

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

Махотка Тетяна Олександрівна

« АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
СУМСЬКОЇ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ І-ІІІ СТУПЕНІВ №13 »

**Магістерська робота**  
зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»  
(Енергетичний менеджмент)

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

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Антоненко Сергій Сергійович**

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові)

**доцент каф. ПГМ**

\_\_\_\_\_ (наукове звання та наукова ступінь)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

«    » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА ВИПУСКНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Студента \_\_\_\_\_

Махотка Тетяна Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: \_\_\_\_\_ Аналіз ефективності роботи системи теплопостачання Сумської  
загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів №13 \_\_\_\_\_

затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від «    » \_\_\_\_\_ 2020 р \_\_\_\_

2 Термін здачі студентом закінченої роботи - до 15.12.2020 р

3 Вихідні дані до магістерської роботи: Результати аналітичного вивчення інформації щодо актуальності проведення розрахункових робіт за темою магістерської роботи

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):

**Вступ** (короткий опис загальних проблем з енергоспоживання та енергоефективності, до яких відноситься тематика випускної роботи. Представлення результатів з аналізу літературних та інформаційних джерел з сучасного стану питання за темою роботи. Надання аргументованих висновків щодо доцільності та актуальності виконання випускної роботи за обраною темою).

**Розділ 1 – Визначення вихідних даних, та їх характеристика** (Характеристика об'єкту та предмету дослідження випускної роботи. Аналіз зібраних статистичних або дослідних даних з подальшим визначенням вихідних даних до розрахунку. Визначення та характеристика способу або методики проведення подальших розрахунків за отриманими вихідними даними).

**Розділ 2 – Результати розрахунку визначених задач** (Основні положення визначеної методики розрахунку; представлення результатів розрахунку за кожним етапом проведеної роботи. Аналіз отриманих результатів. Розробка заходів або напрямів з удосконалення енергетичної ефективності подальшого функціонування об'єкту дослідження).

**Розділ 3 – Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.** (Характеристика можливих небезпечних факторів, які треба враховувати при проведенні практичного дослідження за тематикою роботи, та їх розрахунковий аналіз)

**Висновки.**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 65 с., 19 рисунків, 6 таблиці, 2 додатки, 29 літературних джерел.

*Мета роботи:* визначення потенціалу енергозбереження системи теплоспоживання, розроблення і обґрунтування енергозбережних заходів, зменшення витрат на енергоносії.

Відповідно до поставленої мети були вирішені такі завдання:

- аналіз обсягів споживання теплової енергії
- обстеження системи тепlopостачання об'єкта
- визначення базового рівня енергоспоживання системою тепlopостачання об'єкту
- розроблення і обґрунтування енергозбережних заходів.

*Об'єкт енергообстеження:* комунальна установа Сумська загальноосвітня школа I-III ступенів № 13 імені А. С. Мачуленка.

*Предмет енергообстеження:* система споживання теплової енергії.

*Методи дослідження:* інструментальне обстеження, статистичний метод визначення динаміки споживання енергії в часі, теплові та економічні методи розрахунку енергозбережних заходів.

*Ключові слова:* ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ, , ТЕПЛОВА ПОТУЖНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНІ ЗАХОДИ, УТЕПЛЕННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ТЕПЛОВА ПОТУЖНІСТЬ.

**Тема роботи «Аналіз ефективності роботи системи тепlopостачання Сумської загальноосвітньої школи I-III ступенів № 13».**

## ЗМІСТ

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

### РЕФЕРАТ

ВСТУП.....	5
1 ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА.....	6
1.1 Характеристика об'єкту енергетичного обстеження.....	6
1.2 Обстеження системи теплопостачання об'єкта.....	7
1.3 Аналіз обсягів споживання теплової енергії.....	9
1.4 Аналіз енергоефективності роботи системи теплопостачання.....	10
1.5 Інструментальне обстеження.....	13
2 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ВИЗНАЧЕНИХ ЗАДАЧ.....	14
2.1 Розрахунковий аналіз стану огорожувальних конструкцій.....	14
2.2 Розрахунок теплової потужності систем теплопостачання будівлі.....	15
2.3 Визначення базового рівня енергоспоживання системою теплопостачання об'єкту.....	20
2.4 Утеплення огорожувальних конструкцій.....	22
2.5 Встановлення індивідуального теплового пункту.....	30
2.6 Впровадження системи моніторингу теплоспоживання.....	33
2.6.1 Рекомендації щодо модернізації теплових пунктів об'єкту.....	33
2.6.2 Перелік обладнання, необхідного для організації та функціонування системи моніторингу.....	36
2.6.3 Визначення базових параметрів будівлі для впровадження системи моніторингу теплоспоживання.....	38
2.6.4 Розрахунковий аналіз потенціалу економії теплової енергії в результаті впровадження системи моніторингу, термін окупності.....	40
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	44
3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть виникнути при роботі енергоаудитора.....	44
3.2 Розрахунок освітлення евакуаційного шляху.....	48
3.3 Дії працівників та школярів під час виникнення пожежі у приміщенні.....	53
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58
ДОДАТОК А.....	61
ДОДАТОК Б.....	62

## ВСТУП

Енергетичний аудит (енергетичне обстеження) – це обстеження підприємств різної сфери та окремих виробництв за їх ініціативою з точки зору їх енергоспоживання з метою визначення можливостей економії енергії та допомоги в економії на практиці шляхом упровадження механізмів підвищення енергетичної ефективності, а також із метою впровадження на підприємстві системи енергетичного менеджменту [1]. Енергетичний аудит (енергетичне обстеження) – постійно діючий механізм безупинного спостереження за станом об'єкта, який експлуатується, перевірка, порівняння з визначеним еталоном. Предметом енергетичного аудита є процеси споживання палива і енергії, аналіз і надання рекомендацій щодо ефективного використання енергоресурсів. Основною метою енергетичного аудита є пошук можливостей енергозбереження і допомога господарським суб'єктам у визначенні напрямків ефективного енергозбереження.

Енергетичний аудит проводять незалежні особи (енергоаудитори) або ж фірми, які уповноважені на це. Він може проводитися за ініціативою суб'єктів, а також у випадках, передбачених законодавством [1-2]

На сьогодні актуальність заходів енергозбереження у школах стоїть на першому місці, оскільки це призведе не тільки до економії енергоресурсів, а також несе в собі екологічну складову. Енергоефективність та енергоощадність торкається усіх ланок суспільної діяльності, а з розвитком суспільства, дана проблема загострюється дедалі більше і відповідно вона потребує вирішення [3]. Енергозбереження є актуальною і необхідною умовою для нормального функціонування навчального закладу, оскільки підвищення ефективності використання енергії, при безперервному зростанні цін на енергоресурси і відповідно зростанні вартості електричної і теплової енергії дозволяє отримати економію як енергії так і фінансових ресурсів [3]

# 1 ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА

## 1.1 Характеристика об'єкту енергетичного обстеження

Відповідно до наданої вище інформації щодо робіт з впровадження системи моніторингу споживання теплової енергії, першочерговим кроком є проведення енергетичного аудиту будівлі, одним з результатів якого повинно бути визначене індивідуальне контрольне базове теплоспоживання.

Комунальна установа Сумська загальноосвітня школа І-ІІІ ступенів № 13 імені А. С. Мачуленка підпорядковується Управлінню освіти і науки Сумської міської ради та повністю утримується за рахунок коштів місцевого бюджету. Будівля розташована за адресою: вул. Іллінська, 9, м. Суми, Сумська область, 40030.

У закладі працює 55 працівників та виховується 280 дітей у 12 класів. Будівлях сумської ЗОШ №13 площею забудови 1261,29 м<sup>2</sup> складається з головного корпусу (що складається з горища, чотирьох поверхів та підвального приміщення), молодшої школи (що складається з горища та першого поверху) та їдальні.

У закладі встановлений п'ятиденний робочий тиждень. Режим роботи закладу з 7<sup>00</sup> години до 18<sup>00</sup> години.

Загальний стан будівлі загальноосвітньої школи є незадовільним. Стіни будівлі мають явних тріщини по всьому периметру та руйнації. Застарілі дерев'яні вікна замінені на металопластикові з однокамерним склопакетом. Будівля має п'ять входів (три головних та два службових), головні виконано у вигляді тамбуру, що значною мірою зменшує тепловтрати через відкривання дверей, а два інших без тамбуру. Стан вентиляційної системи є незадовільним, оскільки майже в усіх приміщеннях вентиляційні решітки заклеєні шпалерами. Таким чином вентиляція у приміщенні відбувається лише завдяки

нешільностям в огороджувальних конструкціях та тимчасовим провітрюванням.

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

## 1.2 Обстеження системи тепlopостачання об'єкта

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

Тепlopостачання Сумської ЗОШ № 13 здійснюється централізовано згідно договору про надання послуг з централізованого опалення, який укладено з ТОВ «Північний промвузол» договір МБ 24-6/1900033 від 08.02.2019 року.

Ввід теплової мережі передбачений до теплового пункту, розміщеного у підвальному приміщенні 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, повністю ізольовані.

Система теплової мережі дошкільного навчального закладу двотрубна та однотрубна (в молодшій школі та їдальні) з нижньою розводкою; за напрямом з'єднання опалювальних приладів – горизонтальна. Магістральні трубопроводи до будівлі, прокладені під землею та під'єднуються до головних подавальних трубопроводів.

В якості опалювальних приладів використовуються конвективні чавунні секційні радіатори типу МС-140 та біметалічні. Опалювальні прилади

розташовані під вікнами в кожному приміщенні. Доступ до опалювальних приладів необмежений.

Опалювальна площа будівель закладу – 2322,83 м<sup>2</sup>.

Опалювальний об'єм закладу – 8519,19 м<sup>3</sup>.

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

У вузлу обліку теплової енергії за технічними умовами передбачено встановлення лічильника тепла Cosmos WPD50/150 VKP-432. У теплопункті водолічильник, який під'єднаний до теплотлічильника, встановлений на трубі з зовнішнім діаметром  $D_{тр} 57$  з діаметром умовного проходу Ду 50.

Основними завданнями персоналу, що обслуговує теплопункт є :

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

Відповідальний за теплогосподарство і теплозабезпечення в ЗОШ № 13 – завідувача господарством.

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

Дати останніх повірок лічильників:

- повірка лічильника тепла – 21 травня 2018 року;
- повірка лічильника води – 2 серпня 2017 року;

Повірку проведено ДП «Укрметртестстандарт».



### 1.3 Аналіз обсягів споживання теплової енергії

Слід зазначити, що у будівлях ЗОШ №13 встановлений один лічильник теплової енергії для обліку теплової енергії, яка іде на опалення трьох будівель, що унеможливорює проведення точного аналізу споживання теплової енергії на опалення окремо кожної будівлі. Також на балансі школи є ще дві будівлі, які не експлуатуються, і в яких підтримується мінімально можлива температура для збереження цілісності будівель та системи опалення. В кожній з них є окремий лічильник теплової енергії .

На рисунку 1.3 приведена динаміка споживання теплової енергії будівлею за 2017–2019 роки та частково за 2020 рік (за даними журналу обліку закладу див. Додаток А).

