

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

Нагорний Антон Олександрович

Енергетичне обстеження будівлі та систем енергопостачання КЗ
Палац дітей та юнацтва СМР та розробка заходів зі зменшення
обсягів енергоспоживання з використанням альтернативних
технологій

Кваліфікаційна робота магістра
зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»
(Енергетичний менеджмент)

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

Керівник роботи:

_____ (підпис)

Антоненко С.С.

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

доцент кафедри ПГМ

_____ (наукове звання та наукова ступінь)

Розділ 4 – Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. (Характеристика можливих небезпечних факторів, які треба враховувати при проведенні практичного дослідження за тематикою роботи)

Загальні висновки.

5 Консультанти кваліфікаційної роботи, із зазначенням розділів проекту

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях			

6 Дата видачі завдання 07.11.2022 р

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Проходження переддипломної практики	з 07.11 до 04.12.2022	
2	Захист переддипломної практики	до 08.12.2022	
3	Виконання 1-го розділу	до 21.11.2022	
4	Виконання 2-го розділу	до 05.12.2022	
5	Виконання 3-го розділу	до 18.12.2022	
6	Виконання 4-го розділу	до 21.12.2022	
7	Проходження перевірки на плагіат	до 22.12.2022	
8	Проведення захисту роботи	з 22.12 до 28.12.2022	
9			
10			

Студент-магістр

_____ (підпис)

Керівник випускної роботи

_____ (підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 65 с., 13 таблиці, 4 рисунків, 2 додатка, 23 літературних джерел.

Мета роботи: енергетичне обстеження системи тепло – та електропостачання, гарячого та холодного водопостачання і надання рекомендацій по ефективному споживанню енергоресурсів.

Відповідно до поставленої мети були вирішені такі завдання:

- характеристика об'єкту енергетичного обстеження;
- розрахунковий аналіз обстежуваної системи енергопостачання;
- розробка можливих енергозберіжних заходів.

Об'єкт дослідження – будівля Палацу дітей та юнацтва.

Предмет дослідження – системи енергопостачання та енергоспоживання будівлі Палацу дітей та юнацтва.

Методи дослідження: інструментальне вимірювання температури, економіко-математичні методи під час розробки енергозберігаючих заходів.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ, АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ, ТЕПЛОВІЗІЙНЕ ОБСТЕЖЕННЯ, ТЕПЛОВТРАТИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИЙ ЗАХІД, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

Тема роботи – Енергетичне обстеження будівлі та систем енергопостачання КЗ Палац дітей та юнацтва СМР та розробка заходів зі зменшення обсягів енергоспоживання з використанням альтернативних технологій.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ.....	8
1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження.....	8
1.2 Опис дійсного стану об'єкта енергетичного обстеження.....	9
2 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ.....	11
2.1 Аналіз обсягів споживання теплоенергії.....	11
2.2 Розрахунковий аналіз показників енергоефективності.....	13
2.2.1 Визначення питомих величин рівня енергоефективності.....	13
2.3 Розрахунковий аналіз показників енергоефективності.....	17
2.3.1 Розрахункові параметри.....	17
2.3.2 Геометричні показники.....	18
2.3.3 Розрахунок опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.....	19
2.3.4 Енергетичні показники.....	22
2.3.5 Характеристики теплопередачі трансмісії.....	24
2.3.6 Характеристики теплопередачі вентиляцією.....	26
2.3.7 Внутрішні теплонадходження.....	28
2.3.8 Сонячні теплонадходження.....	29
2.3.9 Динамічні параметри.....	36
2.3.10 Енергопотреби для опалення.....	38
2.3.11 Визначення класу енергетичної ефективності будинку.....	39
2.4 Аналіз балансу витрат на енергоспоживання.....	41
3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ.....	42
3.1 Опис можливих енергозбережних заходів.....	42
3.2 Розрахунковий аналіз можливих енергозбережних заходів.....	44

3.2.1 Утеплення огороджувальних конструкцій будівлі (стін та суміщеного перекриття).....	44
3.2.2 Встановлення системи акумулювання енергії.....	50
3.2.3 Встановлення сонячних генераторів.....	52
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	54
4.1 Характеристика досліджуваного об'єкту.....	54
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та санітарії.....	56
4.2.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони.....	56
4.2.2 Освітлення.....	57
4.2.3 Віброакустичні коливання.....	58
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТОК А	62
ДОДАТОК Б.....	63

ВСТУП

Енергоаудит (енергетичне обстеження) - це обстеження, які проводяться компаніями в різних галузях, окремих підприємств і будівлях з точки зору споживання енергії. Енергоаудит призначений для впровадження механізмів підвищення ефективності та системи енергоменеджменту усіх закладів. Енергетичний аудит проводять незалежні особи (енергоаудитори) або ж фірми, які уповноважені на це господарськими об'єктами. Він може проводитися за ініціативою суб'єктів, а також у випадках, передбачених законодавством [1-3].

Енергоаудит відіграє важливу роль в ефективному використанні енергії в промисловості, побуті та сфері послуг. Це повний інструмент оцінки споживання паливно-енергетичних ресурсів, створення управлінських впливів та оцінки ефективності цих впливів. Таким чином, енергоаудит (енергообстеження) – це постійно діючий механізм, який у режимі нон-стоп контролює, перевіряє та переглядає певні нормативи стану діючих об'єктів. Основною метою енергетичного аудиту є пошук можливостей енергозбереження і допомога господарським суб'єктам у визначенні напрямків ефективного енергозбереження.

Об'єктом енергетичного аудиту є Сумський позашкільний навчальний заклад КЗ Палац дітей та юнацтва СМР, що знаходиться за адресою вул. вул. Соборна, 37, м. Суми, Сумська область, 40030.

Призначенням даного енергетичного аудиту: оцінка рівня ефективності та реального стану систем постачання енергоресурсів в будівлі Палацу з метою скорочення їх втрат . Методом дослідження позашкільного навчального закладу є обстеження поточного стану будівлі за допомогою приладів вимірювання енергетичних даних.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного обстеження

Комунальний заклад Сумський Палац дітей та юнацтва підпорядковується Управлінню освіти і науки Сумської міської ради та повністю утримується за рахунок коштів місцевого бюджету. Будівля розташована за адресою: вул. Соборна, 37, м. Суми, Сумська область, 40030.

У закладі працює 96 працівників та виховується 4500 дітей. Нова будівля Сумського Палацу дітей та юнацтва площею забудови 2200 м² складається з трьох поверхів, технічного поверху та підвального приміщення.

У закладі встановлений семиденний робочий тиждень. Режим роботи закладу з 8⁰⁰ години до 21⁰⁰ години.

Загальний стан нової будівлі Палацу є задовільним. Стіни будівлі не мають явних пошкоджень. Встановлені вікна металопластикові з однокамерним склопакетом. Стан вентиляційної системи за час її експлуатації частково погіршився, періодично використовується система повітряної завіси на головному вході до будівлі. Природна вентиляція у приміщеннях відбувається лише за наявності нещільності в огорожувальних конструкціях та відкриванню дверей, періодично по деяких 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. Відсутність утепленого перекриття у закладі призводить до того, що температура повітря у деяких групах на останньому поверсі значно нижча, ніж у групах першого поверху, та не відповідає нормативним показникам.

1.2 Опис дійсного стану об'єкта енергетичного обстеження

Основними технічними системами, що забезпечують функціонування будівлі закладу, являються системи теплопостачання, електропостачання, водопостачання, вентиляційна система та система водовідведення (каналізації).

Теплопостачання Сумського Палацу дітей та юнацтва здійснюється централізовано згідно договору про надання послуг з централізованого опалення, який укладено з ТОВ «Сумиобленерго» договір 336 – Т від 17.05.2022 року.

Магістральні трубопроводи до будівлі, прокладені під землею та під'єднуються в тепловому пункті до головних подавальних трубопроводів. Ввід теплової мережі передбачений до теплового пункту, розміщеного у підвальному приміщенні (див. Додаток А) де є вільний доступ обслуговуючого персоналу до приладів, наявне освітлення, та відповідає вимогам Правил технічної експлуатації тепловикористовуючих устаткувань і теплових мереж. Трубопроводи тепломережі і деталі вузла обліку теплової енергії сталеві, ізольовані.

Система теплової мережі нової будівлі Сумського Палацу дітей та юнацтва двотрубна з нижньою розводкою; за напрямом з'єднання опалювальних приладів – горизонтальна.

В якості опалювальних приладів використовуються конвективні чавунні секційні радіатори типу МС-140. Опалювальні прилади розташовані під вікнами в кожному приміщенні. Доступ до опалювальних приладів необмежений.

Опалювальна площа нової будівлі закладу – 7538,1 м².

Опалювальний об'єм нової будівлі закладу – 19800 м³.

Заклад щомісячно отримує акт прийому-передачі теплової енергії, та рахунок за спожиту теплову енергію. Оплата за спожиту теплову енергію здійснюється до кінця розрахункового місяця.

Основними завданнями персоналу, що обслуговує теплопункт є :

- нагляд за технічним станом устаткування, його роботою, регулювання;
- зняття показань лічильника;
- спостереження за параметрами теплоносія з метою забезпечення надійного і якісного теплопостачання, раціонального використання енергії.

У вузлу обліку теплової енергії за технічними умовами передбачено встановлення лічильника тепла VKP-431. У теплопункті водолічильник, який під'єднаний до теплолічильника, встановлений на трубі з зовнішнім діаметром $D_{тр}$ 89 з діаметром умовного проходу D_u 80.

Всі засоби обліку спожитих енергоресурсів та води закладу визнано придатними до застосування на підставі результатів проведених повірок.

Дати останніх повірок лічильників:

- повірка лічильника тепла – 22 травня 2022 року;
- повірка лічильника води – 24 квітня 2022 року.

Повірку проведено ДП «Укрметртестстандарт».

2 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

2.1 Аналіз обсягів споживання теплоенергії

Слід зазначити, що у новій будівлі Сумському Палацу дітей та юнацтва встановлений один лічильник теплової енергії для обліку теплової енергії, яка іде на опалення.

На рисунку 2.1-2.3 приведена динаміка споживання теплової енергії, електроенергії та холодної води Палацу дітей та юнацтва за 2019–2021 роки та частково за 2022 рік.

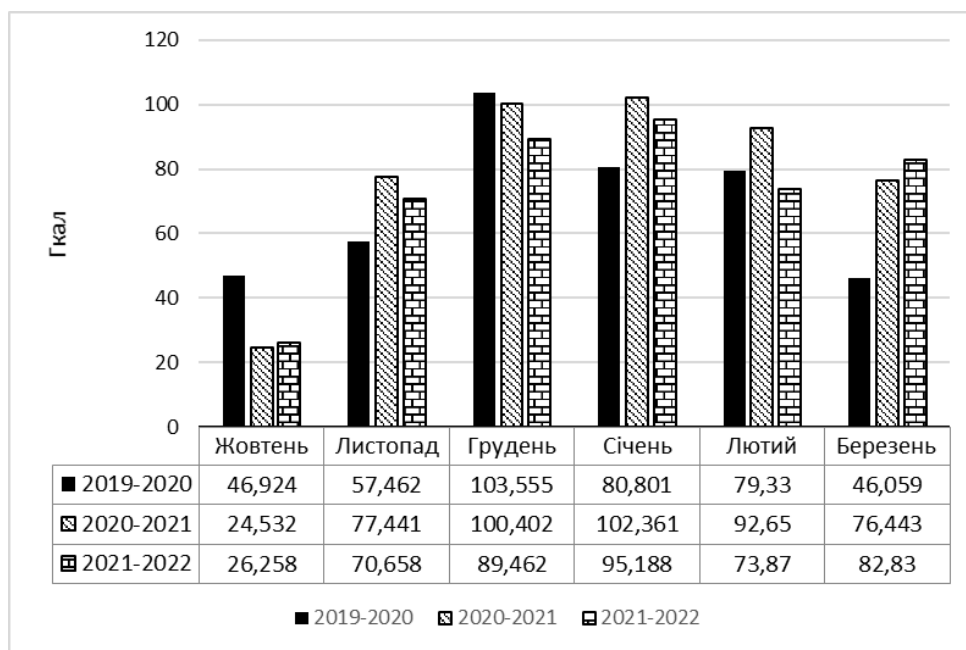


Рисунок 2.1 – Динаміка споживання теплової енергії будівлею за 2019–2022 роки

З діаграми видно, що максимум споживання теплової енергії на опалення приходить на грудень, січень і лютий, а мінімум – квітень та жовтень. Нерівномірність теплоспоживання у відповідні періоди кожного року пов'язана з різною температурою довкілля, а також, із-за неможливості у

прогнозованому споживанні обсягами теплової енергії внаслідок відсутності відповідного обладнання, яке забезпечує якісний моніторинг у керуванні режимами роботи системи тепlopостачання будівлі.

