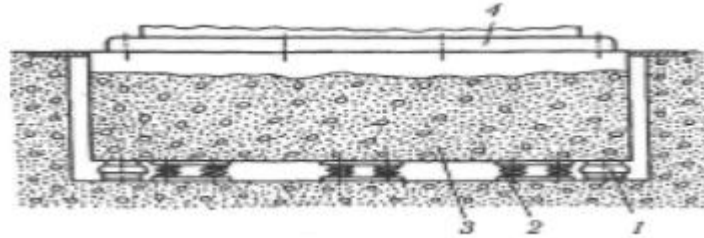


Рисунок А.6 – Схема фундаменту під важкий метало оброблювальний верстат: 1 – амортизатори; 2 – пружини; 3 – фундаментна плита; 4 – станина верстату [28]

Віброізоляція полягає у введенні в коливну систему додаткового пружного зв'язку, що перешкоджає передачі вібрації від об'єкта, що вібрує, до основи, суміжних конструкцій чи людини (рис. А.7) [28].

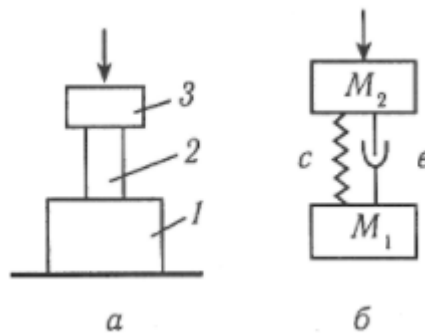


Рисунок А.7 – Принципова (а) та розрахункова (б) схеми віброізолюваної системи: 1 – віброізолюваний об'єкт масою M_1 ; 2 – віброізолятор з пружністю c та коефіцієнтом опору v ; 3 – об'єкт, що вібрує, масою M_2 [28]

Віброізоляція є єдиним ефективним способом зменшення вібрації, що передається на руки від ручного механізованого інструмента. Для цього держак

відокремлюється від корпусу інструмента/що вібрує, за допомогою пружного елемента (рис. А.8) [28].

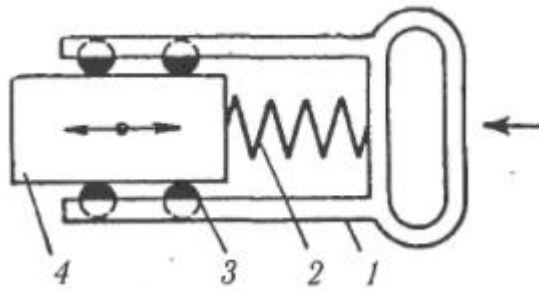


Рисунок А.8 – Віброізований держак: 1 – держак; 2 – пружина; 3 – підшипник; 4 – корпус [28]

Засоби індивідуального захисту від вібрації застосовуються у випадку, коли розглянуті вище технічні засоби не дозволяють знизити рівень вібрації до норми [30].