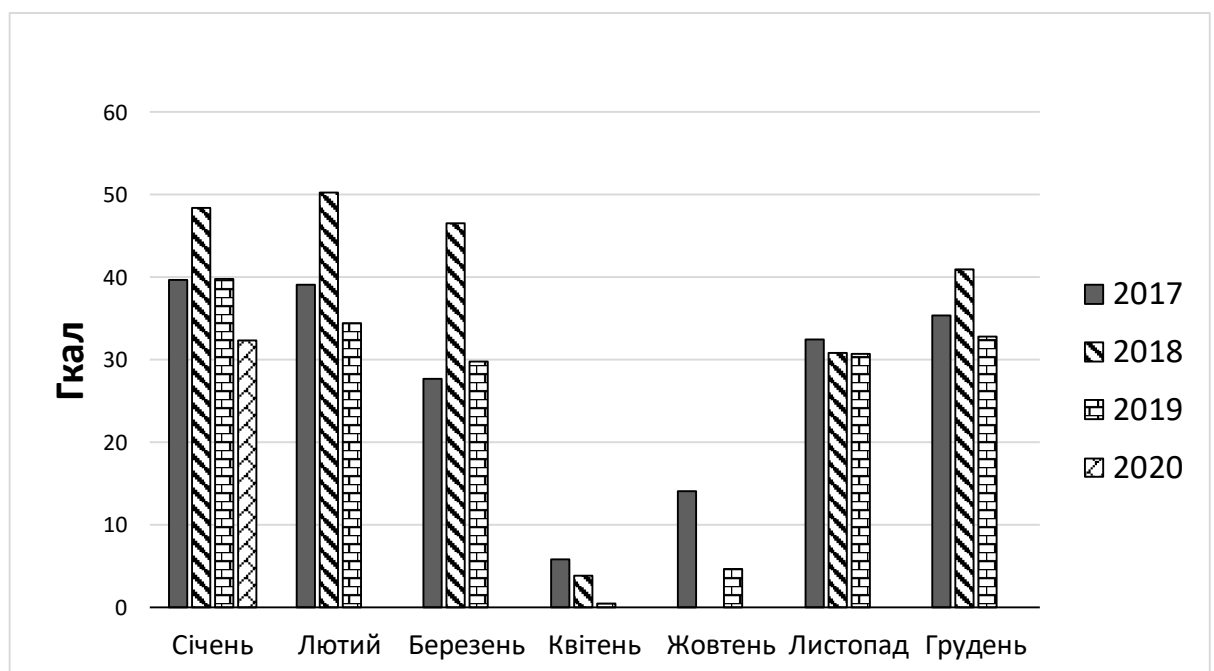


Рисунок 1.3 – Динаміка споживання теплової енергії будівлею за 2017–2020 роки

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 та неналежним керуванням режимами роботи системи тепlopостачання будівлі.

#### 1.4 Аналіз енергоефективності роботи системи тепlopостачання

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.

Враховуючи той факт, що за останній опалювальний період 2019–2020 року були аномально теплі зимові місяці, з середньомісячними температурами набагато вищими чим нормовані показники [6, 7], аналіз ефективності системи тепlopостачання закладу необхідно проводити за фактичними величинами попередніх опалювальних періодів, у яких середньомісячні температури розташовані у діапазоні нормованих показників. У подальших аналітичних розрахунках, за базовий період приймається опалювальний період 2018–2019 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 [5, п.3.24]:

$$EP = \frac{Q_{оп}}{V_{буд}^{оп}}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^3} \quad (1.1)$$

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

$V_{буд}^{оп}$  – опалювальний об'єм будинку, м<sup>3</sup>.

Питома потреба на опалення будинків повинна відповідати умові [5, п.5.1]:

$$EP \leq EP_{max}, \quad (1.2)$$

де  $EP$  – питома річна енергопотреба будівлі, кВт·год/м<sup>3</sup>;

$EP_{max}$  – максимально допустиме значення питомої річної енергопотреби будівлі за опалювальний період, кВт год/м<sup>3</sup> [5, п.5.3].

Нормативна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів першої температурної зони становлять [5, табл.1]:

$$EP_{max} = 28 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3} = 0,024 \frac{\text{Гкал}}{\text{м}^3}.$$

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

–опалювальний період 2017–2018 рік –  $Q_{оп} = 230,9$  Гкал;

–опалювальний період 2018–2019 рік –  $Q_{оп} = 176,14$  Гкал.

Значення фактичних питомих енерговитрат за періодами опалення становлять:

–опалювальний період 2017–2018 рік –  $EP = 0,027$  Гкал/м<sup>3</sup>;

–опалювальний період 2018–2019 рік –  $EP = 0,021$  Гкал/м<sup>3</sup>.

Осереднене значення показника енергоефективності будинку за визначеними опалювальними періодами становить –  $EP = 0,024$  Гкал/м<sup>3</sup>.

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

Отриманий результат за роками по будівлі майже відповідає нормативній умові (1.2). Але, враховуючи результати енергетичного обстеження, треба зазначити, що із-за умов дотримання встановлених для будівлі лімітів по

теплоспоживанню, регулювання відбору теплоти відбувається у "ручному" зміненні режиму роботи вузла теплопункту, тобто здійснюється вимушене зменшення обсягів споживання теплоти; при цьому відбувається нерівномірне прогрівання приміщень закладу, що призводить до використання додаткових джерел теплоти, внаслідок чого підвищуються загальні витрати на оплату за енергопостачання будинку. У такій ситуації порушується циркуляційний тиск теплоносія в опалювальних приладах навчального закладу; можлива відсутність руху теплоносія в крайніх ділянках теплопровідної системи тощо.

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

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.

## 1.5 Інструментальне обстеження

Тепловізійне обстеження будівлі Комунальної установи Сумської загальноосвітньої школи I-III ступенів № 13 було проведено 25 лютого 2019 року з використанням тепловізора FlukeTi25. Тепловізійний стан огорожувальних конструкцій та місць тепловтрат наведено в додатку Б. У звіті надані термограми, які найбільш наочно демонструють типові проблемні місця будівель. Мета обстеження – виявлення місць найбільших тепловтрат у будівлі школи №13. На момент проведення тепловізійного обстеження температура навколишнього середовища становила  $-2^{\circ}\text{C}$ . Середня температура всередині приміщень становила  $21^{\circ}\text{C}$ .

У додатку Б наведені термограми, які показують типові проблеми по тепловтратам, що притаманні майже всім огорожувальним конструкціям. Під час тепловізійного обстеження було зроблено 14 термограм. Тепловізійне обстеження проводилося по всьому периметру школи. З представлених термограм видно, що навіть після заміни вікон значні тепловтрати йдуть на інфільтрацію холодного повітря через віконні стики зі стіною це пов'язано з неякісним монтажем і недотримання правильної технології монтажу вікон. Для запобігання потрапляння надмірного холодного повітря в приміщення через стики, що надалі може призвести плісняви на стіні біля вікон пропонується провести герметизацію цих стиків.

## 2 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ВИЗНАЧЕНИХ ЗАДАЧ

### 2.1 Розрахунковий аналіз стану огорожувальних конструкцій

Результати розрахунку опору теплопередачі огорожувальних конструкцій корпусів закладу, який обстежується, отримані відповідно до методики наданій у документації [4] та представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

№ п/п	Найменування конструктивного елементу	Матеріал шару	Товщина шару, $\delta_i$ , м	Тепло-провідність $\lambda_i, \frac{Вт}{м \cdot К}$	$R_{\Sigma пр}, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$	$R_{q \min}, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$
<b>Головний корпус школи</b>						
1	Стіни	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,51	0,81	0,89	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,03	0,81		
2	дах	Лист азбестоцементний	0,02	1,92	1,14	5,35
		Дерев'яні стропила	0,3	0,35		
		дерев'яні дошки	0,03	0,35		
3	Вікна	Металопластикові з двокамерним склопакетом	–	–	0,75	0,75
		Металопластикові з енергозберігаючим склом			1,05	
4	Підлога	Дерев'яна	0,3	1,92	0,32	3,75
<b>Будівля молодшої школи</b>						
1	Стіни	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,25	0,81	1,23	3,3
		Дерев'яний брус	0,3	0,41		
		Цементно-піщана штукатурка	0,03	0,81		
2	дах	Лист азбестоцементний	0,02	1,92	1,14	5,35
		Дерев'яні стропила	0,3	0,35		
		дерев'яні дошки	0,03	0,35		
3	Вікна	Металопластикові з енергозберігаючим склом	–	–	1,05	0,75
4	Підлога	Дерев'яна	0,3	1,92	0,32	3,75

## Продовження таблиці 2.1

Будівля шкільної їдальні						
1	Стіни	Кладка з цегли звичайної на цементно-піщаному розчині	0,51	0,81	0,89	3,3
		Цементно-піщана штукатурка	0,03	0,81		
2	дах	Лист азбестоцементний	0,02	1,92	1,14	5,35
		Дерев'яні стропила	0,3	0,35		
		дерев'яні дошки	0,03	0,35		
3	Вікна	Металопластикові з енергозберігаючим склом	–	–	1,05	0,75
4	Підлога	Бетон	0,5	0,81	0,81	3,75

Отримані результати ( $R_{\Sigma пр} \ll R_{q \min}$ ) свідчать про невідповідність дійсного опору теплопередачі зовнішніх непрозорих огорожувальних конструкцій нормативним вимогам [5, табл.3]. Це вказує на незадовільні теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій, та вимагає впровадження енергозберіжних заходів щодо збільшення їх опору теплопередачі.

## 2.2 Розрахунок теплової потужності систем тепlopостачання будівлі

Визначена величина теплової потужності використовується при впровадженні заходу з модернізації теплового пункту застарілої конструкції на об'єкті енергетичного обстеження на сучасний індивідуальний тепловий пункт з елементами автоматичного керування за режимами теплоспоживання або запровадження системи моніторингу теплоспоживання.

Розрахункові величини температур приймаються наступні:

- внутрішня температура приміщень  $t_b = 20^{\circ}\text{C}$  (за вимогами температурного режиму [5, табл.В.2]);
- температура зовнішнього повітря  $t_{3,п} = -25^{\circ}\text{C}$  [6].

Визначення фактичної питомої опалювальної характеристики будівлі [11], Вт/м<sup>3</sup>·°С, за дійсними параметрами стану огорожувальних конструкцій (див. таблиця 2.1):

$$q_{\text{пит}}^{\Phi} = \frac{P_{\phi}}{F_{\phi}} \cdot \left( \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТН}}} + g_0 \cdot \left( \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ВКН}}} - \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТН}}} \right) \right) + \frac{1}{H_{\phi}} \cdot \left( 0,9 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТЛ}}} + 0,6 \cdot \frac{1}{R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ПДЛГ}}} \right), \quad (2.1)$$

де  $P_{\phi}$  – периметр будівлі за зовнішніми розмірами огорожувальних конструкцій, м;

$F_{\phi}$  – площа будівлі в межах периметра, м<sup>2</sup>;

$H_{\phi}$  – висота будівлі в межах опалюваних приміщень, м;

$g_0$  – коефіцієнт скління будівлі;

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТН}}$  – приведений опір теплопередачі зовнішніх стін, м<sup>2</sup>·К/Вт (див. таблиця 2.1);

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{СТЛ}}$  – приведений опір теплопередачі стелі будівлі, м<sup>2</sup>·К/Вт (див. таблиця 2.1);

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ПДЛГ}}$  – термічний опір теплопередачі підлоги будівлі, м<sup>2</sup>·К/Вт (див. таблиця 2.1);

$R_{\Sigma\text{пр}}^{\text{ВКН}}$  – опір теплопередачі вікон, м<sup>2</sup>·К/Вт (див. таблиця 2.1).

Максимальна розрахункова теплова потужність будівлі за збільшеними показниками, яка можлива для даної будівлі, кВт, за опалювальний період визначається так [11]:

$$Q_{\phi} = a \cdot q_{\text{пит}}^{\Phi} \cdot V_{\phi} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з.р}}) \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

де  $V_{\phi}$  – зовнішній об'єм будівлі в межах опалювальних приміщень, м<sup>3</sup>;

$t_{\text{в}}$  – температура по приміщеннях будівлі, °С [5, табл.В.2];



$t_{з.р}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря для міста, де розташована будівля, °C [6];

$a$  – поправковий коефіцієнт, який визначається як [11]:

$$a = 0,54 + \frac{t_{в}}{(t_{в} - t_{з.р})} = 0,54 + \frac{21}{(21 - (-25))} = 1$$

Фактична питома опалювальна характеристика будівлі головного корпусу

$$\begin{aligned} q_{\text{пит}}^{\phi} &= \frac{105,84}{615,86} \cdot \left( \frac{1}{0,89} + 0,2 \cdot \left( \frac{1}{0,9} - \frac{1}{0,89} \right) \right) + \frac{1}{15,5} \cdot \left( 0,9 \cdot \frac{1}{1,14} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,32} \right) \\ &= 0,38 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°C} \end{aligned}$$

Фактична питома опалювальна характеристика будівлі молодшої школи

$$\begin{aligned} q_{\text{пит}}^{\phi} &= \frac{213,79}{482,66} \cdot \left( \frac{1}{1,23} + 0,06 \cdot \left( \frac{1}{1,05} - \frac{1}{1,23} \right) \right) + \frac{1}{7,5} \cdot \left( 0,9 \cdot \frac{1}{1,14} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,32} \right) \\ &= 0,7 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°C} \end{aligned}$$

Фактична питома опалювальна характеристика будівлі їдальні

$$\begin{aligned} q_{\text{пит}}^{\phi} &= \frac{50,96}{162,77} \cdot \left( \frac{1}{0,89} + 0,17 \cdot \left( \frac{1}{1,05} - \frac{1}{0,89} \right) \right) + \frac{1}{5,8} \cdot \left( 0,9 \cdot \frac{1}{1,14} + 0,6 \cdot \frac{1}{0,82} \right) \\ &= 0,64 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°C} \end{aligned}$$

Максимальна розрахункова теплова потужність будівлі головного корпусу

$$Q_{\phi} = 1 \cdot 0,38 \cdot 6466,53 \cdot (21 - (-25)) \cdot 10^{-3} = 113,03 \text{ кВт}$$

Максимальна розрахункова теплова потужність будівлі молодшої школи

$$Q_6 = 1 \cdot 0,7 \cdot 1698,31 \cdot (21 - (-25)) \cdot 10^{-3} = 54,68 \text{ кВт}$$

Максимальна розрахункова теплова потужність будівлі ідальні

$$Q_6 = 1 \cdot 0,64 \cdot 455,76 \cdot (21 - (-25)) \cdot 10^{-3} = 13,42 \text{ кВт}$$

Сумарна максимальна розрахункова теплова потужність будівель ЗОШ №13

$$Q_6 = 113,03 + 54,68 + 13,42 = 181,14 \text{ кВт}$$

Як було зазначено вище, у наступних розрахунках, за базовий порівняльний період приймається опалювальний період 2018–2019 року.