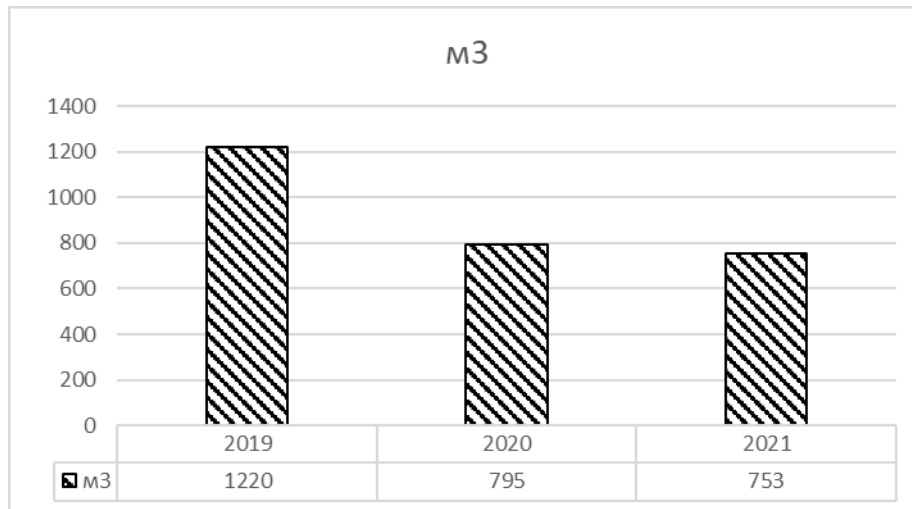


Рисунок 2.2 – Динаміка споживання води будівлею за 2019–2021 роки

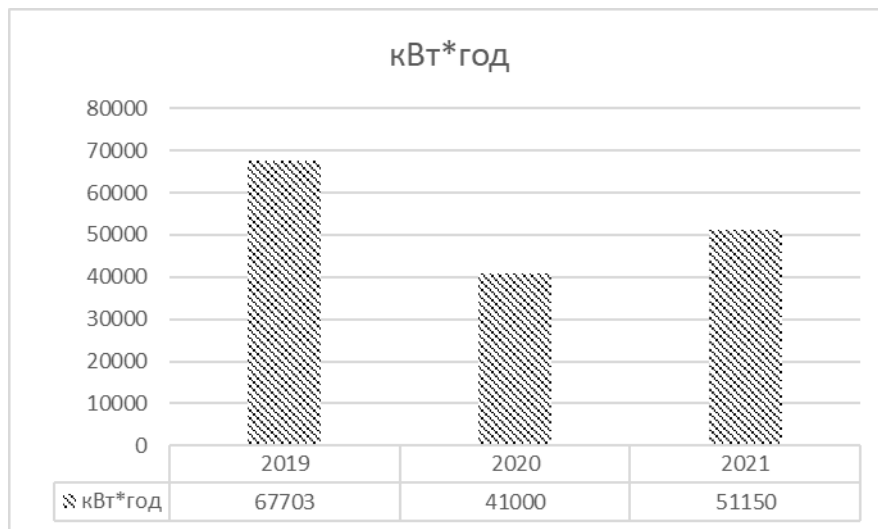


Рисунок 2.3 – Динаміка споживання електричної енергії будівлею за 2019–2021 роки

2.2 Розрахунковий аналіз показників енергоефективності

2.2.1 Визначення питомих величин рівня енергоефективності

З метою надання об'єктивного висновку про ефективність споживання теплової енергії на опалення будівлі закладу, який обстежується, необхідно провести порівняння дійсних обсягів споживання теплової енергії зі встановленими державними нормами. Аналіз ефективності системи тепlopостачання закладу необхідно проводити за фактичними величинами попередніх опалювальних періодів, у яких середньомісячні температури знаходяться у діапазоні нормованих показників [2, 3]. У подальших аналітичних розрахунках, за базовий період приймається опалювальний період 2021–2022 року.

Питома потреба (EP) – це 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 [1, п.3.24]:

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

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

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

Питома потреба на опалення будинків повинна відповідати умові [1, п.5.1]:

$$EP \leq EP_{\max}, \quad (2.2)$$

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

EP_{max} – максимально допустиме значення питомої річної енергопотреби будівлі за опалювальний період, кВт год/м³ [1, п.5.3].

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

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

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

- опалювальний період 2018–2019 рік – $Q_{оп} = 418,412$ Гкал;
- опалювальний період 2019–2020 рік – $Q_{оп} = 487,045$ Гкал;
- опалювальний період 2020–2021 рік – $Q_{оп} = 438,266$ Гкал.

Значення фактичних питомих енерговитрат за періодами опалення становлять:

- опалювальний період 2018–2019 рік – $EP = 0,021$ Гкал/м³;
- опалювальний період 2019–2020 рік – $EP = 0,025$ Гкал;
- опалювальний період 2020–2021 рік – $EP = 0,022$ Гкал/м³.

Осереднене значення показника енергоефективності будинку за визначеними опалювальними періодами становить – $EP = 0,023$ Гкал/м³.

За результатами порівняння фактичних і нормованих показників із споживання теплової енергії можна зробити наступний висновок, а саме:

Отриманий результат по будівлі менший чим нормативна умова (2.2). Але, такий результат не є наслідком ефективної роботи системи

теплопостачання або технологій з енергозбереження. За результатами першого етапу проведеного енергообстеження, встановлено, що загальний стан огорожувальних конструкцій будівлі закладу (стіни, вікна, двері) знаходяться у значно пошкодженому стані, і не відповідають сучасним вимогам з опору теплопередачі (див. табл. 2.3). Тому, у закладі підтримується мінімально допустимий рівень температури внутрішнього повітря (18⁰C) і заклад споживає в деякі періоди року занижену кількість теплоенергії для прогрівання приміщень, що не може компенсувати високі втрати теплоенергії через погіршений стан огорожувальних конструкцій. В загальному результаті не досягається постійний рівень комфортної температури за всіма приміщеннями закладу, який би відповідав діючим нормативним величинам [1].

За отриманими даними встановлено, що частина будівлі (корпус актової зали) не використовується і внаслідок цього опалення відключене в закритих приміщеннях. Це призводить до того що система опалення функціонує на мінімум для підтримання робочого стану в системі.

Також треба зазначити, що значне зменшення у споживанні теплової енергії у закладі у попередні опалювальні роки є наслідком тривалої відсутності робочого періоду закладу із-за введення карантинного режиму. Що не надає можливості максимально об'єктивно провести аналіз функціонування системи теплопостачання закладу.

Такий стан усіх технологічних і конструктивних елементів, що визначають енергетичну ефективність процесу створення і підтримки теплового балансу в будівлі, необхідно вважати таким, що потребує відповідної модернізації. Зазначений висновок, у свою чергу, визначає напрямки вибору енергозбережного заходу щодо подальшого підвищення рівня енергозбереження в обстежуваній будівлі, а саме, впровадження системи моніторингу споживання теплової енергії, але до цього необхідно обґрунтовувати вибір обладнання величинами теплотехнічного розрахунку

огороджувальних конструкцій, і результатами зібраної інформації проведених відповідних вимірювань.

Необхідно провести порівняння річного питомого споживання електричної енергії по будівлі з нормованим значенням відповідно до норм витрат електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України [4, табл. 8.7].

Для будівлі палацу осереднене фактичне питоме споживання електричної енергії становить – 67 кВт·год у рік на місце.

Згідно з нормативним показником, величина споживання електричної енергії для навчальних та лабораторних корпусів вищих і середніх спеціальних навчальних закладів у Сумській області 219 кВт·год на місце.

Фактичне значення не перевищує нормоване, що є добрим показником.

Витрати води у будівлі залежать від кількості присутніх осіб, технічних потреб, пори року. За відомими величинами витрат води і відомій кількості осіб у будівлях визначено питомі показники витрат холодної води на одну особу за добу, які можна порівняти з нормативними величинами споживання холодної води на одну особу відповідно до [5 таблиця А.2 поз.7]: «Розрахункові (питомі) середні за рік добові витрати води, л/добу, для навчальних закладів (спеціальних, санаторних), будинків дитини, дошкільних дитячих будинків із денним перебуванням дітей, загальна кількість води на 1 дитину – 40 л/добу.

Значення середніх фактичних питомих витрат холодної води по навчальному закладу на одну особу, л/добу, за річний період роботи закладу – 354 доби, становлять – 21,27 л/добу

Порівняння норми витрат води і фактичних величин витрат показує, що вони не перевищують нормовані.

2.3 Розрахунковий аналіз показників енергоефективності

Для оцінки енергоефективності будівлі Палацу дітей та юнацтва подальші розрахунки розроблені згідно державних норм ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні», ДСТУ Б EN ISO 13790, ДБН В 2.6-31:2016 та складається за формою, яка наведена у ДБН 2.6-31:2016

Мета розрахунку – оцінка енергетичної ефективності будівлі на момент обстеження, та економічна доцільність запровадження енергозберігаючих заходів.

2.3.1 Розрахункові параметри

Кліматичні умови для м. Суми наведено у Таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Кліматичні умови для м. Суми

Розрахункова температура внутрішнього повітря [1, Додаток В];	$t_{в}$	+21°C
Відносна вологість	$\varphi_{в}$	55%
Вологісний режим приміщень	нормальний	
Температурна зона	I	
Середня температура повітря протягом опалювального періоду	$t_{з.сер.}$	-1,0°C
Температура зовнішня в найхолоднішу п'ятиденку	$t_{з}$	-25 °C
Кількість градусо-днів опалювального періоду для першої температурної зони		3501°C-днів
Тривалість опалювального періоду [2, табл.2]	$\zeta_{оп}$	187 днів
Вологісні умови експлуатації матеріалів огороджувальних конструкцій		Б

2.3.2 Геометричні показники

Площі зовнішніх огорожувальних конструкцій, опалювана площа, опалюваний об'єм, необхідні для розрахунку. Визначається на основі натурних обстежень з застосуванням правил їх визначення на підставі вимог розділу 3 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [6] і розділу 3 ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 [7], а також примітки 1÷5 п. А.2.5 ДБН В.2.6-31:2016 [1].

Таблиця 2.2 – Площі зовнішніх огорожень будинку

Вид огорожувальної конструкції	Загальна площа, м ²
Зовнішні стіни (стіни будівлі та цоколь)	2080,6
Підлога по ґрунту	2200
Світлопрозорі конструкції, F_{wi}	416
Вхідні двері в будинок, F_{fdi}	15
Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку, F_{Σ} , м ²	2496,6

Розрахунок проводиться однозоновий. Опалювальна площа будівлі становить $F = 7538,1 \text{ м}^2$. Опалювальний об'єм будівлі становить $V = 19800 \text{ м}^3$. Задана температура на опалення будівлі становить $\theta_{int,H,set} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт скління фасадів будинку:

$$g_0=0,2$$

2.3.3 Розрахунок опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

Для розрахунку прийнято, що приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій прийнято за результатами теплотехнічного розрахунку.

Приведений опір теплопередачі дійсних огорожувальних конструкцій $R_{\Sigma пр}$, $m^2 \cdot K/Вт$ повинний бути не менше за вимогами значень $R_{q_{min}}$ які визначаються виходячи із санітарно-гігієнічних та комфортних умов і умов енергозбереження.