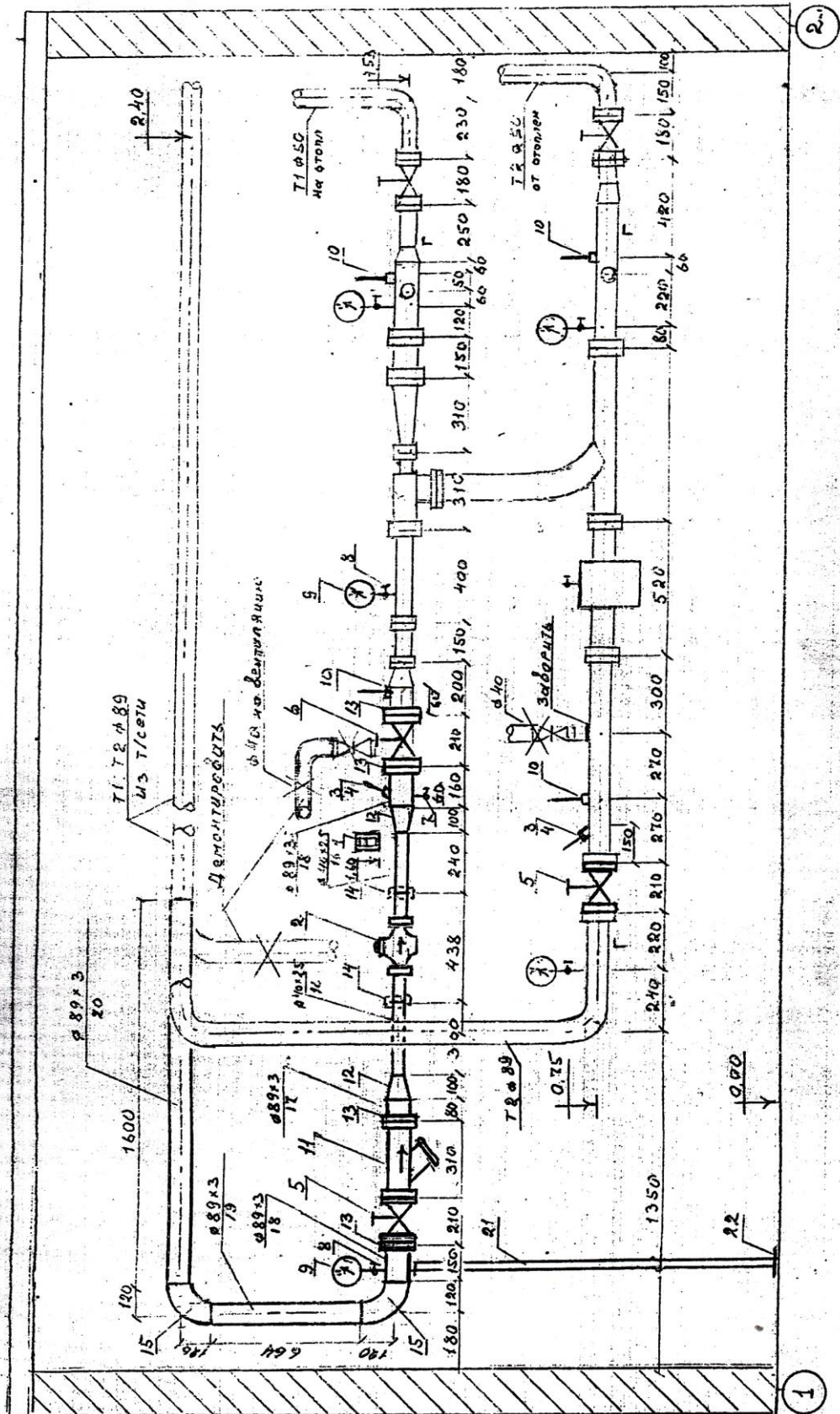
Для захисту рук використовуються рукавиці, вкладиші, прокладки. Для захисту ніг – спеціальне взуття, підметки, наколінники. Для захисту тіла – нагрудники, пояси, спеціальні костюми [30].

З метою профілактики вібраційної хвороби для працівників рекомендується спеціальний режим праці. Наприклад, при роботі з ручними інструментами загальний час роботи в контактi з вібрацією не повинен перевищувати $2/3$ робочої зміни. При цьому тривалість безперервного впливу вібрації, включаючи мікропаузи, не повинна перевищувати 15—20 хв. Передбачається ще дві регламентовані перерви для активного відпочинку [30].

Всі, хто працює з джерелами вібрації, повинні проходити медичні огляди перед вступом на роботу і періодично, не рідше 1 разу на рік [30].

ДОДАТОК Б

Схема тепловпункту Центру науково-технічної творчості молоді СМР



ДОДАТОК В

Температурний графік теплових мереж Центру науково-технічної творчості СМР




ПОГОДЖЕНО
 Директор інфраструктури міста Суми
 « 08 » лютого 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор
 ТОВ «Сумітеплоенерго»
 Василюк Д.Г.
 2020р.