Розрахунковий рівень теплової енергії на опалення будівлі за визначеним періодом, Гкал, в умовах запровадження режиму чергового опалення визначається, як:

$$Q_{p.op} = \frac{Q_6}{(t_B^{cp} - t_{z.p})} \cdot [(t_B^{cp} - t_{cp.l}) \cdot (n_{op} - n_{nr}) + (t_{чeрг} - t_{cp.l}) \cdot n_{nr}] \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} \quad (2.3)$$

де  $t_B^{cp}$  – осереднена температура по приміщеннях будівлі, °С;

$t_{z.p}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря [6], °С;

$t_{cp.l}$  – середня температура зовнішнього повітря за відповідний період, де розташована будівля, °С [6];

$t_{чeрг}$  – чергова температура повітря у приміщенні у неробочий час (приймається як для житлових приміщень –  $t_{чeрг} = 15^{\circ}\text{C}$ );

$n_{op}$  – кількість годин за відповідний період опалення;

$n_{nr}$  – кількість неробочих годин за опалювальний період (рік), год/рік:

$$n_{\text{нр}} = (n_{\text{оп}} - n_{\text{вих}}) \cdot (24 - n_{\text{р}}) + 24 \cdot n_{\text{вих}} \quad (2.4)$$

де  $n_{\text{вих}}$  – кількість вихідних та святкових днів за відповідний період опалення;

$n_{\text{р}}$  – кількість годин за робочу добу коли не застосовується чергове опалення.

$$n_{\text{нр}} = (166 - 26) \cdot (24 - 13) + 24 \cdot 26 = 2164 \text{ год}$$

Розрахункова величина теплової енергії, яка потрібна була для опалення всіх будівель за опалювальний період 2018–2019 року (166 днів, 3984 год), при умові дотримання температурного режиму у системі теплопостачання, та середній температурі за опалювальний сезон (2.11.2018–16.04.2019)  $-0,2^{\circ}\text{C}$  [9] буде становити:

$$Q_{\text{р.оп}} = \frac{181,14}{(21 - (-25))} \cdot [(20 - (-0,2)) \cdot (3984 - 2164) + (15 - (-0,2)) \cdot 2164] \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} = 233,47 \text{ Гкал}$$

Згідно наданих облікових даних по закладу за опалювальний 2018–2019 рік, фактичні обсяги теплоспоживання на опалення закладу становлять  $Q_{\text{ф.оп}}=176,14$  Гкал. Фактична величина є меншою від необхідної розрахункової на 24,6%

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 теплопостачання, що може бути пов'язано з недодержанням температурного графіку у магістральних мережах, а також із-за некоректного регулювання обсягів теплонадходження за допомогою вентиля, який встановлений у тепловій пункті на вході в систему теплопостачання будівлі.

Встановлено такий факт, що температура теплоносія, який подається у систему опалення, не відповідає затвердженому температурному графіку централізованого теплопостачання, до якого під'єднаний заклад. Наприклад, облікові показники температури теплоносія на вході у тепловий пункт, які при середньодобовій температурі зовнішнього повітря нуль градусів за шкалою Цельсія дорівнюють у середньому значенні  $51,8^{\circ}\text{C}$ .

Враховуючи додатково дійсний стан огорожувальних конструкцій об'єкту щодо їх невідповідності нормованим показникам опору теплопередачі (див. таблиця 2.1), загальний рівень енергоефективності будівлі та функціонування системи опалення є низьким.

### 2.3 Визначення базового рівня енергоспоживання системою теплопостачання об'єкту

Статистичні дані багаторічного моніторингу енергоспоживання будівлями різного призначення свідчать про те, що їх системи теплопостачання є одними з найбільш енерговитратних, тому при розробленні заходів з енергозбереження для підвищення енергоефективності роботи таких систем, необхідно визначитись з базовим рівнем показників теплоспоживання, від яких буде обраховуватись майбутня економія витрат.

Базовий рівень споживання теплової енергії – показник споживання теплової енергії будівлями при дійсному їх стані до початку впровадження енергоефективних заходів. Або, як визначено у [10, п.3.1]: Базове енергоспоживання – кількість енергії, яку споживає будівля в розрахункових умовах внутрішнього мікроклімату в будівлі та зовнішнього середовища при проектних характеристиках функціонування відповідних інженерних систем будівлі.

При подальшому визначені економії енерговитрат від впровадження енергозберіжних заходів, базовий показник рівня енергоспоживання повинен бути скоригований з урахуванням необхідності дотримання санітарних умов перебування персоналу та відвідувачів за нормативними показниками при розрахункових температурах зовнішнього повітря, а також мають враховуватися всі індивідуальні конструктивні особливості дійсного стану будівлі на момент проведення енергоаудиту.

Фактичні величини теплоспоживання за останній звітний період опалювального року приймаються базовими, і у подальшому від них будуть розраховуватися відхилення рівня теплоспоживання.

Як було зазначено вище, у наступному порівняльному аналізі, за базовий період приймається опалювальний період 2018–2019 року.

На рисунку 2.3 представлені графіки базового (фактичного) рівня теплоспоживання та за нормативними розрахунковими показниками ЗОШ №13 за опалювальний період 2018–2019 років.

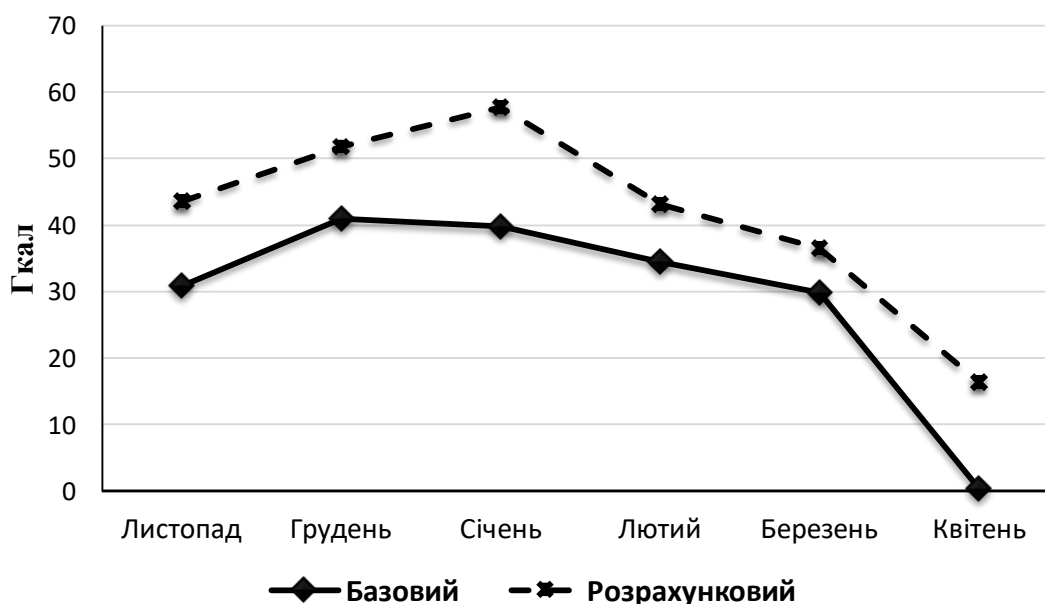


Рисунок 2.3 – Співвідношення базового теплоспоживання з розрахунковим теплоспоживанням за опалювальний період 2018–2019 роки

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 ефективної технології якісного та кількісного регулювання обсягів споживання теплоенергії.

#### 2.4 Утеплення огорожувальних конструкцій

Оскільки стіни складають переважну площу огорожуючих конструкцій, то саме через них проходить більша частина теплових втрат. Тому додаткове утеплення стін спеціальними матеріалами здатне значно скоротити витрати теплової енергії загалом по будівлі, і відповідно зменшити потужність опалення та плату за спожиту теплову енергію.

Для утеплення стін та стелі будівлі пропонується використати мінеральну вату.

Рекомендується утеплити стіни молодшої школи та їдальні, так як головний корпус Сумської ЗОШ № 13 є пам'ятка архітектури міста, а стелю по всіх будівлях закладу,.

Розрахунок виконано відповідно до методики [12].

Необхідну товщину теплоізоляційного шару утеплення стін визначаємо за формулою:

$$\delta_{\text{ут}} = (R_{\text{qmin}} - R_{\text{ст}}) \cdot \lambda_{\text{ут}} \quad (3.1)$$

де  $\lambda_{\text{ут}} = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  – теплопровідність ізолюючого матеріалу.

$$\delta_{\text{ут}} = (3,3 - 0,89) \cdot 0,04 = 0,0964 \text{ м.}$$

Необхідну товщину теплоізоляційного шару для утеплення стелі:

$$\delta_{\text{ут}} = (3,3 - 1,14) \cdot 0,04 = 0,0864 \text{ м.}$$

Отже, товщина ізоляції для стін та для стелі приймаємо 100 мм.

Розрахуємо втрати через стіни після ізоляції по формулі:

$$Q_{\text{стн}}^{\text{із}} = \frac{F_{\text{стн}}}{R_{\text{qmin}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n \quad (3.2)$$

$$Q_{\text{стн}}^{\text{із}} = \frac{1691,98}{3,3} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 23585,287 \text{ Вт.}$$

Втрати через стелю після ізоляції :

$$Q_{\text{стл}}^{\text{із}} = \frac{1261,29}{3,3} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 17581,62 \text{ Вт.}$$

Втрати через неутеплену стіну визначимо наступним чином:

$$Q_{\text{стн.}} = \frac{F_{\text{стн.}}}{R_{\Sigma\text{пр}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n \quad (3.3)$$

Для молодшої школи:

$$Q_{\text{стн}} = \frac{1465,42}{1,23} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 54804,51 \text{ Вт}$$

Для їдальні:

$$Q_{\text{стн}} = \frac{226,56}{0,89} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 11710,25 \text{ Вт}$$

Втрати через неутеплену стелю:

$$Q_{\text{стл}} = \frac{1261,29}{1,14} \cdot (21 - (-25)) \cdot 1 = 50894,157 \text{ Вт}$$

Різницю між втратами через стіни та стелю до та після утеплення по формулі [12]:

$$\Delta Q_{\text{стн}} = Q_{\text{стн}} - Q_{\text{ог.к.}}^{\text{із}} \quad (3.4)$$

$$\Delta Q_{\text{стн}} = 66515,766 - 23585,287 = 42930,479 \text{ Вт} = 42,930 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{\text{стл}} = 50894,157 - 17581,62 = 33312,537 \text{ Вт} = 33,312 \text{ кВт.}$$

Тепловтрати за опалювальний період до утеплення визначимо за формулою:

$$Q_{\text{стн}}^{\text{рік}} = Q_{\text{стн}} \cdot \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{ср.оп}})}{(t_{\text{в}} - t_{\text{з}})} \cdot 24 \cdot n_{\text{оп}} \quad (3.5)$$