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

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q_{min}}, \quad (2.3)$$

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

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

Мінімально допустиме значення, $R_{q_{min}}$, опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій, дверей та воріт громадських будинків встановлюється залежно від температурної зони експлуатації будинку, тепловологісного режиму внутрішнього середовища.

Термічний опір i -го шару конструкції, що розраховується за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}, \quad (2.4)$$

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

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

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

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (2.5)$$

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

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м²·К);

n – кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку;

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

Якщо $R_{\Sigma np} < R_{q_{\min}}$ – теплозахисні властивості зовнішніх огорожень незадовільні, що вимагає впровадження енергозберігаючих заходів щодо збільшення їхнього опору теплопередачі.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

№ п/п	Найменування конструктивного елемента	Матеріал шару	Товщина шару, $\delta_i, \text{м}$	Теплопровідність $\lambda_i, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$R_{\Sigma \text{пр}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$R_{q \text{min}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
1	Стіни	Кладка білої цегли	0,51	0,81	0,85	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,03	0,81		
		Цементна стяжка	0,03	1,40		
2	Суміщене покриття	Залізобетонна плита	0,22	1,92	0,37	5,35
		Цементна стяжка	0,05	0,81		
3	Вікна	Металопластикові з однокамерним склопакетом	–	–	0,64	0,75
4	Підлога	Залізобетонна плита	0,22	1,92	0,44	3,75
		Розчин цементно-піщаний	0,05	1,40		
		Керамічна плитка	0,01	1,10		

Приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку $k_{\Sigma \text{пр}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, визначається за формулою [8]:

$$k_{\Sigma \text{пр}} = \xi \frac{\left(\frac{F_{\text{нп}}}{R_{\Sigma \text{пр.нп}}} + \frac{F_{\text{сп}}}{R_{\Sigma \text{пр.сп}}} + \frac{F_{\text{д}}}{R_{\Sigma \text{пр.д}}} + \frac{F_{\text{пк}}}{R_{\Sigma \text{пр.пк}}} \right)}{F_{\Sigma}}, \quad (2.6)$$

де $\xi = 1,1$ - коефіцієнт, що враховує додаткові тепловитрати, що пов'язані з орієнтацією огорожень за сторонами світу, наявністю кутових приміщень, надходженням холодного повітря через входи в будинок;

$R_{\Sigma\text{прп}}, R_{\Sigma\text{прсп}}, R_{\Sigma\text{прд}}, R_{\Sigma\text{прк}}$ – приведений опір теплопередачі стін (непрозорих частин), світлопрозорих конструкцій (вікон), зовнішніх входних дверей, воріт, покриттів, горищних перекриттів, $(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$, що для непрозорих елементів визначають згідно з ДСТУ Б В.2.6-189 [9];

F_{Σ} - загальна площа внутрішньої поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій.

$$k_{\Sigma\text{пр}} = 1,1 \cdot \frac{\left(\frac{2080,6}{0,85} + \frac{2200}{0,37} + \frac{416}{0,64} + \frac{2200}{0,44}\right)}{2496,6} = 6,18 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

2.3.4 Енергетичні показники

Розрахункові витрати теплової енергії $Q_{\text{рік}}$ (кВт·год), визначаються за формулою[8]:

$$Q_{\text{рік}} = [Q_{\text{к}} - (Q_{\text{вн п}} + Q_{\text{s}}) \cdot v \cdot \zeta] \cdot \beta_{\text{н}}, \quad (2.7)$$

де $Q_{\text{к}}$ - загальні тепловтрати будинку через огорожувальну оболонку, кВт·рік [8, п.5.3];

$Q_{\text{вн п}}$ - побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, кВт·год, визначаються [8, п. 5.8];

Q_{s} - теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, кВт·год [8, п. 5.9];

v - коефіцієнт, що враховує здатність огорожувальних конструкцій будинків акумулювати або віддавати тепло при періодичному тепловому режимі і визначається згідно з ДБН В.2.5-24 [10]; за відсутності точних даних слід приймати $v = 0,8$;

ζ - коефіцієнт авторегулювання подачі тепла в системах опалення; значення що рекомендуються:

$\zeta=0,5$ - у системі без термостатів та без авторегулювання на ІТП (регулювання центральне в ІТП або котельні);

β_h - коефіцієнт, що враховує додаткове теплоспоживання системи опалення, пов'язане з дискретністю номінального теплового потоку номенклатурного ряду опалювальних приладів додатковими тепловтратами через за радіаторні ділянки огорожень, тепловтратами трубопроводів, що проходять через неопалювані приміщення: для багатосекційних та інших протяжних будинків $\beta_h=1,13$, для будинків баштового типу $\beta_h=1,11$.

Загальні тепловтрати будинку через огорожувальну оболонку за опалювальний період визначаються за формулою:

$$Q_k = \chi_1 \cdot K_{\text{буд}} \cdot D_d \cdot F_{\Sigma}, \quad (2.8)$$

де χ_1 – розмірний коефіцієнт 0,024;

D_d – кількість градусо-днів опалювального періоду, що визначається залежно від температурної зони експлуатації. Приймається:

$$D_d = (t_b + t_{\text{оп з}}) z_{\text{оп}} = (21+(-1)) \cdot 187 = 4114^{\circ}\text{C} \cdot \text{дн}$$

де F_{Σ} – загальна площа внутрішньої поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій $F_{\Sigma}=2496,6 \text{ м}^2$;

$$Q_k = 0,024 \cdot 6,18 \cdot 4114 \cdot 2496,6 = 1,52 \cdot 10^5 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

2.3.5 Характеристики теплопередачі трансмісії

Сумарна теплопередача трансмісією визначається за формулою[6]:

$$Q_{tr.adj} = N_{tr.adj} \cdot (\theta_{int.H.set} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.9)$$

Узагальнені коефіцієнти теплопередачі трансмісією визначаються за формулою[6]:

$$N_{tr.adj} = N_d + N_g + N_u + N_a, \quad (2.10)$$

де $N_{tr.adj}$ - загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією зони, Вт/К, встановлений для різниці температур всередині-зовні [6];

$\theta_{int.H.set}$ - задана температура для опалення s-го об'єму, °С, для приміщень навчальних закладів +21°С;

θ_e - середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С [2, табл.А2]

для м. Суми: I-(-6,6), II-(-5,5), III-(-0,8), IV-(+8,1), V-(+14,6), VI-(+17,9), VII- (+19,5), VIII-(+18,4), IX – (+13,0), X – (+6,7), XI – (+0,4), XII – (-4,3);

t - тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год

для м. Суми: I-(744), II-(672), III-(744), IV-(720), V-(744), VI-(720), VII-(744), VIII-(744), IX – (720), X – (744), XI – (720), XII – (744);

$$N_x = b_{tr,x} \sum F_i U_i, \quad (2.11)$$

де F_i – площа i-го елемента оболонки будівлі, м²;

U_i – коефіцієнт теплопередачі i-го елемента оболонки будівлі, Вт/(м²·К), що становить $U_i = 1/R_{\Sigma i}$ [6];

$R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі і-го елемента оболонки будівлі, $m^2 \cdot K/Wt$, що для непрозорих елементів [9];

$b_{tr, x}$ – поправочний коефіцієнт, що становить:

– $b_{tr, x} = 1$ – при розрахунках H_D ;

– $b_{tr, x} \neq 1$ при розрахунках H_g, H_u, H_A (визначається)

H_D - безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Wt/K ;

H_g - стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Wt/K ;

H_u - узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Wt/K ;

H_A - узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Wt/K .

Значення приведенного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій та об'ємно-планувальні показники приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення приведенного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій та об'ємно-планувальні показники центральної частини будівлі

Вид огорожувальної конструкції	F_i, m^2	$R_{\Sigma}, m^2 \cdot K/Wt$	$U, Wt/(m^2K)$	$H_x, Wt/K$
Зовнішні стіни	2080,6	0,85	1,18	2603
Світлопрозорі конструкції	616	0,64	1,56	962
Суміщені перекриття	2200	0,37	2,70	5945
				$H_D=9510$
Підлога	2200	0,44	2,27	5000
				$H_g = 5000$

Сумарна тепловіддача для опалення $Q_{tr.adj}$ розрахована трансмісією згідно з формулами та для кожного місяця і приведена в таблиці 2.6.

Загальний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією при опаленні:

$$N_{tr,adj H} = N_d + N_g + N_u + N_A = 14510 \frac{Вт}{К}$$

2.3.6 Характеристики теплопередачі вентиляцією

Вентиляція в будинку припливно-витяжна з природним спонуканням. Приплив повітря здійснюється через вікна, видалення – через вентиляційні канали.

Сумарна теплопередача вентиляцією [6]:

$$Q_{ve,adj} = N_{ve,adj} (\theta_{int.H.set} - \theta_e) t, \quad (2.12)$$

де $N_{ve,adj}$ - загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$\theta_{int,set,H}$ – задана температура зони будівлі для опалення, °С;

для приміщень навчальних закладів +21°С;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С [2, табл.А2]

для м. Суми: I-(-6,6), II-(-5,5), III-(-0,8), IV-(+8,1), V-(+14,6), VI-(+17,9), VII-(+19,5), VIII-(+18,4), IX – (+13,0), X – (+6,7), XI – (+0,4), XII – (-4,3);

t – тривалість місяця, для якого проводиться розрахунок, год.

для м. Суми: I-(744), II-(672), III-(744), IV-(720), V-(744), VI-(720), VII-(744), VIII-(744), IX – (720), X – (744), XI – (720), XII – (744).

Узагальнені коефіцієнти теплопередачі вентиляцією: значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією $N_{ve,adj}$, Вт/К, розраховують за формулою [6]:

$$N_{ve.adj} = \rho_a c_a (\sum_k b_{ve,k} * q_{ve,k,mn}), \quad (2.13)$$

де $\rho_a c_a$ - теплоємність повітря одиниці об'єму, дорівнює 0,33 Вт·год/(м³·К) [6];

$b_{ve,k}$ – температурний поправочний коефіцієнт для k -го елемента повітряного потоку, зі значенням $b_{ve,k} \neq 1$, якщо температура припливного повітря $\theta_{sup,k}$ не дорівнює температурі зовнішнього середовища, як у випадку попереднього нагріву, попереднього охолодження чи утилізації теплоти [6];

$q_{ve,k,mn}$ - усереднена за часом витрата повітря від k -го елемента, м³/год.

Усереднену за часом витрату повітря k -го елемента повітряного потоку $q_{ve,k,mn}$, м³/год, розраховують за формулою [6]:

$$q_{ve,inf,mn} = f_{ve,k,mn} q_{ve,k}, \quad (2.14)$$

де $q_{ve,k}$ – витрата повітря k -го елемента повітряного потоку, м³/год, визначають за проектними даними або за результатами випробувань згідно з ДСТУ Б В.2.2-19;

$f_{ve,k,mn}$ – частка роботи k -го елемента повітряного потоку, розрахованого як частка від загальної кількості годин на добу (повний час: $f_{ve,k,mn} = 1$), яку визначають з того ж джерела, що і $q_{ve,k}$

Результати зведемо в таблицю 2.6

Загальні тепловтрати складаються з суми трансмісійних на вентиляційних витрат:

$$Q_{ht} = Q_{tr.adj} + Q_{ve.adj}, \quad (2.15)$$

Зафіксуємо загальні тепловтрати по кожному місяцю в таблиці 2.6.

2.3.7 Внутрішні теплонадходження

Внутрішні теплонадходження, теплонадходження від внутрішніх теплових джерел, включаючи від'ємні теплонадходження (розсіяна теплота від внутрішнього середовища до холодних джерел або «стоки»), складаються з будь-якої теплоти, що створюється в кондиціонованому об'ємі внутрішніми джерелами, крім тієї, що навмисно використовується для опалення, охолодження або ГВЛ.

Внутрішні теплонадходження включають в себе:

- метаболічну теплоту від людей, $\Phi_{int,oc}$;
- теплоту, розсіяну від освітлювальних приладів, $\Phi_{int,L}$;
- теплоту від обладнання, $\Phi_{int,A}$.