ТЕМПЕРАТУРНИЙ ГРАФІК ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ
 Сумської ТЕЦ ТОВ «Сумітеплоенерго» 110-70°
 для об'єктів теплоспоживання на опалювальний сезон 2020-2021 р.р.

Температура зовнішнього повітря, °С	Температура мережної води в подаючому трубопроводі для опалення, °С	Температура мережної води в зворотному трубопроводі для опалення, °С
8	46	36
7	48	38
6	50	39
5	52	40
4	54	41
3	56	43
2	59	44
1	61	45
0	63	46
-1	65	47
-2	67	48
-3	69	49
-4	71	50
-5	73	51
-6	75	52
-7	77	53
-8	79	54
-9	81	55
-10	82	56
-11	84	57
-12	86	58
-13	88	59
-14	90	60
-15	92	61
-16	94	62
-17	96	63
-18	97	64
-19	99	65
-20	101	66
-21	103	67
-22	105	67
-23	106	68
-24	108	69
-25	110	70

Примітка: допустиме відхилення: $T_{под} = \pm 3 - 4 \text{ } ^\circ\text{C}$, $T_{звор}$ - середньодобова не вище $3 - 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ зниження $T_{звор}$ проти графіку не лімітується.

* - «Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж»

Начальник ВТВ цеху ТМІК



Демиденко В.М.

ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Система внутрішнього освітлення закладу

Тип освітлювального приладу	Потужність, Вт	Фактична кількість ламп, од
Лампа розжарювання	60	99
Люмінесцентна лампа	20	274
Світлодіодна лампа	10	35
Світлодіодний світильник	36	55

Таблиця Г.2 – Основне електроспоживаюче обладнання

Назва	Потужність, Вт	Кількість, шт	Кількість робочих годин на добу, год
Комп'ютери	400	30	4
Ноутбуки	200	5	2
Принтери	150	5	2
Масляні обігрівачі	1500	10	6
Станки	1600	25	4
Радіостанція	500	1	3

ДОДАТОК Д

Термограми із зазначенням місць втрат тепла Центру науково-технічної творчості
молоді СМР