де  $t_{\text{ср.оп}} = -0,2^{\circ}\text{C}$  – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період,  $^{\circ}\text{C}$  [13];

$n_{\text{оп}}$  – тривалість опалювального періоду.

$$Q_{\text{стн}}^{\text{рік}} = 66515,766 \cdot \frac{(21 - (-0,2))}{(21 - (-25))} \cdot 24 \cdot 166 = 122129,887 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{рік}}$$

$$Q_{\text{стн}}^{\text{рік}} = 105 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

$$Q_{\text{стл}}^{\text{рік}} = 50894,157 \cdot \frac{(21 - (-0,2))}{(21 - (-25))} \cdot 24 \cdot 166 = 93446,982 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{рік}}$$



$$Q_{\text{стн}}^{\text{рік}} = 80 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

Тепловтрати за опалювальний період після утеплення:

$$Q_{\text{ут стн}}^{\text{рік}} = 23,585 \cdot \frac{(21 - (-0,2))}{(21 - (-25))} \cdot 24 \cdot 166 = 43304,52 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{рік}}$$

$$Q_{\text{ут стн}}^{\text{рік}} = 37,23 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

$$Q_{\text{ут стл}}^{\text{рік}} = 17,581 \cdot \frac{(21 - (-0,2))}{(21 - (-25))} \cdot 24 \cdot 166 = 32280,55 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{рік}}$$

$$Q_{\text{ут стл}}^{\text{рік}} = 27,75 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

Різниця споживання теплової енергії внаслідок впровадження заходу з утеплення огорожувальних конструкцій:

$$Q_{\text{зах стн}}^{\text{Ек.рік}} = Q_{\text{стн}}^{\text{рік}} - Q_{\text{ут стн}}^{\text{рік}} \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{зах стн}}^{\text{Ек.рік}} = 105 - 37,23 = 67,77 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

$$Q_{\text{зах стл}}^{\text{Ек.рік}} = 80 - 27,75 = 52,25 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

Для приведення у відповідність розрахункового результату економії теплової енергії від впровадження енергозберіжного заходу до базового рівня

споживання теплоти за останній опалювальний період, необхідно провести корегувальні розрахунки.

$$\delta Q_{\text{зах}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{Q_{\text{зах}}^{\text{Ек.рік}} \cdot 100}{Q_{\text{р.п}}}, \% \quad (3.7)$$

де  $Q_{\text{зах}}^{\text{Ек.рік}}$  – розрахункова величина економії теплової енергії за опалювальний рік від енергозбережного заходу, Гкал/рік;

$Q_{\text{р.п}} = 233,47$  Гкал/рік – розрахункова величина теплової енергії, яку повинно було спожити всією будівлею за останній опалювальний період (величина розрахована у п.2.2 відповідно до формули 2.3).

$$\delta Q_{\text{зах стн}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{67,77 \cdot 100}{233,47} = 29,03 \%$$

$$\delta Q_{\text{зах стл}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{52,25 \cdot 100}{233,47} = 22,38 \%$$

Визначене відсоткове співвідношення переноситься на дійсну (фактичну) величину споживання теплової енергії за останній опалювальний період  $Q_{\text{д.оп}} = 176,14$  Гкал/рік (відповідно до пункту 1.3), який є базовим рівнем теплоспоживання. Таким чином, скорегована економія тепла від базового рівня споживання Гкал/рік, визначається як:

$$Q_{\text{зах.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{\delta Q_{\text{зах}}^{\text{Ек.рік}} \cdot Q_{\text{д.оп}}}{100} \quad (3.8)$$

Для стін:

$$Q_{\text{зах.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{29,03 \cdot 176,14}{100} = 51,11 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

Для стелі:

$$Q_{\text{зах.б}}^{\text{Ек.рік}} = \frac{22,38 \cdot 176,14}{100} = 39,42 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

Вартісна оцінка зекономленої енергії за рік (для розрахунку за опалення в Гкал), тис.грн

$$\Delta E = \delta Q_{\text{зах.б}}^{\text{Ек.рік}} \cdot \frac{S_{\text{Гкал}}}{1000} \quad (3.9)$$

де  $S_{\text{Гкал}}$  – вартість 1 Гкал теплової енергії на опалення, грн/Гкал.

$$\Delta E_{\text{стн}} = 51,11 \cdot \frac{1559,67}{1000} = 79,714 \text{ тис. грн}$$

$$\Delta E_{\text{стл}} = 39,42 \cdot \frac{1559,67}{1000} = 61,482 \text{ тис. грн}$$

Рекомендується утеплити стіни мінеральною ватою Isover товщиною 100 мм. Вартість однієї упаковки плити мінеральної вати складає 420 грн за  $6,1\text{ м}^2$  (відповідно  $68,85$  грн/ $\text{м}^2$ ) [14]. Вартість робіт по встановленню плит складає  $100$  грн/ $\text{м}^2$  [15]. Тоді вартість впровадження заходу знаходимо по формулі:

$$C_{\text{впров}} = F_{\text{стн}} \cdot (C_{\text{тов}} + C_{\text{робіт}}) \quad (3.10)$$

де  $C_{\text{тов}}$  – вартість одиниці продукції, грн;

$C_{\text{робіт}}$  – вартість робіт на монтаж одиниці продукції, грн.

Вартість впровадження заходу для стін складає:

$$C_{\text{впров}} = 1691,98 \cdot (100 + 68,85) = 285692,17 \text{ грн.}$$

Для стелі:

$$C_{\text{впров}} = 1261,3 \cdot (100 + 68,85) = 212968,82 \text{ грн.}$$

Надалі визначимо чистий дисконтований дохід (NPV).

Чистий дисконтований дохід NPV (Net Present Value). Чистий дисконтований дохід (чиста приведена вартість) – чистий дисконтований показник цінності проекту, визначається як сума дисконтованих значень нетто-надходжень (надходжень за винятком витрат), одержуваних у кожному році упродовж строку життя проекту. Будь-який проект, що дає позитивне значення NPV при обраній ставці дисконтування, є прийнятним [29].

Чим більше значення NPV, тим вигідніше проект. Чистий дисконтований дохід є найбільш широко використовуваним показником для вибору з порівнюваних взаємовиключних проектів [29]:

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{B_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (3.11)$$

Критерій рентабельності –  $NPV > 0$ .

Визначаємо рентабельність з прибутку  $R_p$  за формулою [29]:

$$R_p = \sum_{t=1}^T \Pi_t / \sum_{t=1}^T (B_t + K_t), \quad (3.12)$$

- де  $\Pi$  – прибуток, грн;

$B$  – поточні витрати, грн;

$K$  – капітальні витрати, грн;

$T$  – останній рік розрахункового періоду, рік;

$t$  – поточний рік у розрахунковий період, рік.

Термін окупності проекту визначимо згідно формули [29]:

$$T_{\text{ок}} = K \cdot (1 + E)^t / \sum_{t=1}^T (D_t - B_t), \quad (3.13)$$

- де  $E$  – ставка дисконтування, частка од.;

-  $D$  – дохід, грн.

## Розрахунок NPV

Рентабельність відповідно до формули (3.12):

- для стін:

$$R_p = 79714/285692,17 = 0,3$$

- для стелі:

$$R_p = 61482/212968,82 = 0,28$$

Термін окупності проекту визначимо згідно формули (3.13):

- для стін:

$$T_{ок} = 28592,17 \cdot (1 + 0,25)/79714 = 4,4 \text{ роки.}$$

- для стелі:

$$T_{ок} = 212968,82 \cdot (1 + 0,25)/61482 = 4,3 \text{ роки.}$$

Таблиця 2.4 - Показник чистої приведеної вартості NPV:

Рік	Стіни			Стеля		
	Витрата грн	Грошовий потік, Сп, грн	Чистий дисконтований потік, грн	Витрата грн	Грошовий потік, Сп, грн	Чистий дисконтований потік, грн
0	285692,17	-	-	212968,82		
1		79714	63771,2		61482	49185,6
2		79714	51016,9		61482	39348,5
3		79714	40813,6		61482	31478,8
4		79714	32650,8		61482	25183,0
5		79714	26120,7		61482	20146,4
6		79714	20896,5		61482	16117,1
7		79714	16717,3		61482	12893,7
8		79714	13378,8		61482	10314,9
9		79714	10699,1		61482	8251,9
10		79714	8559,2		61482	6601,6
11		79714	6847,4		61482	5281,2
12		79714	5477,9		61482	4225,0
13		79714	4382,3		61482	3380,0
14		79714	3505,8		61482	2704,0
15		79714	2804,7		61482	2163,2
Ставка дисконтування			25%	Ставка дисконтування		
NPV			22050,13	NPV		
				24306,08		

## 2.5 Встановлення індивідуального теплового пункту

На об'єкті енергетичного обстеження рекомендується встановити індивідуальний тепловий пункт (далі ІТП).

Індивідуальний тепловий пункт – це автоматизована модульна установка, що передає теплову енергію від зовнішніх теплових мереж (котельної) до системи опалення, гарячого водопостачання, вентиляції або технологічних процесів житлових та промислових будівель [28].

Енергозбереження досягається, зокрема, за рахунок регулювання температури теплоносія з урахуванням поправки на зміну температури зовнішнього повітря. Для таких цілей в кожному ІТП застосовують комплекс обладнання (рис. 2.5) для забезпечення необхідної циркуляції в системі опалення (циркуляційні насоси) і регулювання температури теплоносія (клапани з електричними приводами, контролери з датчиками температури) [26].

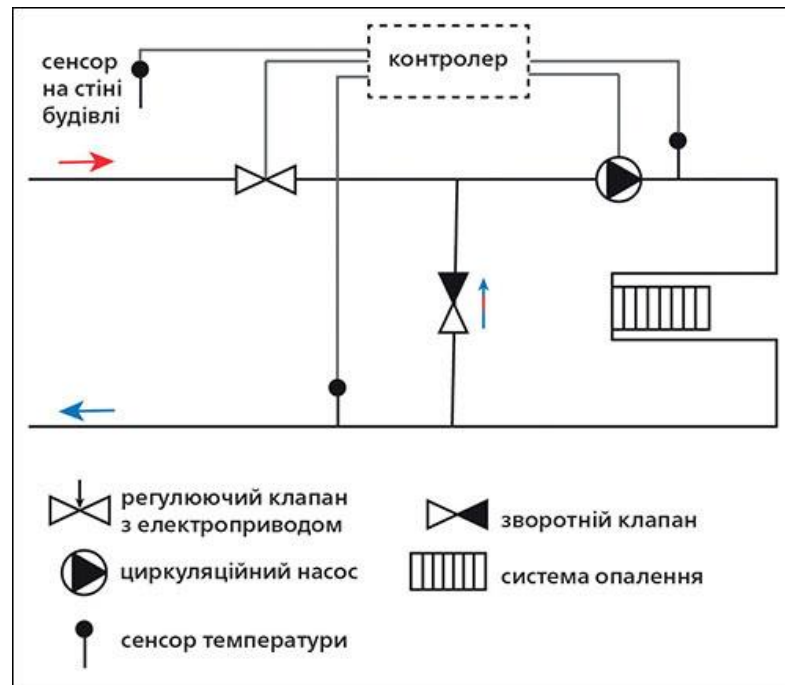


Рис. 2.5.1 – Принципова схема ІТП з використанням контролера, регулюючого клапана та циркуляційного насоса

Обираємо ІТП за максимальною розрахунковою тепловою потужністю будівлі, відповідно до пункту 2.2, а саме 181,14 кВт.



Рисунок 2.5.2 – Індивідуальний тепловий пункт ІТП-250 кВт

Обраний індивідуальний тепловий пункт модульний ІТП ГВП 250 кВт ГВ-250-1 798348 [27], вартість складає 133400 грн. Вартість робіт по установленню складає 2000 грн.

Сумарні витрати на встановлення ІТП складає 135400 грн.

Проектування ІТП здійснюється з дотриманням вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», ДБН В.2.5:2008 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі» та ДБН В.2.2-15:2019 «Житлові будинки. Основні положення».

Для того, щоб визначити економію після встановлення індивідуального теплового пункту, скористаємось даними Сумської спеціалізованої школи І-ІІІ ступенів № 1 ім. В. Стрельченка. Так як дана економія є фактичною після

встановлення ІТП для будівлі, яка знаходиться в одній температурній зоні з об'єктом дослідження.