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі, що розглядається, Q_{int} , Вт·год, для визначеного місяця розраховують за формулою:

$$Q_{int} = (\sum \Phi_{int,mn,k} \cdot F_f) \cdot t, \quad (2.16)$$

де $\Phi_{int,mn,k}$ - усереднений за часом тепловий потік від k -го внутрішнього джерела, Вт/м²;

F_f - опалювальна площа будівлі, м²;

t – тривалість періоду використання, виражена у годинах на місяць.

Типові дані щодо внутрішніх теплонадходжень наведені у [11, табл 6] і становить для будівлі:

- Графік використання- 50 год/тиждень;
- Метаболічна теплота $\Phi_{int,oc}$, - 7 Вт/м²;
- Освітлення $\Phi_{int,L}$ – 7,0 Вт/м²;
- Обладнання $\Phi_{int,A}$ - 6,0 Вт/м²

$$\Phi_{int,mn,k} = n/N \cdot (\Phi_{int,oc} + \Phi_{int,L} + \Phi_{int,A}), \quad (2.17)$$

де n – графік використання, год/тиждень;

N – кількість опалювальних днів [2]; для Сум – 187 діб

$$\Phi_{\text{int,mn,k}} = 91/187 \cdot (7+7+6) = 9,73 \text{ Вт/м}^2$$

Зафіксуємо теплонадходження від внутрішніх теплових джерел по кожному місяцю в таблиці 2.6.

2.3.8 Сонячні теплонадходження

Джерелом теплових надходжень від сонця є сонячна радіація, режим якої характерний у даній місцевості та визначається орієнтацією сприймаючих поверхонь, постійним чи рухомим затіненням, пропусканням та поглинанням сонячної енергії й характеристиками теплопередачі сприймаючих поверхонь. Коефіцієнт, що включає характеристики та площу сприймаючих поверхонь (включно з впливом затінення), називається еквівалентною площею інсоляції. Теплонадходження від сонця до зони будівлі, що розглядається, для кожного місяця Q_{sol} , Вт·год, розраховують за формулою [6]:

$$Q_{\text{sol}} = (\sum \Phi_{\text{sol,mn,k}}) \cdot t, \quad (2.18)$$

де $\Phi_{\text{sol,mn,k}}$ – усереднений за часом тепловий потік від k -го джерела сонячного випромінювання, Вт [6];

t – тривалість місяця, що розглядається, виражена у годинах.

Сонячні теплонадходження через k -ий елемент будівлі, Вт, визначають за формулою [6]:

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}, \quad (2.19)$$

де $F_{sh,ob,k}$ – понижувальний коефіцієнт затінення перешкодами для еквівалентної площі інсоляції k -ої поверхні [6];

Понижувальний коефіцієнт зовнішнього затінення F_{sh0} , який знаходиться в межах від 0 до 1, показує зниження кількості падаючого сонячного випромінювання через постійне затінення поверхні, що розглядається, яке спричиняється:

- іншими будівлями;
- топографією (пагорбами, деревами тощо);
- завісами;
- іншими елементами самої будівлі;
- зовнішніми частинами стіни, куди встановлений застеклений елемент.

За відсутності затінення перешкодами $F_{sh,0}=1$.

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, m^2 [6];

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності $Вт/м^2$ [6];

Середньомісячна сонячна радіація на відповідні площини визначена і наведена в таблиці 2.5.

$F_{r,k}$ – коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом, який приймають: $F_{r,k} = 1$ – для незатіненого горизонтального даху, $F_{r,k} = 0,5$ – для незатіненої вертикальної стіни [6];

$\Phi_{r,k}$ – додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від k -го елемента будівлі [6].

Еквівалентну площу інсоляції застекленого елемента оболонки (наприклад, вікна) A_{sol} , m^2 , розраховують за формулою [6]:

$$A_{sol,k} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,p}, \quad (2.20)$$

де $F_{sh,gl}$ - понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів. У випадку відсутності засобів рухомого затінення $= 1$ [6];

$$F_{sh,gl} = ((1 - f_{sh,gl}) \cdot g_{gl} + f_{sh,gl} \cdot g_{gl+sh}) / g_{gl}, \quad (2.21)$$

g_{gl} - загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини елемента [6].

Загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини визначають згідно з формулою [6]:

$$g_{gi} = F_w \cdot g_n, \quad (2.22)$$

де F_w - поправочний коефіцієнт для нерозсіювального скління, приймають $F_w = 1$ [6].

Світлопрозорі конструкції, що використовуються для застосування будинку, - віконні блоки на основі ПВХ-профілів із застосуванням однокамерними склопакетами з енергозберігаючим покриттям на внутрішньому склі. Для даного типу скління коефіцієнт загального пропускання сонячної енергії при нормальному куті падіння становить $g_n = 0,85$ [6].

Загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини становить:

$$g_{gi} = 1 \cdot 0,85 = 0,85.$$

g_{gl+sh} - загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії скління за наявності сонячного затінення, визначають множенням g_{gi} на понижувальний коефіцієнт, що залежить від типу рухомого затінення;

В якості рухомих засобів затінення передбачено, що використовуються венеціанські завіси і (понижувальний коефіцієнт дорівнює 0,1) [6].

Відповідно понижувальний коефіцієнт затінення для засобів рухомого затінення визначають згідно з формулою:

$$g_{gl+sh} = 0,85 \cdot 0,95 = 0,805.$$

F_f - частка площі обрамлення, відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції заскленого елемента [6];

Частка обрамлення становить $F_f = 0,3$ [6].

$A_{w,p}$ - загальна площа проекції заскленого елемента (напр. площа вікна), m^2 .

$$A_{w,p,Пн}=204 \text{ м}^2$$

$$A_{w,p,Cx}=104 \text{ м}^2;$$

$$A_{w,p,Пд}=260 \text{ м}^2;$$

$$A_{w,p,3x}=48 \text{ м}^2;$$

Для вікон чи інших засклених елементів оболонки з нерозсіювальним склінням коефіцієнт пропускання сонячної енергії для випромінювання, перпендикулярного до скління необхідно розраховувати з урахуванням оптичних властивостей багат шарового скління.

Через те, що осереднений за часом загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії – це параметр, значення якого дещо нижче за, то для його обчислення використовують поправочний коефіцієнт, як наведено у формулі [6]:

$$g_{gl} = F_w \cdot g_n, \quad (2.23)$$

де F_w - поправочний коефіцієнт для нерозсіюючого скління, приймають $F_w=0,90$ [6].

Еквівалентну площу інсоляції непрозорої частини оболонки будівлі A_{sol} , m^2 , розраховують за формулою [6]:

$$A_{sol,k} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c$$

де $\alpha_{s,c}$ - безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною [6].

R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини, $m^2 \cdot K/Вт$, приймають $0,043 m^2 \cdot K/Вт$ [6];

U_c – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини, $Вт/(m^2 \cdot K)$, що становить $U_s=1/R_{\Sigma pri}=1/0,81 m^2 \cdot K/Вт=1,24$ прошарком та вентильованих горищних покриттів значення U_c необхідно помножити на коефіцієнт $0,04$ [6];

A_c - площа проекції елемента, m^2 ;

Непрозорі елементи, які піддаються інсоляції, - це зовнішні стіни чотирьох фасадів та покрівля. Площа непрозорих елементів згідно з проектними даними становить:

$$A_{w,p,Пн} = 701 m^2;$$

$$A_{w,p,Cx} = 609 m^2;$$

$$A_{w,p,Пд} = 357 m^2;$$

$$A_{w,p,3x} = 413 m^2;$$

Додатковий тепловий потік за рахунок теплового випромінювання в атмосферу для відповідного елемента оболонки будівлі Φ_r , $Вт$, визначають за формулою [6]:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}, \quad (2.24)$$

де h_r - коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні, $Вт/(m^2 \cdot K)$ [6];

$\Delta\theta_{er}$ - середня різниця між температурою зовнішнього повітря та уявною температурою атмосфери, $^{\circ}C$, для помірних широт приймають $\Delta\theta_{er}=11^{\circ}C$ [6].

Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні h_r , $Вт/(m^2 \cdot K)$, може бути наближено розрахований за формулою [6]:

$$h_r = 4\varepsilon \cdot \sigma(\theta_{ss} + 273)^3, \quad (2.25)$$

де ε - коефіцієнт поглинання теплового випромінювання зовнішньою поверхнею огороження, приймають за довідковими даними залежно від її типу; для цегли силікатної $\varepsilon = 0,9$ [6];

σ - стала Стефана-Больцмана: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$;

θ_{ss} - середньоарифметичне значення поверхневої температури та температури атмосферної [6].

При першому наближенні h_r приймають $5 \varepsilon \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, що відповідає середній температурі $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$h_r = 5 \cdot 0,9 = 4,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}).$$

Теплове випромінювання в атмосферу від непрозорих елементів розраховують з урахуванням коефіцієнту форми між елементом будівлі та небосхилом. Результати розрахунків приведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Кліматичні дані та характеристики внутрішніх і сонячних теплонадходжень центральної частини будівлі

Місяць коку	Параметри							
	θ_e , °C	t, год	$I_{sol,Пн}$ Вт/м ²	$I_{sol,Сх}$ Вт/м ²	$I_{sol,Пд}$ Вт/м ²	$I_{sol,Зх}$ Вт/м ²	Q_{sol} кВт·год	Q_{int} кВт·год
січень	-6,6	744	12	19	44	20	4165	29228
лютий	-5,5	672	24	36	75	40	5920	26400
березень	-0,8	744	33	60	97	63	8758	29228
квітень	8,1	720	39	81	97	77	8422	23571
травень	14,6	744	56	107	103	101	11473	29228
червень	17,9	720	64	115	97	107	11748	28285
липень	19,5	744	60	113	100	109	11887	29228
серпень	18,4	744	44	100	112	95	11961	28285
вересень	13,0	720	28	76	113	72	11522	29228
жовтень	6,7	744	18	42	87	40	7099	23571
листопад	0,4	720	10	19	46	19	4079	28285
грудень	-4,3	744	9	14	37	15	3137	29228

2.3.9 Динамічні параметри

Динамічний метод моделює теплові опори, теплоємності, теплонадходження від сонця та внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі. У методиці згідно з цим стандартом, динамічні впливи враховують шляхом введення коефіцієнта використання надходжень для опалення та коефіцієнта використання втрат для охолодження. Вплив інерції у випадку переривчастого опалення чи його вимкнення враховується окремо.

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти, , та числового параметра , який залежить від інерції будівлі, як наведено у формулах [6]:

$$\text{якщо } \gamma_n > 0 \text{ та } \gamma_n \neq 1: \quad \eta_{\text{gn}} = (1 - \gamma_n^{a_n}) / (1 - \gamma_n^{a_n+1}); \quad (2.26)$$

$$\text{якщо } \gamma_n = 1: \quad \eta_{\text{gn}} = a_n / (a_n + 1); \quad (2.27)$$

$$\text{якщо } \gamma_n < 0 \text{ та } Q_{\text{n,gn}} > 0 \quad \eta_{\text{gn}} = 1 / \gamma_n; \quad (2.28)$$

$$\text{якщо } \gamma_n \leq 0 \text{ та } Q_{\text{n,gn}} \leq 0 \quad \eta_{\text{gn}} = 1; \quad (2.29)$$

$$\text{при:} \quad \gamma_n = Q_{\text{n,gn}} / Q_{\text{n,ht}} \quad (2.30)$$

де (для кожного місяця та для кожної зони будівлі):

γ_n – безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення [6];

$Q_{\text{n,ht}}$ – сумарна теплопередача для режиму опалення, Вт·год [6];

$$Q_{\text{n,ht}} = 1899302 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$Q_{\text{n,gn}}$ – сумарні теплонадходження для режиму опалення, Вт·год [6];

$$Q_{\text{n,gn}} = 433949,8 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

a_n – безрозмірний числовий параметр, що залежить від часової константи будівлі, τ_n , визначений за формулою [6]:

$$a_n = a_{n,0} + \tau / \tau_{n,0}, \quad (2.31)$$

де $a_{n,0}$ - довідкова часова константа, що приймають рівною 1,0 [6].