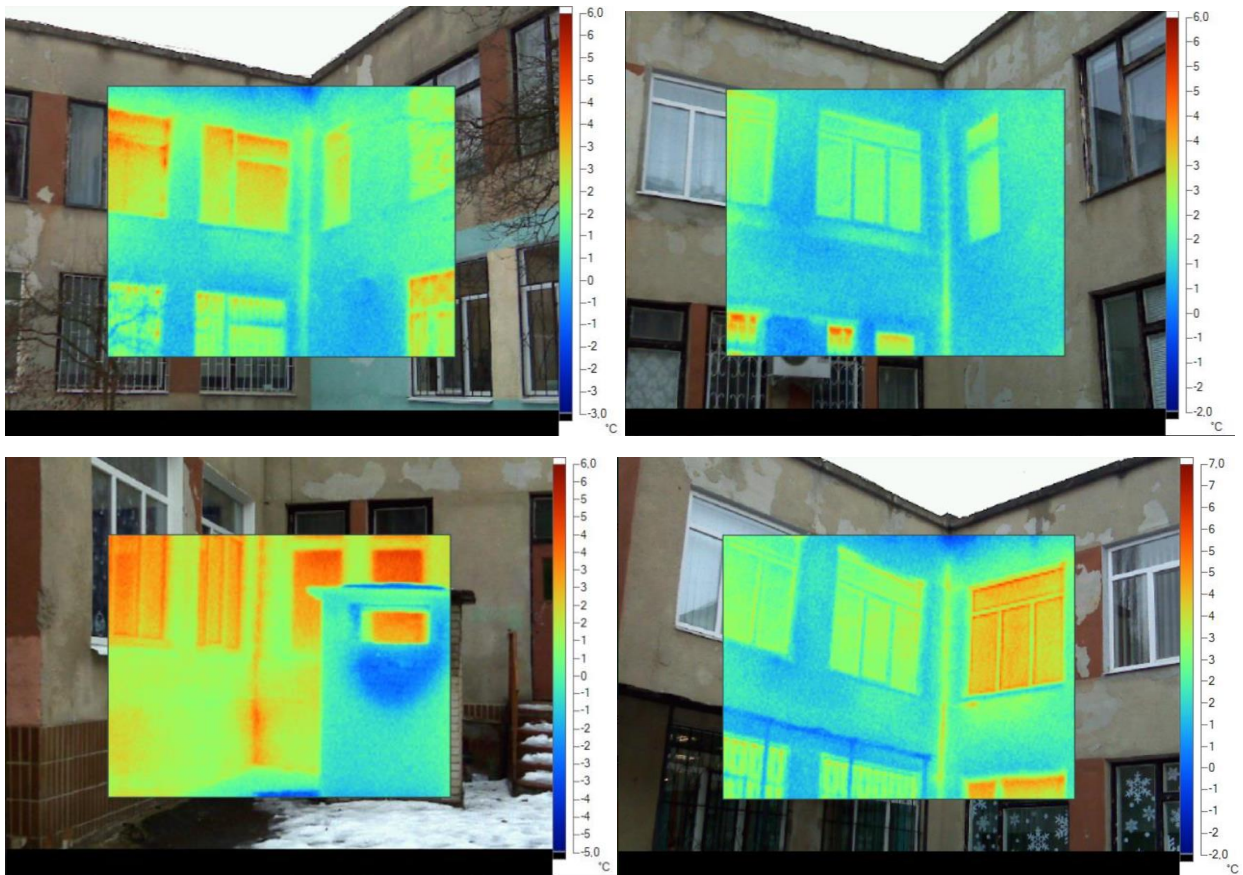
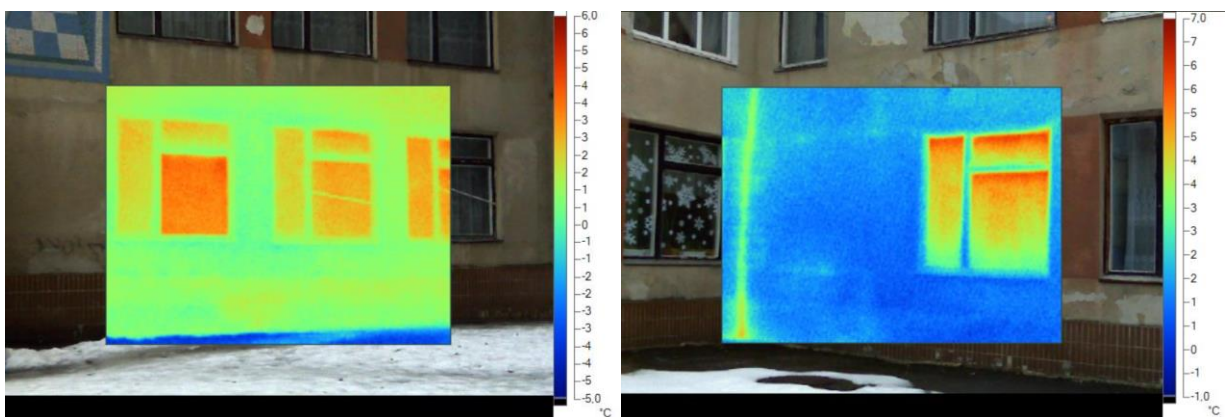