Згідно з журналами обліку кількість спожитої теплової енергії складає:

- 2017-2018 р – 706,08 Гкал;
- 2018-2019 р. – 654,81 Гкал;
- 2019-2020 р. – 535,89 Гкал.

Індивідуальний тепловий пункт встановлено в 2018 році, тому порахуємо економію згідно журналу обліку за 2019 р.

У відсотковому співвідношенні складає 18,16%.

За опалювальний період 2018–2019 кількість спожитої енергії на об'єкті складає 176,14 Гкал ( відповідно до пункту 1.4), вартість 1 Гкал = 1559,67 грн (відповідно до пункту 2.4).

Економія в грошовому еквіваленті складає:

$$176,14 \cdot 18,16\% = 31,98 \text{ Гкал} \cdot 1559,67 \frac{\text{грн}}{\text{Гкал}} = 49878,25 \text{ грн}$$

Розрахунок NPV відповідно до методики [29].

Рентабельність відповідно до формули (3.12):

$$R_p = 49878,25 / 135400 = 0,36$$

Термін окупності проекту визначимо згідно формули (3.13):

$$T_{ок} = 135400 \cdot \frac{(1 + 0,25)}{49878,25} = 3,4 \text{ року.}$$

Значення чистої приведеної вартості наведено в таблиці 2.5.



Таблиця 2.5 – Показник чистої приведеної вартості NPV:

Рік	Витрата, грн	Грошовий потік, Сп, грн	Чистий дисконтований потік, грн
0	135400	-	-
1		49878,25	39902,6
2		49878,25	31922,1
3		49878,25	25537,6
4		49878,25	20430,1
5		49878,25	16344,1
6		49878,25	13075,3
7		49878,25	10460,2
8		49878,25	8368,2
9		49878,25	6694,5
10		49878,25	5355,6
11		49878,25	4284,2
12		49878,25	3427,6
13		49878,25	2742,1
14		49878,25	2193,6
15		49878,25	1754
Ставка дисконтування			25%
NPV			57091,8

## 2.6 Впровадження системи моніторингу теплоспоживання

### 2.6.1 Рекомендації щодо модернізації тепlopункту об'єкту

Теплозабезпечення об'єктів соціальної інфраструктури (будівлі навчальних закладів, медичних закладів, будівлі органів місцевої влади, та інших) та багатоквартирних житлових будинків міста, що живляться від централізованих систем тепlopостачання має бути організоване з урахуванням вимог ДБН В.2.5-39:2008, «Правил технічної експлуатації

тепловикористовуючих установок та теплових мереж» [3], і має відповідати критеріям щодо:

- надійності теплопостачання споживачів теплоносієм заданих параметрів;
- максимальної ефективності експлуатації діючої системи за рахунок:

  - дотримання параметрів теплоносія централізованих систем у повній відповідності до температурного графіка його подачі у централізовану мережу з урахуванням регулювання його споживання на індивідуальних теплових пунктах опалюваних будівель;
  - технічної та організаційної можливості регулювання подачі теплоносія у будівлі з використанням індивідуальних теплових пунктів, а також з урахуванням режимів та графіків функціонування установ, що розташовані у таких будівлях;
  - впровадження заходів щодо модернізації та реконструкції діючих джерел теплової енергії, підвищення їх завантаженості;
  - переважного використання найбільш енергоефективних напрямів оптимізації системи при транспортуванні теплової енергії [3].

У місті Суми схема централізованого розподілу тепла функціонує через вбудовані у будівлях теплові пункти. Системи опалення спроектовані як закриті та залежні. Опалення будівель здійснюється головним чином за закритою схемою з використанням елеваторного пристрою. Залежна схема опалення з прямим підключенням будинків запроектована в минулому столітті, в ті часи перевагу віддавали схемам з найменшими первісними капіталовкладеннями та доволі суттєвими експлуатаційними витратами. Сьогодні ситуація докорінно змінилась. Енергетичні ресурси здорожчали у багато разів, тому експлуатаційні витрати стали вкрай високі. Суттєві нераціональні витрати системи розподілу теплової енергії пов'язані з експлуатацією застарілих теплових пунктів які не обладнані приладами

керування та автоматизації, за допомогою яких має здійснюватися регулювання теплового потоку.

Споживач теплової енергії, який підключений до централізованої системи тепlopостачання у м. Суми опалюється у відповідності до теплового графіку подачі теплоносія системи. У закладі практично відсутні технічні можливості додаткового регулювання надходження теплової енергії до будівлі. Це також стосується будівель шкіл, дитячих садків, адміністративних будівель та інших, де за графіком їх функціонування доречно організувати чергове опалення. Цей недолік централізованої системи опалення доцільно виправити встановленням на ввіді до будівлі індивідуальних теплових пунктів з функцією погодозалежного регулювання та програмування зміни теплового навантаження за добовим графіком, у відповідності до розкладу роботи закладу, що розташовується у будівлі.

У залежності від величини теплового навантаження будівлі та наявності додаткового обладнання щодо приготування гарячої води до впровадження на об'єкті пропонується індивідуальний тепловий пункт.

Використання такого індивідуального теплового пункту дозволяє проводити регулювання індивідуального споживання тепла будівлею у відповідності до індивідуальних теплових властивостей будівлі, температурних показників повітря навколишнього середовища та добового графіку функціонування установи у автоматичному або «ручному» режимі, а також забезпечувати потреби установи у гарячій воді через індивідуальний проміжний теплообмінник.

Застереженням щодо застосування індивідуального теплообмінника має бути температурний графік подачі теплоносія централізованої системи тепlopостачання, за яким температура прямого теплоносія  $T_1$  не може бути нижче  $70^{\circ}\text{C}$  (згідно чинних нормативів) для отримання необхідної температури гарячої води на виході з теплообмінника.

## 2.6.2 Перелік обладнання, необхідного для організації та функціонування системи моніторингу

Зважаючи на технічний стан огорожувальних конструкції будівлі установи, що підключена до системи централізованого теплопостачання, а також графік функціонування закладу, вбачається доцільним впровадження у теплопункті закладу автоматизованої системи моніторингу та короткотермінового прогнозування теплоспоживання будівлею.

Така система апробована у м. Суми і дає можливість у режимі «on-line» (он-лайн) контролювати реальне теплоспоживання будівлею, виключаючи «людський фактор». Результати функціонування системи з запровадженням регулювання показують зниження фактичного теплоспоживання за опалювальний сезон на 10%.

Підготовчі роботи, які необхідно провести до початку функціонування системи у автоматичному режимі:

- проведення енергетичного аудиту будівлі, одним з результатів якого повинно бути визначене індивідуальне контрольне базове теплоспоживання у т. ч. при застосуванні «чергового» опалення; режими функціонування системи опалення будівлі у години «чергового опалення»;
- визначення контрольних параметрів регулювання теплоспоживання (температура теплоносія, миттєве теплове навантаження, алгоритм регулювання);
- проведення тестової експлуатації системи.

Система побудована з використанням новітніх інформаційних технологій з каналами зв'язку через Internet, локальні власні мережі, або мережі мобільного зв'язку. Основною умовою для побудови системи є наявність на об'єкті теплового лічильника з цифровим виходом для зняття інформації.

Запровадження системи диспетчеризації надає можливість максимально заощаджувати на споживанні теплової енергії за рахунок узгодження дійсних потреб у тепловій енергії з її виробництвом у котельнях. Принципова схема організації обліку та моніторингу теплової енергії з переліком необхідного для цього обладнання зображена на рис 2.6.

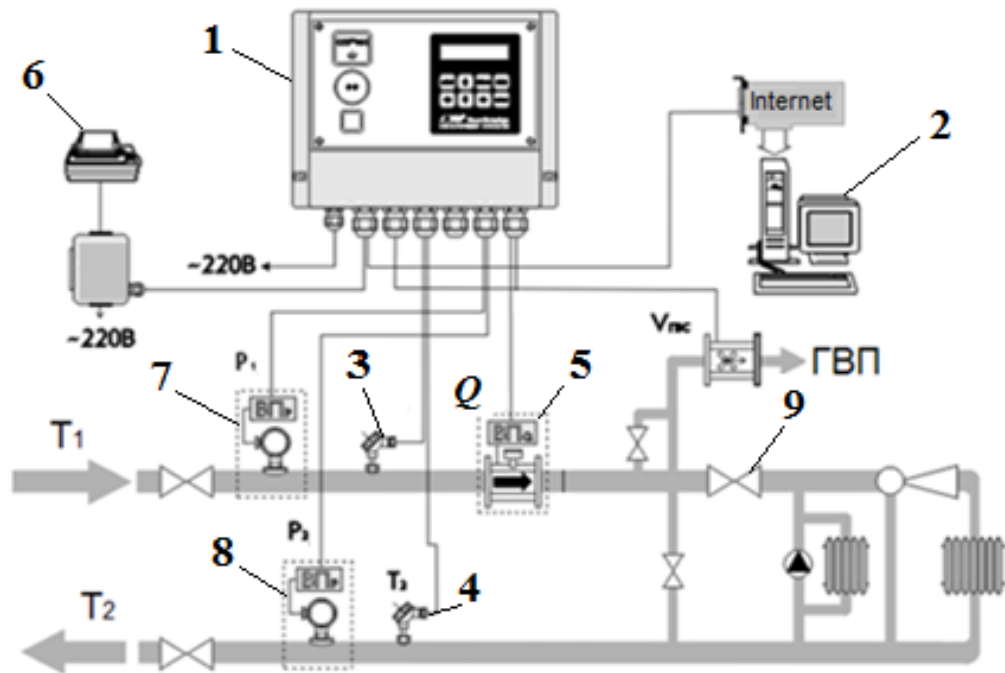


Рисунок 2.6 – Принципова схема організації обліку та моніторингу теплової енергії.

1 – теплотічильник; 2 – комп'ютеризоване робоче місце з моніторингу теплоспоживання; 3 – пристрій контролю температури на вході до системи тепlopостачання будівлі; 4 – пристрій контролю температури на виході з системи тепlopостачання будівлі; 5 – лічильник витрати теплоносія; 6 – пристрій (модем) для передавання даних в Інтернет; 7, 8 – пристрої з контролю тиску відповідно на вході та виході з системи тепlopостачання будівлі; 9 – вентиль на лінії подавання теплоносія до будівлі.

Система дозволяє в режимі он-лайн відслідковувати фактичне теплоспоживання будівель, визначати його прогнозне значення та проводити порівняння між фактичним і прогнозним показниками відповідно до зміни

температури навколишнього середовища. Результатами роботи системи є як економічні (економія дефіцитних енергоресурсів та бюджетних коштів) і соціальні (забезпечення комфортного мікроклімату у приміщеннях), так й екологічні (скорочення викидів CO<sub>2</sub> та забруднення довкілля внаслідок зменшення обсягів використання палива) вигоди.

Для спрощення практичного регулювання теплоспоживання за допомогою наявного інструментарію як контрольна цифра системи моніторингу використовується показник миттєвого теплового навантаження будівлі, що контролюється за допомогою лічильника тепла. Виходячи з цього, завданням персоналу бюджетних закладів є регулювання споживання теплоти будівлями з орієнтацією на значення миттєвого теплового навантаження. Дотримання даного контрольного показника забезпечує автоматичне дотримання ліміту теплоспоживання за певний період залежно від існуючих та прогнозованих температур навколишнього середовища.

### 2.6.3 Визначення базових параметрів будівлі для впровадження системи моніторингу теплоспоживання

Величина відхилення базового рівня теплоспоживання від розрахункового рівня теплоспоживання стає об'єктивною характеристикою ефективності експлуатації будівлі, та аргументацією щодо впровадження заходу з моніторингу споживання теплової енергії, який є одним з факторів виведення обсягів теплоспоживання до рівня сучасних показників енергоефективності.

За відлікову точку рівня базового теплоспоживання (з практичного досвіду) приймається величина спожитої теплової енергії за період коли середньодобова температура зовнішнього повітря становить нуль градусів за шкалою Цельсія.

Для проведення постійного контролю за рівнем теплоспоживання необхідно визначити розрахункову величину спожитої теплової енергії при нульовій температурі зовнішнього повітря з урахуванням розрахункової теплової потужності будівлі. При впровадженні системи моніторингу за обсягами теплоспоживання треба буде зводити до прийнятного рівня розрахункову величину теплоспоживання з величиною, отриманою при реальних умовах експлуатації за останній базовий звітній опалювальний період. Звичайно, після чергової реновації будівлі необхідно буде встановити нову базову норму для подальшого моніторингу ефективності споживання теплової енергії.