τ - часова константа зони будівлі, год [6];

$\tau_{n,0}$ - довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год [6].

$$a_H = 1 + 35,94/15 = 3,40$$

Часова константа зони будівлі τ , год, характеризує внутрішню теплову інерцію кондиціонованої зони, як для періоду опалення, так і для періоду охолодження. Її розраховують за формулою [6]:

$$\tau = C_T / (N_{tr,adj} + N_{ve,adj} + N_{ve,extra,adj}), \quad (2.32)$$

де C_T - внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт·год /К [6];

$N_{tr,adj}$ - репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К [6];

$N_{ve,adj}$ - репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К [6].

$N_{ve,extra,adj}$ - репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції від нічного та/або природного охолодження, Вт/К, приймають = 0 [6].

Репрезентативні значення $N_{tr,adj}$ і $N_{ve,adj}$ – є значеннями, що є показовими для домінуючого сезону опалення: місячні величини для січня.

Внутрішню теплоємність будівлі або зони будівлі, C_m , Вт·год/К, розраховують за формулою [6]:

$$C_T = C \cdot F_f, \quad (2.33)$$

де C – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі на одиницю площі, Вт·год/(м²·К) [6];

Будівля є важкою, відповідно внутрішня теплоємність будівлі на одиницю площі становить $C = 80$ Вт·год/(м²·К).

F_f – опалювальна площа будівлі або зони будівлі, м².

$$F_f = 7538,1 \text{ м}^2$$

$$C_{ц, \tau} = 80 \cdot 6600 = 528000 \text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{К}$$

Часова константа будівлі розраховується за формулою:

- для режиму опалення:

$$\tau = C_{\tau} / (H_{tr,adj} + H_{ve,adj}) = 94656 / (9176,80 + 36,70) = 10,27 \text{ год};$$

2.3.10 Енергопотреби для опалення

Річні енергопотреби для опалення $Q_{H, nd}$ Вт · год зведені в таблиці.

$$Q_{H, nd} = Q_{H, nd, conct} = Q_{H, ht} - \eta_{H, gn} \cdot Q_{H, gn}, \quad (2.34)$$

Таблиця 2.6 – Розрахунок енергопотреби для опалення

Місяць року	$Q_{H, tr}$, кВт·год	$Q_{H, ve}$ кВт·год	$Q_{H, ht}$ кВт·год	$Q_{H, int}$ кВт·год	$Q_{H, sol}$ кВт·год	$Q_{H, gn}$ кВт·год	γ_H	$\eta_{H, gn}$	$Q_{H, nd}$ кВт·год
січень	297985	26063	324048	4165	29228	33393	0,1030	0,999601	290667
лютий	258420	22407	280828	5920	26400	32320	0,1150	0,999427	248525
березень	235365	21400	256765	8758	29228	37987	0,1479	0,998705	218827
квітень	112319	10075	122394	8422	23571	31993	0,2614	0,992224	90649
жовтень	124508	11232	135741	7099	23571	30671	0,2259	0,995038	105222
листопад	215234	18858	234093	4079	28285	32365	0,1382	0,99896	201761
грудень	273153	24090	297243	3137	29228	32366	0,1088	0,999522	264892
Σ	1516984	134125	1651112	41580	189511	231095			1420543

Сумарна енергопотреба на опалення:

$$Q_{H, nd} = 1420543 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Енергопотреба на охолодження для періоду невикористання і переривчастого охолодження не розраховується, в зв'язку з коротким періодом охолодження для українських широт.

2.3.11 Визначення класу енергетичної ефективності будинку

Загальний показник енергоефективності будівлі EP повинен визначатися за умовою [1]:

$$EP \leq EP_{\max}, \quad (2.35)$$

де EP – розрахункова або фактична питома річна енергопотреба будівлі;
 EP_{\max} – максимально допустиме значення питомої річної енергопотреби будівлі, кВт · год/м² або кВт · год/м³[1].

Розрахункове значення EP визначають за формулою:

$$EP = Q_{\text{Hnd}}/V_f, \quad (2.36)$$

$$EP = 1420543/19800 = 71,74 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3,$$

де Q_{Hnd} - річна енергопотреба будівлі для опалення, кВт · год [6];

V_f – опалювальний об'єм будівлі.

Згідно табл.1 ДБН В.2.6-31:2016 [1] для навчальних закладів, що знаходяться у I температурній зоні України значення $EP_{\max} = 30 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$

Отже умова не виконується: $71,74 > 30$

Визначаємо згідно таб.2 ДБН В.2.6-31:2016 [1] за різницею в % розрахункового та фактичного значення питомих тепловитрат

$$[(EP - EP_{\max})/ EP_{\max,}] \cdot 100\% = [(71,74 - 30)/ 30] \cdot 100\% = 139,13 \%$$

$$[(EP - EP_{\max})/ EP_{\max,}] \cdot 100\% = [(0,023 - 0,026)/ 0,026] \cdot 100\% = - 8,53 \%$$

Таблиця 2.7 – Класифікація будинків за енергетичною ефективністю [1]

Класи енергетичної ефективності будинку за питомою енергопотребою	Різниця в % розрахункового або фактичного значення питомої енергопотреби EP від максимально допустимого значення EP_{max} , $[(EP - EP_{vax})/EP_{max}] \cdot 100 \%$
A	Мінус 50 та менше
B	Від мінус 49 до мінус 10
C	Від мінус 9 до 0
D	Від 1 до 25
E	Від 26 до 50
F	Від 51 до 75
G	76 та більше

Згідно розрахункових даних будівля відноситься до класу енергетичної ефективності «G» та згідно фактичних даних будівля відноситься до класу «C». Така різниця обумовлена тим що для опалення будівлі встановлені великі ліміти по споживанню енергоресурсів та тому що велика частина будівлі не оплюється.

2.4 Аналіз балансу витрат на енергоспоживання

Для надання загальної характеристики обсягів витрат ПЕР та визначення першочергових можливих напрямків економії енергоспоживання, наведено порівняльну діаграму витрат коштів у відсотках на споживання холодної води, електричної та теплової енергії по будівлі. Дана діаграма представлена на рисунку 2.4.

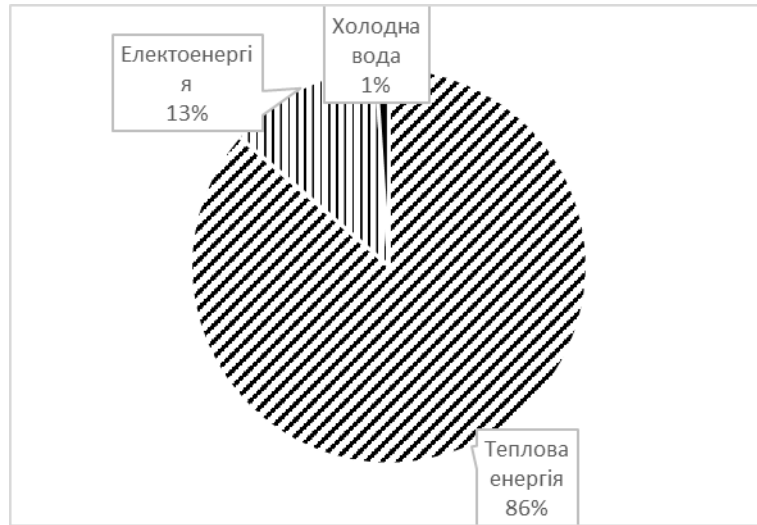


Рисунок 2.4 – Діаграма співвідношення витрат коштів на споживання енергоресурсів

Проаналізувавши діаграму на рисунку 2.4, можна зробити висновок, що найбільше витрат іде на споживання теплової енергії. Тому, першочерговим напрямком впровадження енергозберігаючих заходів щодо економії витрат на експлуатацію будівлі є заходи з раціонального використання теплової енергії та зменшення їх втрат.

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ УМОВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ

3.1 Опис можливих енергозбережних заходів

За результатами проведених робіт енергетичного обстеження будівлі Сумського палацу дітей та юнацтва, було зроблено основний висновок – що найбільші тепловитрати при експлуатації обстежуваного об'єкту припадають на споживання теплової енергії. Енергетична ефективність будівлі з позиції збереження теплової енергії є низькою. Враховуючи отримані результати за попередні етапи енергетичного обстеження, які вказують на основні причини зменшення енергетичної ефективності будівель, були розроблені першочергові енергозбережні заходи з метою зменшення витрат на споживання ПЕР.

У зв'язку з великими тарифами на теплову енергію, електроенергію та гаряче водопостачання, все більш актуальною стає тема енергозбереження. Особливо це стосується бюджетних установ, де споживання даних ресурсів є суттєвим.

Також великою проблемою на сьогоднішній день є велика недостача електричної енергії та наслідки – погодинні та аварійні відключення електроенергії. Енергетична незалежність за рахунок альтернативної енергетики усунить проблему та забезпечить стабільну роботу закладу Палацу дітей та юнацтва.

Розроблені енергозбережні заходи, які надаються до розгляду, враховують всі потенційні можливості до запровадження у Сумському Палацу дітей та юнацтва:

1) Утеплення огороджувальних конструкцій.

Огороджувальні конструкції навчального закладу мають недостатній опір теплопередачі (див. табл. 2.3), тому крізь них втрачається значна частина

теплової енергії. Аналіз балансу втрат теплової енергії показує, що велика частка втрат тепла припадає на тепловтрати, такі як зовнішні стіни, суміщене перекриття та віконні і дверні отвори. Додаткове утеплення огорожувальних конструкцій здатне значно скоротити тепловтрати загалом у навчальному закладі, і відповідно, зменшити потужність системи опалення та фінансові витрати за спожиту теплову енергію. При цьому фасад будівлі буде мати оновлений та естетичний вигляд.

2) Встановлення системи акумулювання енергії.

Системи акумулювання електричної енергії призначені для накопичення і зберігання електричної енергії, отриманої на об'єктах відновлюваної енергетики, та позапікової енергії промислової електромережі на об'єктах традиційної енергетики з подальшим електроживленням споживачів.

3) Встановлення сонячних генераторів.

Сонячна енергетика – це джерело безкоштовної і екологічно чистої енергії. У безмашинних сонячних енергетичних установках енергія сонячного випромінювання перетворюється на електричну без проміжних перетворень на теплову чи механічну. Для такого прямого перетворення не потрібні складні й металомісткі теплогенератори, турбіни чи електрогенератори. Проте лише частина фотонів сонячної радіації знаходить у напівпровідниковому матеріалі фотоперетворювачів «свої» електрони і передає їм свою енергію, створюючи електричний струм. Решта фотонів просто поглинається і передає матеріалу свою енергію, підвищуючи його температуру. Це явище спостерігається у повсякденній практиці, причому зовсім необов'язково, щоб цей матеріал був дорогим напівпровідником – теплову енергію фотонів добре поглинають практично будь-які матеріали, насамперед метали, рідини і навіть гази. Головне, щоб поверхня матеріалу якомога менше віддзеркалювала (відштовхувала) сонячні промені, які на неї падають.

3.2 Розрахунковий аналіз можливих енергозберезних заходів

3.2.1 Утеплення огорожувальних конструкцій будівлі (стін та суміщеного перекриття)

У зв'язку з тим, що отримані результати ($R_{\Sigma пр} \ll R_{qmin}$) свідчать про невідповідність дійсного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій з нормативними вимогами (див. табл. 2.3), необхідним є проведення відповідних розрахунків щодо заходів з покращення теплозахисних властивостей зовнішніх стін. Виведення показника опору теплопередачі стін на рівень нормативної величини здійснюється за допомогою теплоізоляції огорожувальних конструкцій спеціальними теплоізоляційними матеріалами. При запровадженні утеплення огорожувальних конструкцій теплоізоляційними матеріалами з визначеною товщиною, буде забезпечена нормативна вимога за величиною опору теплопередачі, що задовольнятиме умову $R_{\Sigma пр} \geq R_{qmin}$.

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару $\delta_{ут}$ для утеплення огорожувальної конструкції проводиться за формулою [12]:

$$\delta_{ут} = [R_{qmin} - R_{\Sigma пр}] \cdot \lambda_{ут}, \quad (3.1)$$

де $\lambda_{ут}$ – теплопровідність теплоізолюючого матеріалу, Вт/(м·К) [2, 12];

$R_{\Sigma пр}$ – приведений (дійсний) опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$;

R_{qmin} – нормативний опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$ [2].