Рисунок Д.1 – Термограми кутових з'єднань стін



Продовження додатку Д

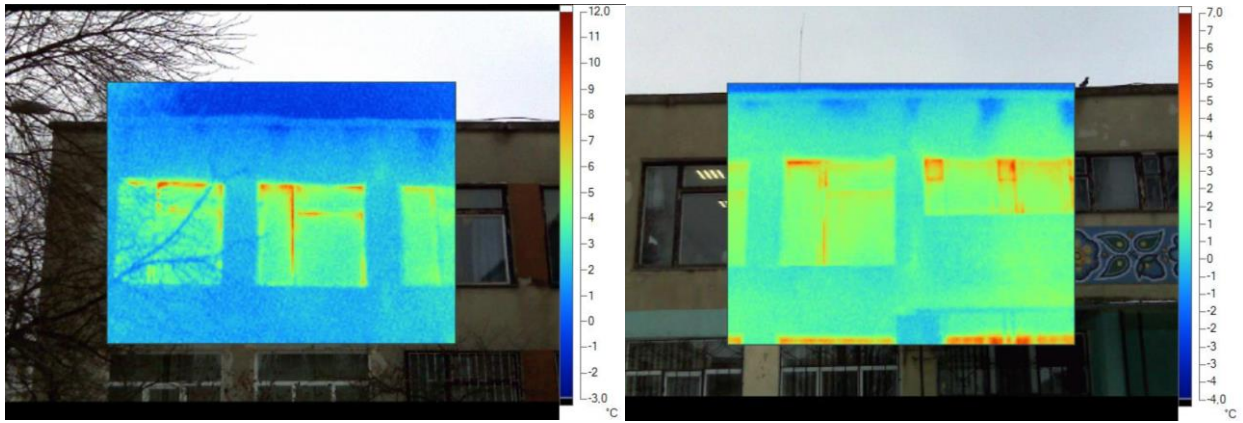


Рисунок Д.2 – Термограми застарілих конструкцій дерев'яних вікон