Розрахункова базова величина рівня теплоспоживання за період однієї доби коли середньодобова температура зовнішнього повітря дорівнює нуль градусів за шкалою Цельсія в умовах запровадження чергового опалення становить (2.3):

$$Q_{p.op} = \frac{181,14}{(21 - (-25))} \cdot [(20 - 0) \cdot (24 - 10) + (15 - 0) \cdot 10] \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} =$$

1,46 Гкал

При проведенні енергетичного обстеження системи теплоспоживання будівлі було проведено аналіз обсягів теплоспоживання при різних значеннях середньодобової температури зовнішнього повітря та отримані дані величин спожитої теплової енергії при середньодобовій температурі зовнішнього повітря яка дорівнює нуль градусів за шкалою Цельсія (див. табл. 2.6). При впровадженні системи моніторингу за базову величину теплоспоживання необхідно прийняти розрахункову – 1,46 Гкал за добу.

Таблиця 2.6 – Базові дані величин спожитої теплової енергії при середньодобовій температурі зовнішнього повітря яка дорівнює нуль градусів за шкалою Цельсія

Дата	Обсяг теплоспоживання, Гкал	Температура теплоносія, °C
13.12.2019	1,067	58,9
20.12.2019	1,285	57,5
09.01.2020	1,013	
10.01.2020	1,09	
15.01.2020	1,298	
20.01.2020	1,277	
21.01.2020	1,304	
23.01.2020	1,324	
05.02.2020	1,24	
24.02.2020	1,34	

2.6.4 Розрахунковий аналіз потенціалу економії теплової енергії в результаті впровадження системи моніторингу, термін окупності

Аналіз статистичних даних теплоспоживання будівлями закладів, які вже підключені до міської системи моніторингу теплоспоживання, засвідчив націленість їх персоналу на виконання прогнозованих режимів теплоспоживання. За результатами моніторингу протягом опалювальних сезонів практично на всіх об'єктах додержувалися запропонованих системою лімітів теплоспоживання, а на деяких навіть отримали економію. Економія, зокрема, виникла через деяку невідповідність початкового розрахунку базової величини теплового навантаження будівель при температурі навколишнього повітря 0°C, а також внаслідок додаткового зниження теплоспоживання у неробочі години закладів. Через раціоналізацію режимів теплоспоживання внаслідок функціонування системи моніторингу були досягнуті економія



енергоресурсів та бюджетних коштів на них, зниження обсягів забруднення довкілля.

Економія теплової енергії на об'єктах моніторингу склала від 0,8% до 18,95% при середньому рівні – 10% за сезон. Економія була одержана за рахунок дотримання прогнозованих лімітів теплоспоживання об'єктів та додаткових заходів щодо зниження теплового навантаження будівель у години відсутності людей у будівлях протягом доби.

Виходячи з чинного тарифу на теплову енергію, що становить на період 08 лютого 2019 року 1710,26 грн/Гкал з ПДВ, розрахункова економія коштів на теплоспоживання, відносно до рівня базового теплоспоживання за опалювальний сезон 2018–2019 рр.  $Q_{ф.оп}=176,14$  Гкал, з урахуванням прийнятої економії у 10%, становить:

$$E_{ф} = 176,14 \times 0,1 \times 1710,26 = 30124,52 \text{ грн. (з ПДВ).}$$

Згідно до запропонованої схеми організації обліку та моніторингу споживання теплової енергії, треба встановити у будівлі закладу наступне обладнання:

1. Термінал (універсальний контролер);
2. Модуль передачі даних;
3. Лічильник теплової енергії.

Вартість всього комплексу обладнання, необхідного для організації та функціонування системи моніторингу становить 28400,00 грн. з ПДВ.

Вартість проектних робіт та робіт з монтажу та налагодження системи моніторингу становить 9000,00 грн. з ПДВ.

Загальна сума всіх витрат складає  $K = 37400,00$  грн. з ПДВ.

Розрахунок NPV відповідно до методики [29].

Рентабельність відповідно до формули (3.12):

$$R_p = 30124,52/37400 = 0,8$$

Термін окупності проекту визначимо згідно формули (3.13):

$$T_{ок} = 37400 \cdot (1 + 0,25)/30124,52 = 1,55 \text{ роки.}$$

Таблиця 2.5 – Показник чистої приведеної вартості NPV:

Рік	Витрата, грн	Грошовий потік, Сп, грн	Чистий дисконтований потік, грн
0	37400	-	-
1		30124,52	29920
2		30124,52	23936
3		30124,52	19148,8
4		30124,52	15319,1
5		30124,52	12255,2
6		30124,52	9804,2
7		30124,52	7843,3
8		30124,52	6274,7
9		30124,52	5019,7
10		30124,52	4015,8
11		30124,52	3212,6
12		30124,52	2570,1
13		30124,52	2056,1
14		30124,52	1644,9
15		30124,52	1315,8
Ставка дисконтування			25%
NPV			106936,3

Таким чином, основним результатом функціонування системи моніторингу теплоспоживання впродовж опалювального сезону є те, що запропонована система моніторингу за теплоспоживанням економічно дієва і є ефективною з точки зору:

- 1) формування контрольного значення миттєвого теплоспоживання на поточний та прогнозований період;
- 2) визначення добового ліміту теплоспоживання будівлею залежно від температури зовнішнього повітря;
- 3) встановлення багаторівневого контролю за фактичним теплоспоживанням будівлями в режимі on-line;
- 4) можливостей формування звітних графіків теплоспоживання та порівняння їх з прогнозованими графіками лімітів теплоспоживання (за фактичними та прогнозованими температурами зовнішнього середовища);
- 5) можливості встановлення та перевірки базового теплового навантаження будівель;
- 6) мотивації персоналу адміністративними методами до своєчасного регулювання обсягів теплоспоживання будівлями;
- 7) можливостей впливу персоналу через коригувальні дії на процеси теплоспоживання;
- 8) можливості проведення порівняльного аналізу теплоспоживання будівлями з метою розробки та впровадження енергозберігаючих заходів, оцінки їх техніко-економічної ефективності.

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів що можуть виникнути при роботі енергоаудитора

Оскільки об'єктом дослідження є Комунальна установа Сумська загальноосвітня школа I-III ступенів № 13 імені А. С. Мачуленка, тобто навчальний заклад. Робота енергоаудитора полягає в обстеженні об'єкта, його систем теплопостачання, електропостачання та вентиляції, саме тому надалі проаналізуємо небезпечні і шкідливі фактори що можуть виникнути в навчальних закладах.

Мікроклімат .

Мікроклімат виробничих приміщень - умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення [16].

Роботу енергоаудитора на об'єкті, розглядаємо як постійне робоче місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то вся ця зона вважається постійним робочим місцем [16].

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються такими показниками:

- температура повітря,
- відносна вологість повітря,
- швидкість руху повітря,
- інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення,

- температура поверхні [16].

При виконанні робіт енергоаудитора слід дотримуватися оптимальні умови мікроклімату (температура повітря 22-24 °С, відносна вологість 60-40%, швидкість руху повітря не більш 0,1 м/с) [16].

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсоляція від зашкених огорожень не повинна перевищувати 35,0 Вт/м<sup>2</sup> – при опроміненні 50% та більше поверхні тіла, 70 Вт/м<sup>2</sup> – при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50%, та 100 Вт/м<sup>2</sup> – при опроміненні не більше 25% поверхні тіла працюючого [16].

При наявності джерел з інтенсивністю 35,0 Вт/м<sup>2</sup> і більше температура повітря на постійних робочих місцях не повинна перевищувати верхніх меж оптимальних значень для теплового періоду року, на непостійних – верхніх меж допустимих значень для постійних робочих місць [16].

Небезпечний виробничий фактор — виробничий фактор, дія якого за певних умов може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника.

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 небезпечні та шкідливі фактори за природою дії поділяються на такі групи:

#### 1. Фізичні

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать: рухомі машини та механізми; пересувні частини виробничого устаткування; підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура поверхонь устаткування, матеріалів чи повітря робочої зони; підвищений рівень шуму, вібрацій, інфразвукових коливань, ультразвуку, іонізуючих випромінювань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, ультрафіолетової чи інфрачервоної радіації; підвищені чи понижені барометричний тиск, вологість, іонізація та рухомість повітря; небезпечне значення напруги в електричному колі; підвищена напруженість електричного чи магнітного полів; відсутність чи

нестача природного світла; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; пряме та відбите випромінювання, що створює засліплюючу дію [17].

## 2. Хімічні

До хімічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать хімічні речовини, які за характером дії на організм людини поділяються на загально токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні, такі, що впливають на репродуктивну функцію [17].

## 3. Біологічні

До біологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, мікроскопічні гриби та ін.) та продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини та тварини) [17].

## 4. Психофізіологічні

До психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження) [17].

## Механічна безпека

Під механічними небезпеками розуміють такі небажані впливи на людину, походження яких обумовлене силами гравітації або кінетичною енергією тіл [18].

Механічні небезпеки створюються об'єктами природного та штучного походження, що падають, рухаються та обертаються. Наприклад, механічними небезпеками природної властивості є обвали та каменепади в горах, снігові лавини, селі, град та ін. Носіями механічних небезпек штучного походження є машини та механізми, різне обладнання, транспорт, будівлі та споруди та багато інших об'єктів, що діють в силу різних обставин на людину своєю масою, кінетичною енергією або іншими властивостями [18].

Об'єкти, що являють механічну небезпеку, можна поділити за наявністю енергії на два класи: енергетичні та потенційні. Енергетичні об'єкти діють на людину, тому що мають той чи інший енергетичний потенціал. Потенційні механічні небезпеки позбавлені енергії. Травмування у цьому випадку може статися за рахунок енергії самої людини. Наприклад, колючі, ріжучі предмети (цвяхи, що стирчать, задирки, леза тощо) являють собою небезпеку при випадковому контакті людини з ними. До потенційних небезпек відносяться також такі небезпеки, як нерівні та слизькі поверхні, по яким рухається людина, висота можливого падіння, відкриті люки та ін. Перераховані без енергетичні небезпеки є причиною численних травм (переломів, вивихів, струсів головного мозку, падінь, забитих місць) [18].

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики [19].

Особливості електротравматизму:

- людина не в змозі дистанційно, без спеціальних приладів, визначити наявність електричного струму, а тому його дія раптовою і захисна реакція організму проявляється лише після впливу струму;
- струм діє на органи не лише в місцях контакту зі струмопровідними частинами, але як надзвичайно сильний подразник, впливає на весь організм, що призводить до порушення функціонування життєво важливих систем організму: нервової, дихальної, серцево-судинної;
- електротравми можливі без дотику людини до струмопровідних частин (внаслідок утворення електричної дуги під час пробією повітряного проміжку між струмопровідними частинами і людиною чи землею) [19].

Блискавко захист — це система захисних пристроїв та заходів, що призначені для забезпечення безпеки людей, збереження будівель та споруд, устаткування й матеріалів від можливих вибухів, займань та руйнувань, спричинених блискавкою [20].

Блискавка — особливий вид проходження електричного струму через величезні повітряні прошарки, джерелом якого є атмосферний заряд, накопичений грозовою хмарою [20].

Розрізняють первинні (прямий удар) і вторинні прояви блискавки.

Прямий удар блискавки (ураження блискавкою) — безпосередній контакт каналу блискавки з будівлею чи спорудою, що супроводжується протіканням через неї струму блискавки [20].

Прямий удар блискавки спричинює на уражений об'єкт такі дії: електричну, що пов'язана з ураженням людей і тварин електричним струмом та виникненням перенапруги на елементах, якими струм відводиться в землю; теплову, що зумовлена значним виділенням теплоти на шляхах проходження струму блискавки через об'єкт; механічну, що спричинена ударною хвилею, яка поширюється від каналу блискавки, а також електродинамічними силами, що виникають у конструкціях, через які проходить струм блискавки [20].

Під вторинними проявами блискавки розуміють явища під час близьких розрядів блискавки, що супроводжуються появою потенціалів на конструкціях, трубопроводах, електропроводах всередині будівель і споруд, які не зазнали прямого удару блискавки. Вони виникають внаслідок електростатичної та електромагнітної індукції [20].