Розрахунок економії теплової енергії від утеплення стін і дахового перекриття по будівлі:

Для розрахунку необхідної товщини теплоізоляційного шару зовнішніх стін, обираємо теплоізоляційний матеріал – базальтова вата з величиною коефіцієнта теплопровідності $\lambda_{ут} = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$:

Товщина теплоізоляції зовнішніх стін становить:

$$\delta_{ут} = [3,3 - 0,81] \cdot 0,04 = 0,099 \text{ м}$$

Найближче більше зі стандартних значень товщини плит з базальтової вати, що є у продажу – 0,1 м. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки Ізоват (1000 × 600 × 100 мм) [13].

Визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару для перекриття суміщеного покриття будівлі:

$$\delta_{ут} = [5,35 - 0,37] \cdot 0,04 = 0,2 \text{ м}$$

Найближча більша товщина зі стандартних значень товщини плит з базальтової вати – 0,2 м. Обирається теплоізоляційний матеріал – базальтова вата марки Ізоват (1000×600×100 мм) в два прошарку [13].

Тепловтрати через огорожувальну конструкцію будівлі, Вт, що потрібно утеплити, визначають за загальною формулою [12]:

$$Q_0 = \frac{F_{огр}}{R_{\Sigma пр}} \cdot (t_B - t_3) \cdot n, \text{ Вт}, \quad (3.2)$$

де: $F_{огр}$ – розрахункова площа поверхні огорожувальної конструкції, м² ;

$R_{\Sigma пр}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, м²

·К/Вт [3];

$t_{в}$, $t_{з}$ – відповідно температури усередині приміщення і зовнішнього повітря, °С [2];

n – коефіцієнт, прийнятий залежно від положення зовнішньої поверхні огороджувальної конструкції відносно зовнішнього повітря [2].

Тепловтрати через стіни будівлі до утеплення:

$$Q_{\text{стн1}} = \frac{2080,6}{0,81} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 118,2 \text{ кВт}$$

Тепловтрати через стіни будівлі після утеплення:

$$Q_{\text{стн2}} = \frac{2080,6}{3,3} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 29 \text{ кВт}$$

Тепловтрати через стелю будівлі до утеплення:

$$Q_{\text{стл1}} = \frac{2200}{0,37} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 273,5 \text{ кВт}$$

Тепловтрати через стелю будівлі після утеплення:

$$Q_{\text{стл2}} = \frac{2200}{5,35} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 18,9 \text{ кВт}$$

Економія витрат теплоти після утеплення зовнішньої огороджувальної конструкції розраховується за формулою [12]:

$$\Delta Q_{\text{огр}} = Q_{\text{огр}}^1 - Q_{\text{огр}}^2, \quad (3.3)$$

де $Q_{огр}^1$ і $Q_{огр}^2$ – тепловтрати крізь огороджувальну конструкцію відповідно до утеплення та після утеплення, кВт.

Економія витрат теплоти після утеплення зовнішньої огороджувальної конструкції, кВт:

$$\Delta Q_{огр} = (118,2 - 29) + (273,5 - 18,9) = 343,8 \text{ кВт}$$

Визначення річної економії теплової енергії після впровадження заходу [12]:

$$Q_{огр}^{Ек.рік} = \Delta Q_{огр} \cdot \frac{(t_{в} - t_{ср.оп})}{(t_{в} - t_{з.р})} \cdot 24 \cdot n_{оп}, \quad (3.4)$$

де $t_{ср.оп}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період (01.11.2021–28.02.2022 становить -1°C) [12, 14];

$n_{оп}$ – тривалість опалювального періоду, діб.

Річна економія теплової енергії після теплоізоляції:

$$Q_{огр}^{Ек.рік} = 343,8 \cdot \frac{(21 - (-1))}{(21 - (-25))} \cdot 24 \cdot 120 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 407,25 \text{ Гкал}$$

У грошовому еквіваленті економія складе:

$$E = 407,25 \text{ Гкал} \cdot 2640,5679 \text{ грн/Гкал} = 1.075.371,95 \text{ грн};$$

Для утеплення вибираємо базальтові плити, розміром плит: 1000*600*100мм вартість якого складає 134,55 грн/м² [13], також для суміщеного перекриття два прошара 1000×600×100 мм вартість якого складає 134,55 грн/м² [13]. Загальна площа стін і суміщеного перекриття, які потребують утеплення складає 2080,6 м² для стін, і 2200 м² для суміщеного перекриття.

Отже для утеплення фасаду нам необхідно 2080,6 м² утеплювача, тобто вартість складатиме $2080,6 \cdot 134,55 = 279.944,73$ грн. Та для утеплення суміщеного перекриття необхідно 2200 м² утеплювача, тобто вартість складатиме $2200 \cdot 134,55 \cdot 2 = 592.020$ грн.

Вартість монтажних робіт складає приймаємо 40% від загальних витрат на матеріали.

Загальні витрати на утеплення стіни:

$$K=279.944,73+ 592.020 + (279.944,73 + 592.020) \cdot 40\% = 1.220.750,62 \text{ грн}$$

При розрахунках терміну окупності використовувалася норма дисконтування в 22%. Розрахунки наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1– Результати розрахунку дисконтованого терміну окупності.

Грошові потоки	Роки						
	1	2	3	4	5	6	7
Витрати, тис. грн.	(1220,8)	0	0	0	0	0	0
Дисконовані витрати, тис. грн	(1000,7)	0	0	0	0	0	0
Грошові надходження, тис. грн	0	1075	1075	1075	1075	1075	1075
Дисконтні грошові надходження, тис. грн.	0	934,8	934,8	934,8	934,8	934,78	934,8
Накопичені дисконтовані витрати, тис. грн.	(1000,7)	(1001)	(65,87)	868,9	1804	2738,5	3673
Накопичені дисконтовані грошові надходження, тис. грн.	0	934,8	934,8	934,8	934,8	934,78	934,8
Різниця між накопиченими дисконтованими витратами і накопиченими дисконтованими надходженнями, тис. грн.	(1000,7)	(65,87)	868,9	1804	2738	3673,3	4608

З таблиці видно, що з четвертого року різниця між накопиченими дисконтованими витратами і накопиченими дисконтованими надходженнями + 868,9 тис. гривень, з цього випливає, що дисконтний період окупності більше 4 років.

Розрахунок здійснюємо таким чином:

$$DPP = 4 + 868,9/934,8 = 4 + 0,93 = 4,93 \text{ року}$$

3.2.2 Встановлення системи акумулювання енергії

Невизначеність стосовно режимів генерації, споживання та аварійних і почасових відключень електроенергії в енергосистемах на сьогоднішній день спричиняє завищену потребу в резервних та (або) акумулюючих потужностях. Також додатково потрібно враховувати швидкодію акумуляторів.

Основною проблемою в погодинних відключеннях електроенергії – це значне зменшення часу для проведення занять в закладі та зупинка його роботи на час відключення. Для стабільної роботи закладу та його гуртків потрібне стабільне освітлення та оснащення електроенергією усіх ПК у будівлі.

Для живлення усіх комп'ютерів Палацу потрібно розрахувати їх потужність:

$$P = n \cdot P_{\text{ПК}}, \quad (3.5)$$

де: P – загальна потужність, Вт;

n – кількість приладів;

$P_{\text{ПК}}$ – потужність одного комп'ютера.

Сумарна потужність комп'ютерів в класі програмування:

$$P_{\text{ПК пр}} = 12 \cdot 160 = 1920 \text{ Вт.}$$

Обираємо зарядну станцію EcoFlow DELTA MAX 2000 [15] для використання у комп'ютерному класі. Станція може надавати вихідну потужність 2400 Вт якої буде достатньо для живлення всього кабінету у разі відключення світла, та має ємність 2016 Вт · год. Також після відновлення енергопостачання станція заряджається до 100% заряду від розетки за 1,6 години.

Сумарна потужність комп'ютерів в комп'ютерному класі:

$$P_{\text{ПК клс}} = 10 \cdot 160 = 1600 \text{ Вт.}$$

Обираємо зарядну станцію EcoFlow DELTA MAX 1600 [16] для використання комп'ютерів у класі робототехніки. Станція може надавати вихідну потужність 2000 Вт, якої буде достатньо для живлення всього кабінету у разі відключення світла, та має ємність 1612 Вт · год. Також після відновлення енергопостачання станція заряджається до 100% заряду від розетки за 1,6 години.

Сумарна потужність комп'ютерів приміщень керівництва:

$$P_{\text{ПК дркт}} = 2 \cdot 160 = 320 \text{ Вт.}$$

Обираємо зарядну станцію EcoFlow RIVER [17] для використання у кабінеті директора. Станція може надавати вихідну потужність 600 Вт, якої буде достатньо для живлення комп'ютерів у разі відключення світла, та має ємність 288 Вт · год. Також після відновлення енергопостачання станція заряджається до 100% заряду від розетки за 1,5 години.

Сумарна потужність комп'ютерів бухгалтерії:

$$P_{\text{ПК бух}} = 3 \cdot 160 = 480 \text{ Вт.}$$

Обираємо зарядну станцію EcoFlow RIVER [17] для використання у кабінеті бухгалтерів.

Сумарна потужність комп'ютерів в кабінеті завідувача господарством:

$$P_{ПК\text{ б\text{ух}}} = 2 \cdot 160 = 320 \text{ Вт.}$$

Обираємо зарядну станцію EcoFlow RIVER [17] для використання у кабінеті завідувача господарством.

Також для підключення зарядних станцій потрібні подовжувачі

Загальні витрати на зарядні станції:

$$K = 3 \cdot 19.999 + 113.999 + 89.999 = 163.005 \text{ грн.}$$

3.2.3 Встановлення сонячних генераторів

Для повної енергонезалежності було розроблена система сонячної генерації для споживання освітлення та систем безпеки будівлі.

Сумарна потужність споживання електроенергії з сонячних генераторів для Палацу дітей та юнацтва представлена на таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Сумарне середньодобове енергоспоживання електричної енергії Палацу дітей та юнацтва для використання сонячної енергії

Споживач	Потужність споживання, Вт/год	Час роботи, год	Сума, Вт
Система освітлення	890	6	5340
Відеоспостереження	80	24	1920
Сигналізація	70	24	1680
Загальна сума, кВт			8,9

Для накопичення заряду використовуємо комплект енергонезалежності Ecoflow Power Get Set Kit 10 kWh [18].

Обираємо сонячну батарею EcoFlow 400W Solar Panel [19]. Для живлення акумуляторів беремо 30 комплектів сонячних батарей. Вартість монтажних робіт складає приймаємо додатково 30% від загальних витрат на матеріали.

Загальні витрати на систему сонячної генерації:

$$K = 30 \cdot 54.999 + 197.999 + (30 \cdot 54.999 \cdot 20\%) = 2.342.960 \text{ грн.}$$

У грошовому еквіваленті економія складе:

$$E = 407,25 \text{ Гкал} \cdot 2640,5679 \text{ грн/Гкал} = 1.075.371,95 \text{ грн;}$$

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Характеристика досліджуваного об'єкту

Охорона праці, має велике значення для працюючих, оскільки саме вона контролює фізичний стан працівника, що не може не позначитись на його житті, здоров'ї, а також продуктивності праці в усіх галузях. Незадовільний стан охорони праці може викликати соціально-економічні проблеми працюючих та учнів які відвідують Палац дітей та юнацтва.

В цьому розділі проводиться аналіз небезпечних та шкідливих для людини і навколишнього середовища чинників. Тут висвітлюються, зокрема, технічні рішення з гігієни праці та санітарії, технічні рішення з безпеки при проведенні навчань, безпека в надзвичайних ситуаціях.

Основними потенційними небезпеками при проведенні робіт в Палаці дітей та юнацтва є такі:

- небезпека ураження електричним струмом, внаслідок недотримання правил електробезпеки або виходу з ладу електроприладів;

- порушення роботи кістково-м'язового апарату внаслідок тривалих статичних навантажень при роботі з ПК.