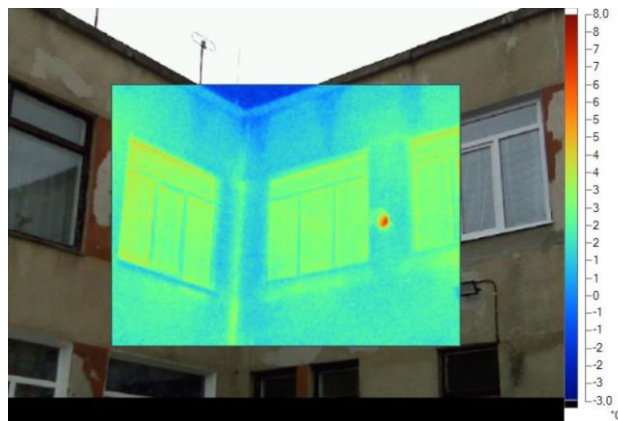


Рисунок Д.3 – Термограма втрат тепла через вентиляційні отвори в будівлі

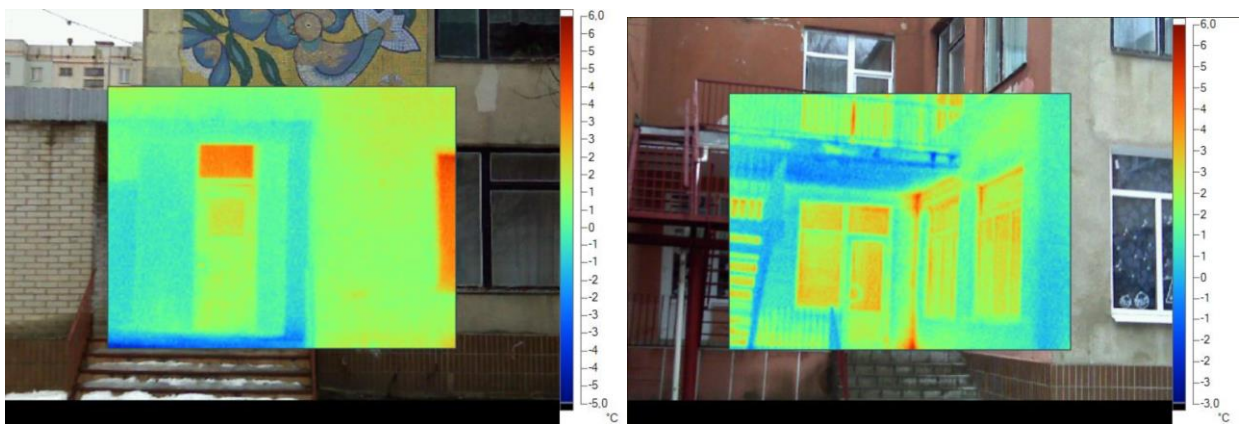
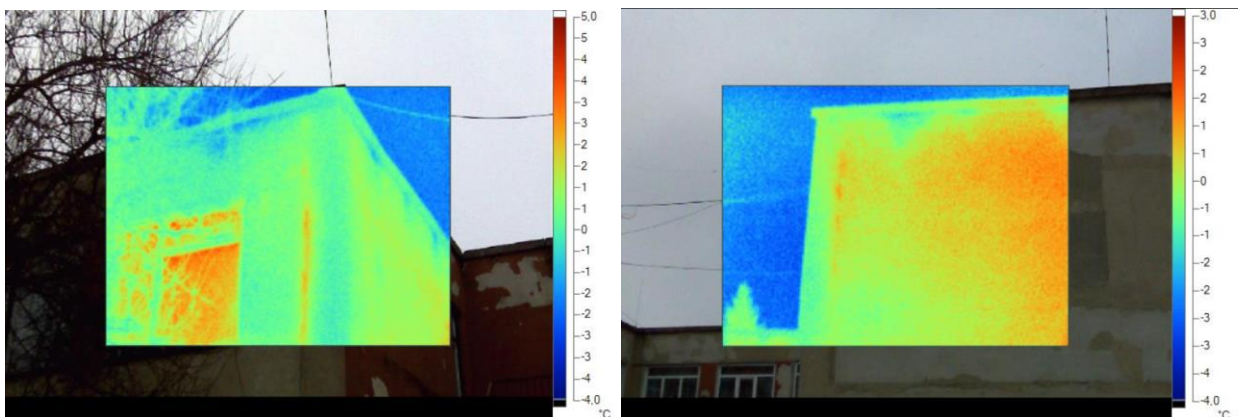