- незадовільні ергономічні характеристики робочого місця внаслідок нераціонального планування робочого місця, що може призвести до механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату;

- негативний вплив недостатнього освітлення робочої зони на зір та продуктивність роботи працюючого, внаслідок несправності освітлювальних приладів або неправильного проектування освітлювальної системи;

- негативний вплив незадовільних параметрів повітряного середовища робочої зони на здоров'я працюючого та учнів, внаслідок неправильного проектування системи вентиляції або несправності її несправності;

- небезпека загоряння у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що може призвести до пожежі.

- неправильні дії персоналу у надзвичайних ситуаціях.

Отже, організацією роботи з охорони праці та безпеки життєдіяльності закладу займаються як керівник, так і представники (уповноважені особи) трудового колективу. В закладі організовано:

- організаційні заходи (створення комісії з питань охорони праці, з питань розслідування нещасних випадків, колективний договір (угода), розроблення нормативно-правових актів з охорони праці, нормативних документів з питань безпеки життєдіяльності, виконання працівниками своїх посадових обов'язків з охорони праці, учнями та студентами -вимог безпеки життєдіяльності тощо);

- інструктивно-методичні заходи (видання і виконання наказів, розпоряджень, приписів, рішень з питань охорони праці, безпеки життєдіяльності);

- соціально-психологічні заходи (навчальна і виховна робота з працівниками, учнями, студентами з питань охорони праці, безпеки життєдіяльності, пропаганда безпечних і нешкідливих умов праці та навчання та установа контролю і взаємоконтролю, підвищення дисципліни праці та навчання).

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та санітарії

4.2.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Під мікрокліматом приміщень розуміють клімат внутрішнього середовища приміщень, який визначається діючими на організм працюючих та учнів поєднаннями температури, вологості та швидкості руху повітря, а також інтенсивності теплового випромінювання.

Вибираємо для закладу Палацу дітей та юнацтва категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Ia [20].

Відповідно допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні для холодного та теплого періодів року приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі показники мікроклімату в приміщенні

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний період	Легка Ia	22-24	40-60	0,1
Теплий період	Легка Ia	23-25	40-60	0,1

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК) в повітрі робочої зони та підлягає систематичному контролю з метою запобігання можливості перевищення ГДК, значення яких наведено в таблиці 4.2 [21].

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин

Назва речовини	ГДК, мг/м ²	Агрегатний стан	Клас небезпеки
Озон	0,1	Пара	4
Оксиди азоту	5	Пара	2
Пил	4	Аерозоль	2

Для встановлення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату і складу повітря робочої зони передбачено такі заходи:

- 1) у приміщеннях палацу повинна бути розміщена система кондиціонування для теплого і опалення для холодного періодів року;
- 2) припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

4.2.2 Освітлення

Для забезпечення раціональних умов на робочих місцях та учбових приміщень закладу значні вимоги висуваються до якісних та кількісних параметрів освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщеннях, в яких проводяться адміністративні та навчально-виховні роботи, знаходимо, що вони відповідають IV розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – середній та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт В [22].

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості при штучному освітленні наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Нормовані значення КПО і мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розгляд зорової роботи	Підрозгляд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість при штучному освітленні, лк			КПО для бокового освітлення, %	
						Комбіноване		загальне	Природного	Суміщеного
						всього	у т. ч. від загального			
Середньої точності	0,5-1	IV	В	середній	середній	400	200	200	1,5	0,9

З метою забезпечення нормованих значень параметрів освітлення передбачено такі заходи:

1) за недостатнього природного освітлення у світлу пору доби доповнення штучним за допомогою люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;

2) застосування загального штучного освітлення в темну пору доби.

4.2.3 Віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що під час експлуатації пристроїв крім усього іншого обладнання використовується устаткування, робота якого генерує шум.

Визначено, що приміщення, де проводиться робота з ПК та великою кількістю ПК в приміщенні може мати робочі місця із шумом, що спричиняється вентиляторами блоку живлення ПК і кулерами мікропроцесора та відеокарти.

З метою попередження травмування працівників та учнів закладу від дії шуму він підлягає нормуванню. Основним документом стосовно виробничого шуму, що діє в нашій країні, допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у виробничих приміщеннях не мають бути більшими ніж значення, що приведені в таблиці 4.4 [23].

Таблиця 4.4 – Нормовані рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для встановлення нормованих показників шуму в приміщенні передбачено такі заходи:

1) контроль рівня шуму не менше 1 разу на рік.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було проведене енергетичне обстеження систем енергопостачання закладу КЗ Палац дітей та юнацтва СМР, що знаходиться за адресою м. Суми, 40030, вул. Соборна, 37.

Під час енергетичного обстеження було проведено обстеження дійсного стану конструктивних елементів будівлі, а також системи тепло-, електро- та водопостачання.

Були розраховані всі основні види тепловтрат. Розрахунки показали, що дуже велика частка теплової енергії, яка б повинна була йти на опалення приміщень і підтримку в них нормативної для адміністративної будівлі температури, втрачається через огорожуючі конструкції, найбільше через стіни. Це стало приводом до розробки відповідних енергозберігаючих заходів. Були запропоновані наступні заходи:

- утеплення огорожувальних конструкцій будівлі (стін і стелі);
- встановлення системи акумулювання енергії;
- встановлення сонячних генераторів.

Було визначено річний економічний ефект від запровадження енергозберіжних заходів у питомих показниках за якими встановлено тарифи на оплату енергоспоживання.

Розрахунком отримані результати фінансової економії від впровадження енергозберіжних заходів з подальшим визначенням їх термінів окупності. Отримані результати термінів окупності задовольняють сучасним вимогам щодо реалізації заходів з енергозбереження.

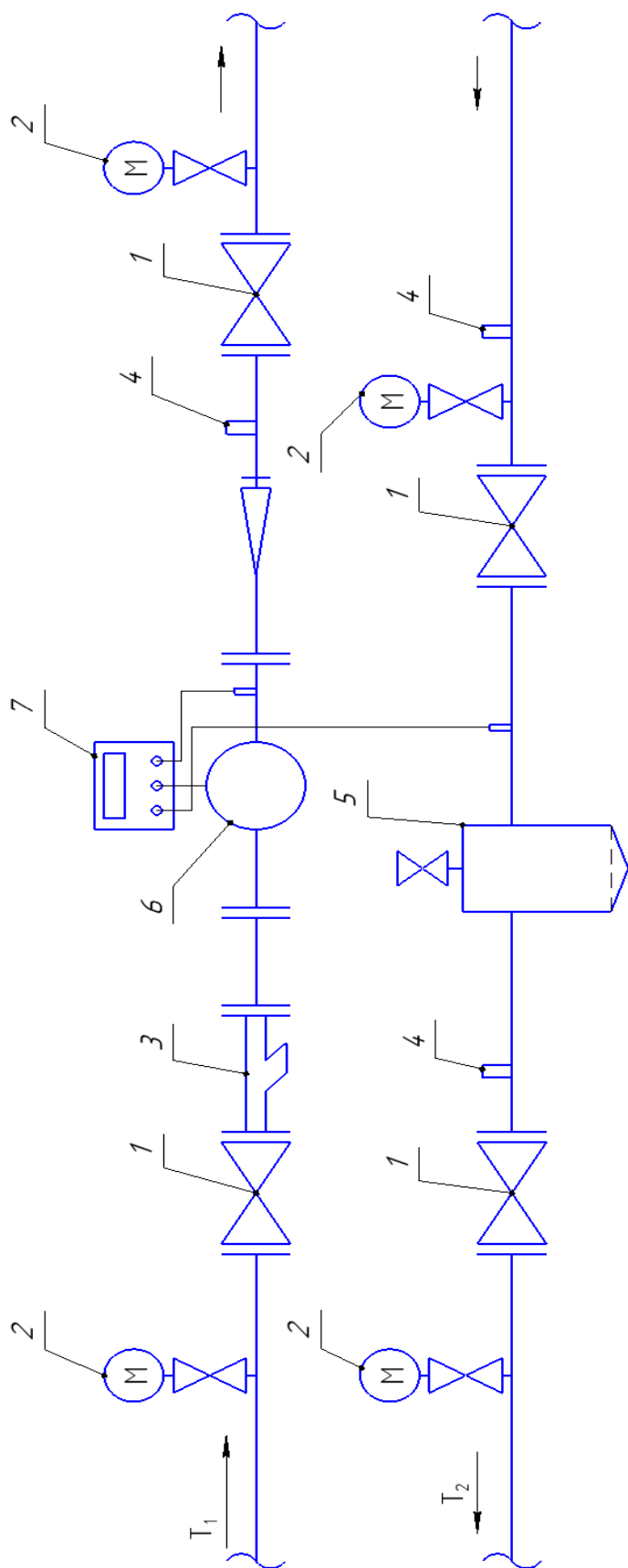
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2017.
2. ДСТУ Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія" – К. Мінрегіонбуд України, 2006.
3. 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.
4. НАКАЗ №91 від 25.10.99 Про затвердження Міжгалузевих норм споживання електричної та теплової енергії для установі організацій бюджетної сфери України.
5. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Введ.01.03.2013 р. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013.
6. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні, 2015.
7. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні, 2011.
8. ДСТУ-Н Б.А.2.2-5. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції, 2007.
9. ДСТУ Б В.2.6-189. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель, 2014.
10. ДБН В.2.5-24:2012. Електрична кабельна система опалення, 2012.
11. ДСТУ Б В.2.2-19. Метод визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах, 2008.

12. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. – К. : Мінрегіон України, 2014.
13. [Електронний ресурс]: https://sanich.com.ua/catalog/mineralnaya_vata/yzovat_30_100_mm_bazaltova_ya_vata_dlya_uteplenyua_krovly_3_m_kv_v_upakovke/.
14. [Електронний ресурс]: http://rp5.ua/Архив_погоды_в_Сумах.
15. [Електронний ресурс]: <https://ecoflowukraine.com/product/ecoflow-delta-max-2000/>.
16. [Електронний ресурс]: <https://ecoflowukraine.com/product/ecoflow-delta-max/>.
17. [Електронний ресурс]: <https://ecoflowukraine.com/product/ecoflow-efriver600-eu/>.
18. [Електронний ресурс]: <https://ecoflowukraine.com/komplekt-energonezalezhnosti-ecoflow-power-get-set-kit-10-kwh/>.
19. [Електронний ресурс]: <https://ecoflowukraine.com/product/ecoflow-400w-solar-panel/>.
20. [Електронний ресурс]: <https://buklib.net/books/35225/>.
21. [Електронний ресурс]: <https://buklib.net/books/35228/>.
22. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення, 2006.
23. [Електронний ресурс]: <https://buklib.net/books/35229/>.

ДОДАТОК А

Схема теплового пункту Палацу дітей та юнацтва



1 - засувки; 2 - манометри; 3 - фільтр; 4 - термометри; 5 - грязьовик; 6 - вигртовик; 7 - лічильник теплоти

ДОДАТОК Б

Результати тепловізійного обстеження

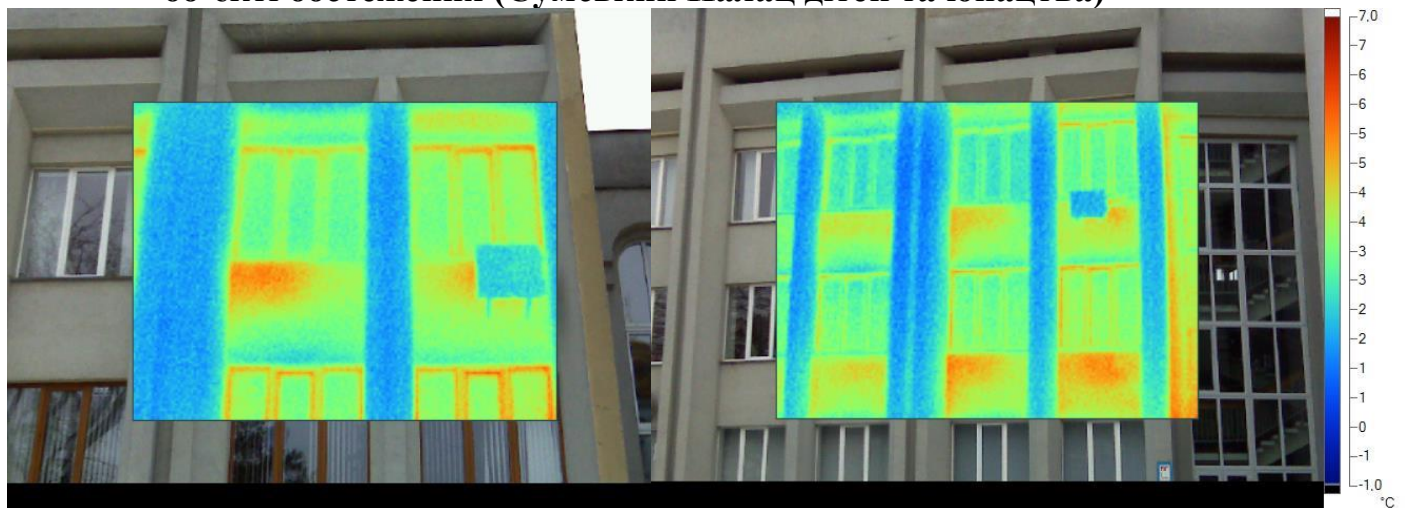
Тепловізійне обстеження будівлі Сумського Палацу дітей та юнацтва м. Суми, Сумської області було проведено 17 лютого 2022 року з використанням тепловізора FlukeTi25. У звіті надані термограми, які найбільш наочно демонструють типові проблемні місця будівель.

Мета обстеження – виявлення місць найбільших тепловтрат у будівлі Палацу дітей та юнацтва

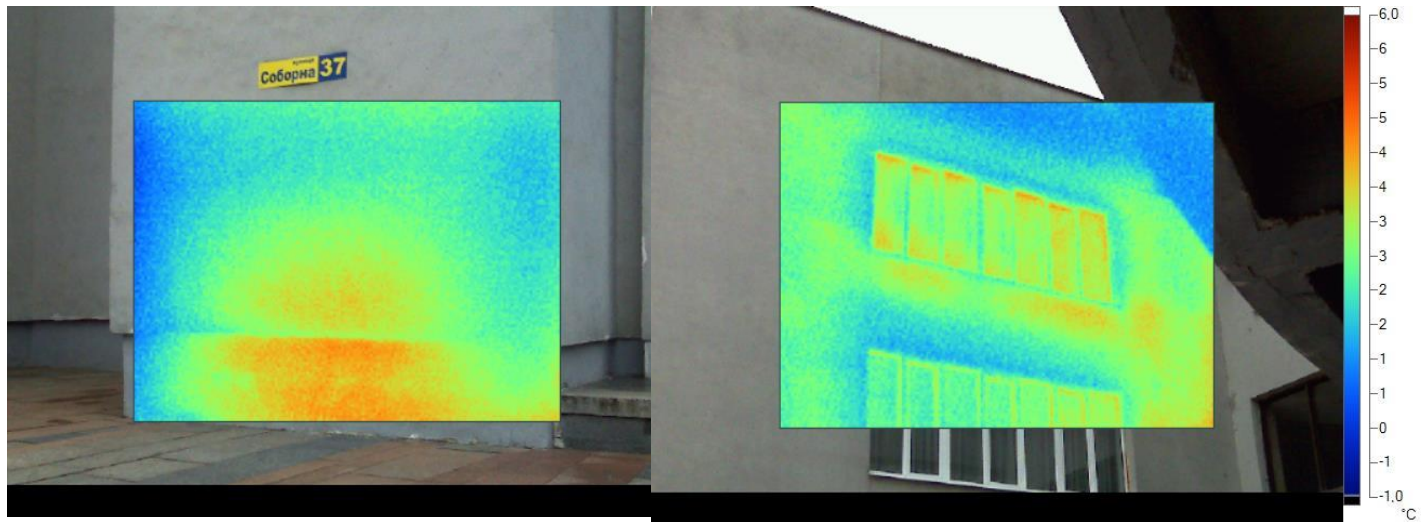
На момент проведення тепловізійного обстеження температура навколишнього середовища становила $+3^{\circ}\text{C}$. Середня температура всередині приміщень становила 18°C .

У додатку наведені термограми, які показують типові проблеми по тепловтратам, що притаманні майже всім огорожувальним конструкціям.

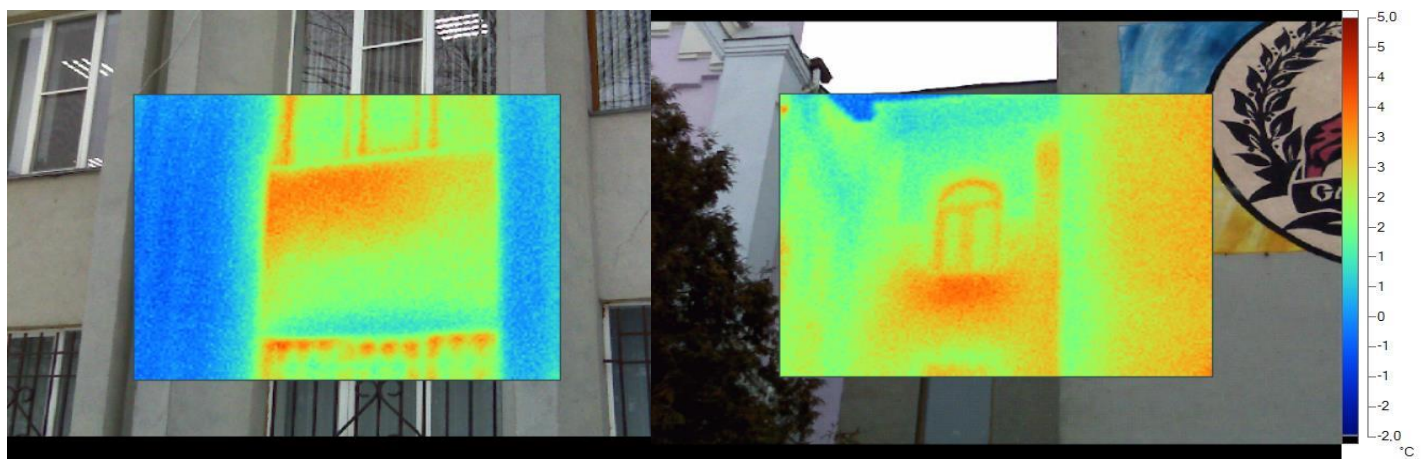
Термограми із зазначенням місць найбільших втрат теплової енергії на об'єкті обстеження (Сумський Палац дітей та юнацтва)



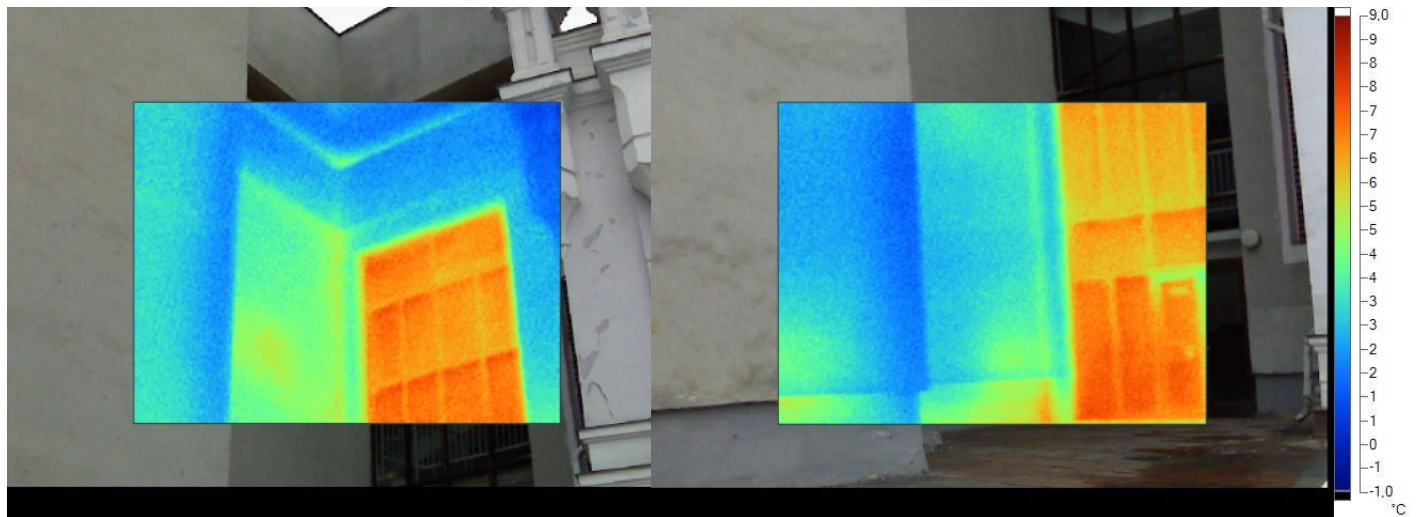
Неякісний монтаж віконних конструкцій обумовлюють втрати тепла з приміщень. Значні втрати в місцях приладів опалення. Спостерігається нещільність прилягання віконних рам до стіни, що призводить до тепловтрат.



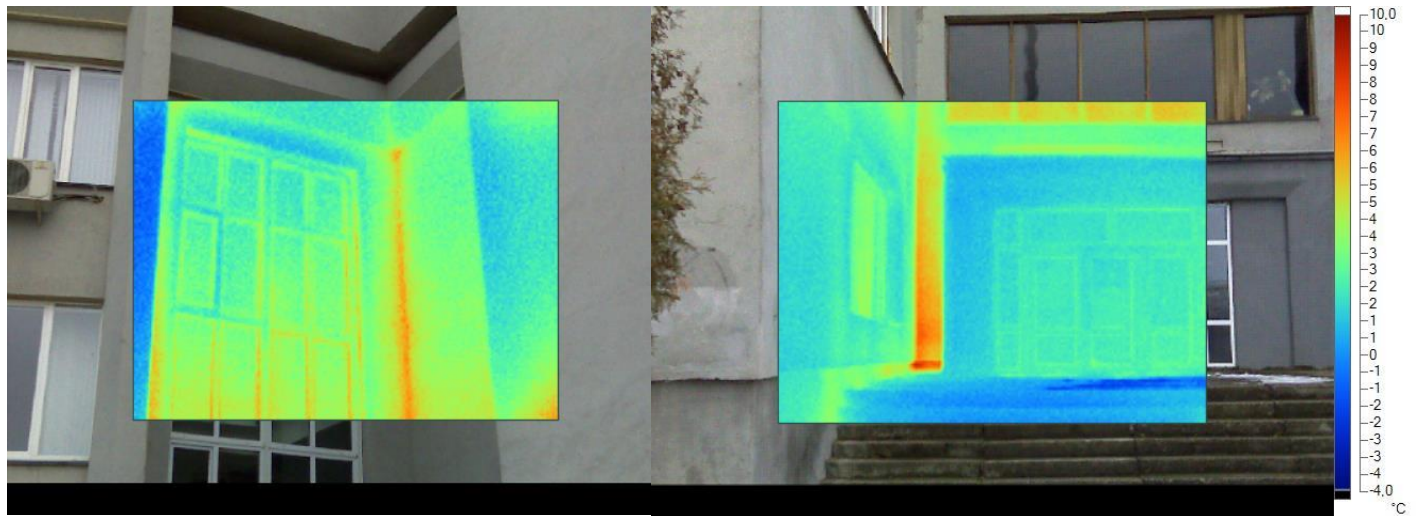
Втрати також відбуваються через зовнішні стіни, що обумовлене втратою її термічного опору.



Відбуваються втрати тепла крізь місця стіни де розташовані прилади опалення, що свідчить про значну втрату її опору теплопередачі і невідповідності нормам значення термічного опору стін.



Тепловтрати крізь великі площі віконних конструкцій із-за їх низького рівня опору теплопередачі



Відбуваються втрати тепла крізь пошкодженні кутиові з'єднання стін