Рисунок Д.4 – Термограми дверних конструкцій



Продовження додатку Д

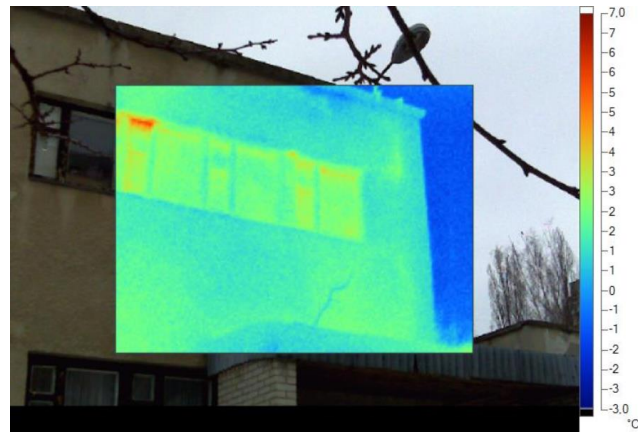


Рисунок Д.5 – Термограми впливу руйнацій на стіни

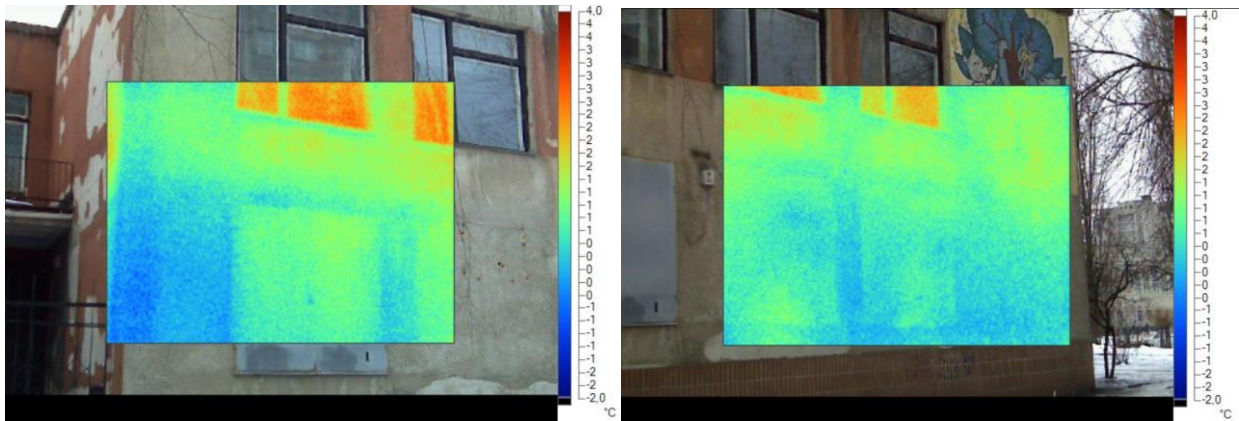


Рисунок Д.6 – Термограми тепловтрат крізь закладені віконні отвори

ДОДАТОК Ж

Таблиця Ж1 – Хід розрахунку чистого дисконтованого методу NPV (утеплення огорожувальних конструкцій – стін)

Рік	Капітальні витрати, т.грн	Грошовий потік (економія), т.грн	Чистий дохід, т.грн	Коефіцієнт дисконтування	Приведена дисконтна вартість, грн	Чистий дисконтований дохід, грн
0	-884,13	-884,13	-884,13	0	0	-884,13
1	0	111,19	-772,94	0,9	101,08	-783,05
2	0	111,19	-661,75	0,83	91,89	-691,16
3	0	111,19	-550,56	0,75	83,54	-607,62
4	0	111,19	-439,37	0,68	75,94	-531,68
5	0	111,19	-328,18	0,62	69,04	-462,64
6	0	111,19	-216,99	0,56	62,76	-399,88
7	0	111,19	-105,8	0,51	57,06	-342,82
8	0	111,19	5,39	0,47	51,87	290,95
9	0	111,19	116,58	0,42	47,16	-243,79
10	0	111,19	227,77	0,39	42,87	-200,92
11	0	111,19	338,96	0,35	38,97	-161,95
12	0	111,19	450,15	0,32	35,43	-126,52
13	0	111,19	561,34	0,29	32,21	-94,31
14	0	111,19	672,53	0,26	29,28	-65,03
15	0	111,19	783,72	0,24	26,62	-38,41
16	0	111,19	894,91	0,22	24,2	-14,21
17	0	111,19	1006,1	0,2	22	7,79
18	0	111,19	1117,29	0,18	20	27,79
19	0	111,19	1228,48	0,16	18,18	45,97
20	0	111,19	1339,67	0,15	16,53	62,5
Разом					946,63	

Продовження додатку Ж

Таблиця Ж2 – Оцінка IRR (утеплення огорожувальних конструкцій – стін)

Роки	Грошовий потік (економія), т.грн
0	-884,13
1	111,19
2	111,19
3	111,19
4	111,19
5	111,19
6	111,19
7	111,19
8	111,19
9	111,19
10	111,19
11	111,19
12	111,19
13	111,19
14	111,19
15	111,19
16	111,19
17	111,19
18	111,19
19	111,19
20	111,19
IRR	11%