### 3.2 Розрахунок освітлення евакуаційного шляху

Евакуаційне освітлення підрозділяється на: освітлення шляхів евакуації, антипанічне освітлення і освітлення зон підвищеної небезпеки.

Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати безпечний вихід людей з приміщення в разі надзвичайної події, наприклад, відмова робочого освітлення, пожежа тощо.



Освітлення шляхів евакуації має забезпечувати створення прийнятних візуальних умов для евакуації людей з будівлі, а для місць виконання робіт зовні будівлі – у безпечне місце, створюючи при цьому умови для надійного виявлення засобів безпеки і обладнання для пожежогасіння[21].

Освітлення шляхів евакуації має забезпечувати протягом не менше 1 год.:

- 50 % нормованих освітленості через 5 с після порушення живлення робочого освітлення;

- 100 % нормованих освітленості через 60 с.

Освітлення шляхів евакуації в приміщеннях або місцях виконання робіт поза будинками має бути:

- перед кожним евакуаційним виходом;

- в коридорах і проходах по шляхах евакуації;

- в місцях зміни (перепаду) рівня підлоги або покриття;

- на сходах кожен марш повинен бути освітлений прямим світлом,

особливо верхня і нижня сходинки;

- в зоні кожної зміни напрямку шляху;

- на перетині проходів і коридорів;

- перед кожним пунктом медичної допомоги;

- в місцях розміщення засобів екстреного зв'язку;

- в місцях розміщення первинних засобів пожежогасіння;

- в місцях розміщення плану евакуації;

- зовні перед кожним кінцевим виходом з будівлі.

Антипанічне освітлення (освітлення площ приміщень розміром більше  $60 \text{ м}^2$ , в яких може бути 30 та більше людей) має забезпечувати прийнятні візуальні умови для запобігання паніки, безпечного руху людей в напрямку шляхів евакуації і видимість будь-яких перешкод заввишки до 2 м над площиною руху людей. [21]

Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати найменшу освітленість

на підлозі основних проходів (або на землі) і на сходах: у приміщеннях 0,5 лк, на відкритих територіях - 0,2 лк [22].

Нерівномірність евакуаційного освітлення (відношення максимальної освітленості до мінімальної) за віссю евакуаційних проходів повинна бути не більше 40:1.

Світильники освітлення безпеки в приміщеннях можуть бути використані для евакуаційного освітлення.

Для аварійного освітлення (освітлення безпеки і евакуаційного) слід застосовувати:

а) лампи розжарювання;

б) люмінесцентні лампи - у приміщеннях з мінімальною температурою повітря не менше 5 °С і за умови живлення ламп в усіх режимах напругою не нижче 90 % номінальної; допускається застосування люмінесцентних світильників із спеціальними лампами та схемами їх підключень, що забезпечують їх нормальну роботу при температурі повітря мінус 15 °С;

в) розрядні лампи високого тиску за умови їх миттєвого або швидкого повторного запалювання і як в гарячому стані після короткочасного відключення живильної напруги, так і в холодному стані[22].

#### Розрахунок

Евакуаційне освітлення повинно забезпечити освітленість не менш як 0,5 лк в приміщенні і 0,2 лк на відкритих площадках. [23]

Для розрахунку евакуаційного освітлення приміщень застосовується метод коефіцієнта використання світлового потоку, за допомогою якого визначають кількість світильників для даного приміщення [23]

Порядок проведення розрахунків:

1.Розраховують приблизну кількість світильників у приміщенні за формулою[23]:

$$N=(A \cdot B) / l^2 \quad (1)$$

A і B – довжина і ширина приміщення, м;

$H_p$  – висота підвісу світильників над рівнем робочої поверхні, м;

$$p = H - h_p - h_c, \quad (2)$$

$h_p = 0,8$  м, висота робочої поверхні над підлогою;  $h_c = 0,5$  м, відстань світлового центру світильника від стелі, або:

$$H_p = L/1,5$$

$$L = 1,5 \cdot H_p \quad (3)$$

$L$  – відстань між рядами світильників; оптимальна відстань між світильником при багаторядному розташуванні, м, визначається:

2. Визначають світловий потік однієї лампи світильника  $\Phi$  за формулою [23]:

$$\Phi = (E_n \cdot S \cdot Z \cdot K_3) / (N \cdot n \cdot \eta), \quad (5)$$

де  $E_n$  – нормована освітленість, лк, [ 23 таблиця 5.1 ]

$S$  – площа приміщення, що освітлюється, м<sup>2</sup>;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп, визначається за довідником ( $K_3 = 1,3$  при освітленні лампами розжарювання);

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення ( $Z = 1,15$  для ламп розжарювання ;  $Z = 1,1$  для люмінесцентних ламп);

$N$  – кількість світильників;

$n$  – кількість ламп в світильнику (для світильників з газорозрядними лампами, прийняти тип світильника ЛПО-01 із кількістю ламп  $n = 2$ ); для світильників з лампами розжарювання прийняти тип світильника УПМ-15 відповідно із  $n = 1$ );

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку, визначається за світлотехнічною таблицею [23 таблиця 5.1 ] в залежності від індексу

приміщення, коефіцієнтів відбиття стелі, стін для світильників з люмінесцентними лампами; значення  $\eta$  визначають в залежності від індексу приміщення  $i$ :

$$i = (A \cdot B) / (H_p \cdot (A + B)), \quad (6)$$

3. Визначивши світловий потік лампи  $\Phi$ , [23 таблиця 5.2 ] за таблицею 5.2 вибирають найближчу стандартну лампу, причому її світловий потік не повинен відрізнятись від розрахункового більше ніж на (-10) – (+20) %.

Розраховують необхідну кількість світильників у приміщенні  $N_H$  за формулою:

$$N = E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z / (\Phi \cdot n \cdot \eta) \quad (7)$$

Для практичних розрахунків обраним об'єктом є будівля їдальні комунальної установи Сумська загальноосвітня школа I-III ступенів № 13 імені А. С. Мачуленка м. Суми, Сумської області.

Вихідні дані

- Тип джерела – лампа розжарювання 40Вт
- $\eta = 0,42$  (згідно формули 5);
- $E_H = 2$  Лк;
- $S = 325,54$  м<sup>2</sup>;
- $K_3 = 1,3$ ;
- $Z = 1,15$ ;
- $\Phi = 400$  Лм;
- $n = 1$ .

Визначимо кількість необхідних світильників (згідно формули 7):

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi \cdot \eta \cdot n} = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 1,15 \cdot 325,54}{400 \cdot 0,42 \cdot 1} = 6$$

Отже, необхідна кількість світильників евакуаційного освітлення для їдальні досліджуваного об'єкту становить 6 шт.

### 3.3 Дії працівників та школярів під час виникнення пожежі у приміщенні

Дії працівників під час виникнення пожежі у приміщенні:

1. У разі виникнення пожежі дії працівників закладів та установ мають бути спрямовані на створення безпеки людей, в першу чергу дітей, їх евакуацію та рятування.

2. У випадку виникнення пожежі в закладах та установах з цілодобовим перебуванням дітей необхідно керуватися Порядком спільних дій на випадок виникнення надзвичайних ситуацій та пожеж в організаціях, установах і закладах з цілодобовим перебуванням людей, затвердженим наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України, Міністерства соціальної політики України, Міністерства охорони здоров'я України, Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 31 липня 2012 року № 1061/468/587/865, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 20 серпня 2012 року за № 1396/21708 (далі - Порядок спільних дій).

3. Працівник закладу та установи, який виявив пожежу або її ознаки (задимлення, запах горіння або тління різних матеріалів, різке підвищення температури в приміщенні тощо), зобов'язаний:

- негайно повідомити про це за телефоном до найближчого пожежно-рятувального підрозділу (при цьому слід чітко назвати місцезнаходження об'єкта, місце виникнення пожежі, а також свою посаду та прізвище);

- задіяти систему оповіщення людей про пожежу; розпочати самому і залучити інших осіб до евакуації людей з будівлі до безпечного місця згідно з планом евакуації;

- сповістити про пожежу керівника закладу та установи або особу, що його заміщує;

- організувати зустріч пожежно-рятувальних підрозділів, вжити заходів щодо гасіння пожежі наявними в закладі та установі засобами пожежогасіння.

4. Керівник закладу та установи або особа, яка його заміщує, що прибув на місце пожежі, зобов'язаний:

- перевірити, чи повідомлено пожежно-рятувальний підрозділ про виникнення пожежі;

- здійснювати керівництво евакуацією людей та гасінням пожежі до прибуття пожежно-рятувальних підрозділів. У разі загрози для життя людей негайно організувати їх рятування, використовуючи для цього всі наявні сили і засоби;

- організувати перевірку наявності всіх учасників навчально-виховного процесу, евакуйованих з будівлі, за списками і журналами обліку навчальних занять;

- виділити для зустрічі пожежно-рятувальних підрозділів особу, яка добре знає розміщення під'їзних шляхів та вододжерел;

- перевірити включення в роботу СПЗ;

- вилучити з небезпечної зони всіх працівників та інших осіб, не зайнятих евакуацією людей та ліквідацією пожежі;

- у разі потреби викликати до місця пожежі медичну та інші служби;

- припинити всі роботи, не пов'язані з заходами щодо ліквідації пожежі;

- організувати відключення мереж електро- і газопостачання, систем вентиляції та кондиціонування повітря і здійснення інших заходів, що сприяють запобіганню поширенню пожежі;

- організувати евакуацію матеріальних цінностей із небезпечної зони, визначити місця їх складування і забезпечити в разі потреби їх охорону;

- інформувати керівника пожежно-рятувального підрозділу про наявність людей у будівлі.

5. Під час проведення евакуації та гасіння пожежі необхідно:

- з урахуванням обстановки, що склалася, визначити найбезпечніші евакуаційні шляхи і виходи до безпечної зони у найкоротший строк;
- ліквідувати умови, які сприяють виникненню паніки. З цією метою працівникам закладів та установ не можна залишати дітей без нагляду з моменту виявлення пожежі та до її ліквідації;
- евакуацію людей слід починати з приміщення, у якому виникла пожежа, і суміжних з ним приміщень, яким загрожує небезпека поширення вогню і продуктів горіння. Дітей молодшого віку і хворих слід евакуювати в першу чергу;
- у зимовий час на розсуд осіб, які здійснюють евакуацію, діти старших вікових груп можуть заздалегідь одягтися або взяти теплий одяг із собою, а дітей молодшого віку слід виводити або виносити, загорнувши в ковдри або інші теплі речі;
- ретельно перевірити всі приміщення, щоб унеможливити перебування у небезпечній зоні дітей;
- виставляти пости безпеки на входах у будівлі, щоб унеможливити повернення дітей і працівників до будівлі, де виникла пожежа;
- у разі гасіння слід намагатися у першу чергу забезпечити сприятливі умови для безпечної евакуації людей;
- з метою запобігання поширенню вогню, диму утримуватися від відчинення вікон і дверей, а також від розбивання скла.

Залишаючи приміщення або будівлі, що постраждали від пожежі, потрібно зачинити за собою всі двері і вікна [24].

Дії школярів під час виникнення пожежі у приміщенні:

1. При пожежі в школі, якщо немає можливості впоратися з вогнем самотужки, необхідно організовано покинути приміщення.
2. Слід заздалегідь вивчити план евакуації школи. Ви можете знайти його в кабінеті, на будь-якому поверсі в шкільних коридорах і холах.

3. Головний ворог евакуації з гарячого приміщення - паніка. Панічний рух часто закінчується людськими жертвами. Причому паніка може виникати навіть у тих випадках, коли реальної загрози розвитку пожежі немає. Тому від Вашої витримки, зібраності і холонокровності може залежати життя Ваших товаришів.

4. При можливості зателефонуйте за номером 101 і викличте пожежну службу. Але зробити це можна за однієї умови, якщо немає загрози для життя. Якщо вона є, рятуйте себе і всіх, хто цього потребує.

5. Після евакуації зі школи – не біжіть до дому. Нехай учитель переконається, що всі на місці.6. Не можете залишити шкільне приміщення через виходи, вибирайтеся через вікна. Але не забудьте, крил у Вас немає. Зате у пожежних є сходи, і вони обов'язково приїдуть і допоможуть Вам, якщо ви будете терплячими, спокійними і підготовленими до надзвичайної ситуації – пожежі [25].



## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної випускної роботи магістра було проведено аналіз ефективності роботи системи теплопостачання Сумської загальноосвітньої школи I-III ступенів № 13. Було проведено енергетичний аудит будівлі, вивчено проектну документацію та здійснено аналіз використання енергоносіїв.

В результаті розрахункового аналізу відповідності фактичних обсягів теплоспоживання досліджуваного об'єкту з розрахунковим обсягом теплоспоживання, було виявлено неспівпадання з нормованими показниками енергопотреби будівлі. Причиною цього є відсутність пристроїв автоматичного погодозалежного регулювання теплового потоку, що надходить до системи опалення будівлі, застосовується «ручне» регулювання засувками, як наслідок – нерівномірний прогрів приміщень закладу.

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 теплопостачання, та не має ефективної технології якісного та кількісного регулювання обсягів споживання теплоенергії.

Саме тому обрано наступні енергозберіжні заходи:

- утеплення огорожувальних конструкцій будівлі (стіни і стеля);
- встановлення індивідуального теплового пункту;
- впровадження системи моніторингу теплоспоживання.

Реалізація енергозберіжних заходів дає змогу зменшити тепловтрати будівлі, і в результаті зменшити потреби теплової енергії закладом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 4065:2001 "Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги".
2. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. – К.: Мінрегіон України. –2009.
3. Бандзюх Н.Б. Практичний досвід енергозбереження у навчальному закладі// Матеріали науково-практичного семінару «Міжнародний інвестиційний форум – виставка з енергоефективності та енергоощадності 2015».-2015.-28 с.
4. 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.
5. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – К. Міністерство регіонального розвитку, будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2017 – 30 с.
6. ДСТУ Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія" – К. Мінрегіонбуд України, 2006. –72 с.
7. 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.
8. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житловокомунального господарства України. – Луганськ, вид-во «Місячне сяйво», 2010. – 696с.
9. [Електронний ресурс]: [http://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Сумах](http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Сумах).
10. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 «Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель». – К.Мінрегіонбуд України, 2016. – 47с.

11. Еремкин А.И., Тепловой режим зданий: учебное пособие / А.И.Еремкин, Т.И.Королева. – М. : Издательство АСВ, 2000. – 368с.

12. 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. – 50 с

13. [Електронний ресурс]: [http://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Сумах](http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Сумах).

14. [Електронний ресурс]: <https://budma21.kiev.ua/>

15. [Електронний ресурс]: <https://superdim.com.ua/fasady-ru/sumy/>.

16. ДНАОП 0.03-3.15-86. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

17. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vsegost.com/Catalog/41/41131.shtml>.

ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с изм. № 1, в редакции от 1 ноября 1978 года). [Текст]. - Введ.1976-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 4с.

18. Опорний конспект лекцій та завдання для самостійного контролю з дисципліни «Безпека життєдіяльності»для студентів І курсу усіх спеціальностей денної форми навчання та ІІ курсу усіх спеціальностей заочної форми навчання / Укл.: Я.В. Степневська, М.М. Плис. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2013. – 78 с.

19. Охорона праці в галузі [текст] : навчальний посібник / П. С. Атаманчук, В. В. Мендерецький, О. П. Панчук, Р. М. Білий - К. : «Центр учбової літератури», 2017. - 322 с.

20. Иванов В.Г. Охорона праці в електроустановках / В.Г. Иванов, Б.В. Дзюндзюк, Ю.М. Александров. — К.: АТ "ОКО", 1994. — 226 с.

21. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. На заміну ДБН В.2.5-28:2006. – 137 с.

22. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення – 96 с.

23. Практикум з охорони праці для студентів напрямів підготовки 0502 – Менеджмент, 0501 – Економіка і підприємництво / Укладачі: Гуменюк О.Л., Челябієва В.М., Денисова Н.М. – Чернігів: ЧДТУ, 2009. – 112 с.

24. Про затвердження Правил пожежної безпеки для навчальних закладів та установ системи освіти України: наказ Міністерства освіти і науки від 15.08.2016р. №974. С. 8-9.

25. Інструкції для навчальних закладів України: пам'ятка «Правил поведінки під час пожежі в школі, вдома, ліфті, на вулиці». URL: <https://osvita-docs.com/node/178>. ( або [Електронний ресурс] : <https://osvita-docs.com/node/178>)

26. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://aw-therm.com.ua/individualnij-teplovij-punkt-shemi-ta-rishennya/>

27. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://evolux.pro/ua/28>.

29. Основи енергетичного менеджменту: конспект лекцій / укладач С. В. Сапожніков. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 163 с.

## ДОДАТОК А

Таблиця Д.1 – Кількість теплової енергії, спожитої будівлею закладу за 2017–2020 роки

Місяць	Рік			
	2017	2018	2019	2020
	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал
Січень	39,602	48,400	39,737	32,277
Лютий	39,049	50,281	34,453	X
Березень	27,639	46,575	29,815	X
Квітень	5,762	3,801	0,430	X
Травень	–	–	–	–
Червень	–	–	–	–
Липень	–	–	–	–
Серпень	–	–	–	–
Вересень	–	–	–	–
Жовтень	14,034	–	4,689	X
Листопад	32,469	30,795	30,723	X
Грудень	35,338	40,909	32,827	X
Всього	193,89	220,76	172,67	32,277

## ДОДАТОК Б

### Результати тепловізійного обстеження

Тепловізійне обстеження будівлі в Комунальна установа Сумська загальноосвітня школа I-III ступенів № 13 імені А. с. Мачуленка м. Суми, Сумської області було проведено 7 лютого 2020 року з використанням тепловізора FlukeTi25. У звіті надані термограми, які найбільш наочно демонструють типові проблемні місця будівель.

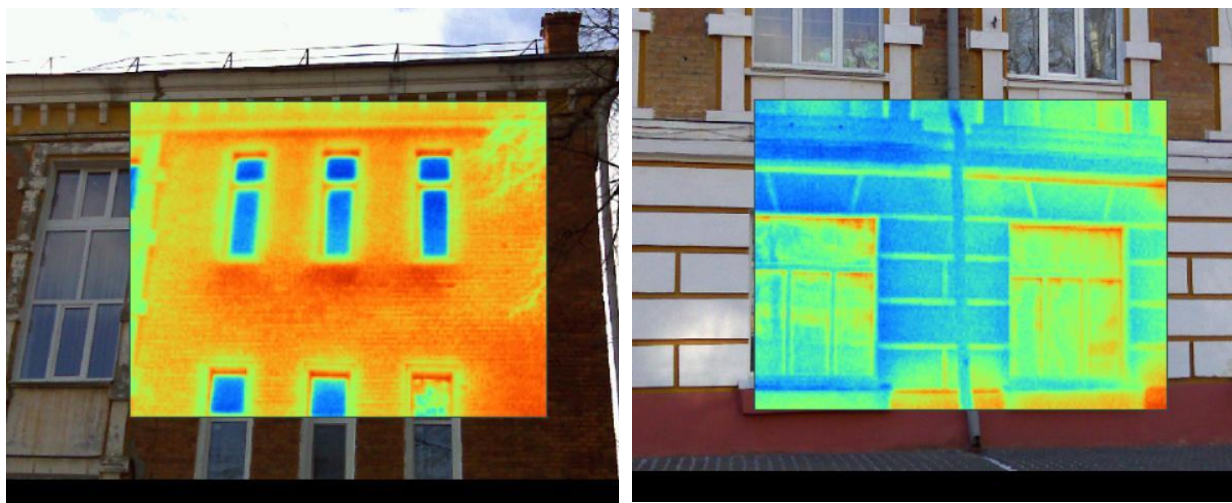
Мета обстеження – виявлення місць найбільших тепловтрат у будівлі ЗОШ №13.

На момент проведення тепловізійного обстеження температура навколишнього середовища становила  $-2^{\circ}\text{C}$ . Середня температура всередині приміщень становила  $21^{\circ}\text{C}$ .

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

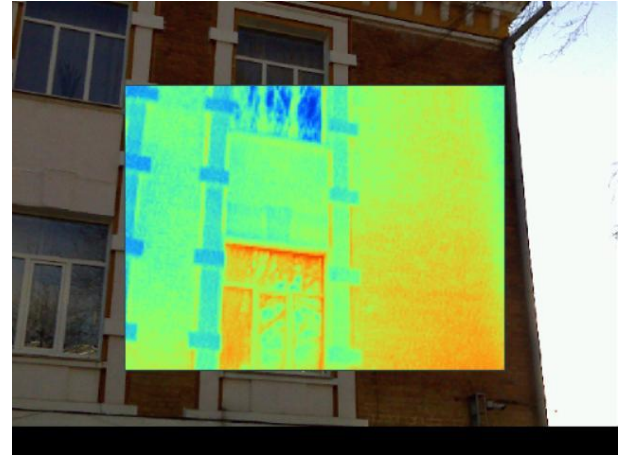
Головний корпус ЗОШ №13



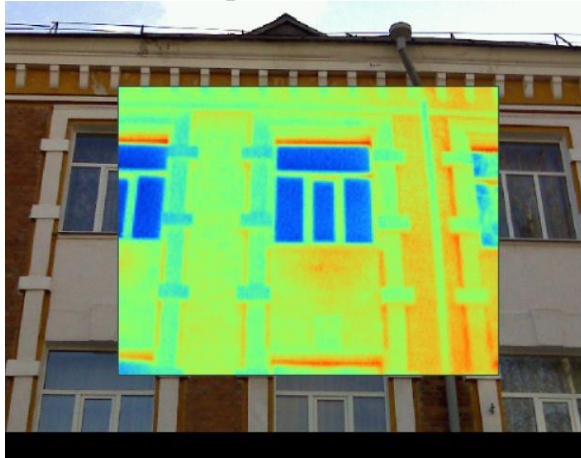
Вікна є джерелами тепловтрат в місцях приєднання віконної рами до зовнішніх стін внаслідок неякісного їх монтажу. Відбуваються втрати тепла крізь місця стіни де розташовані прилади опалення, що свідчить про значну втрату її опору теплопередачі внаслідок невідповідності нормам значення термічного опору стін.



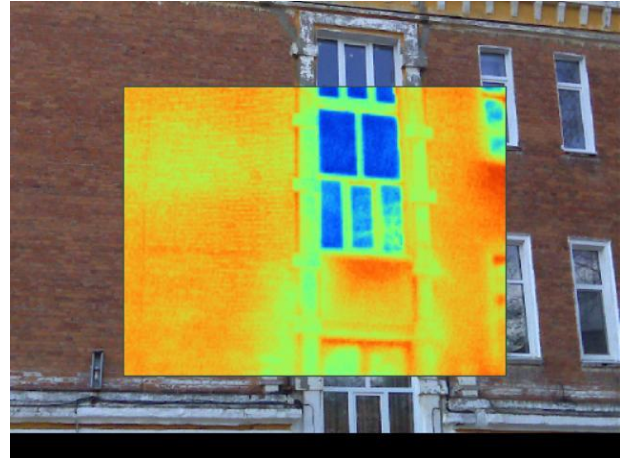
Тепловий слід у верхній частині вікна на поверхні зовнішньої стіни свідчить про втрату тепла крізь незадовільний стан віконної рами.



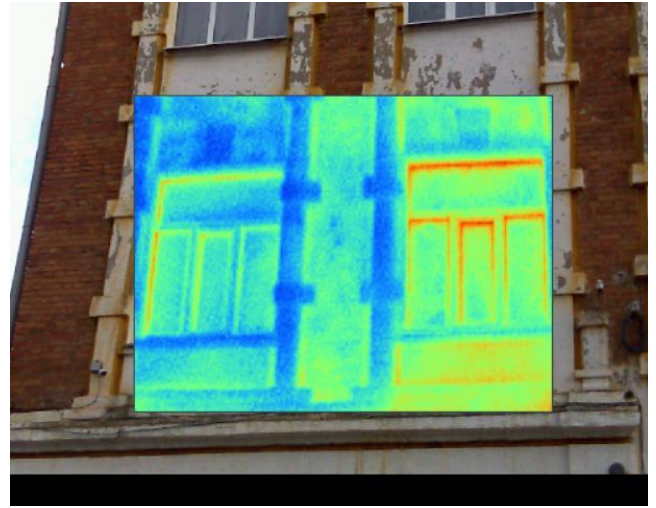
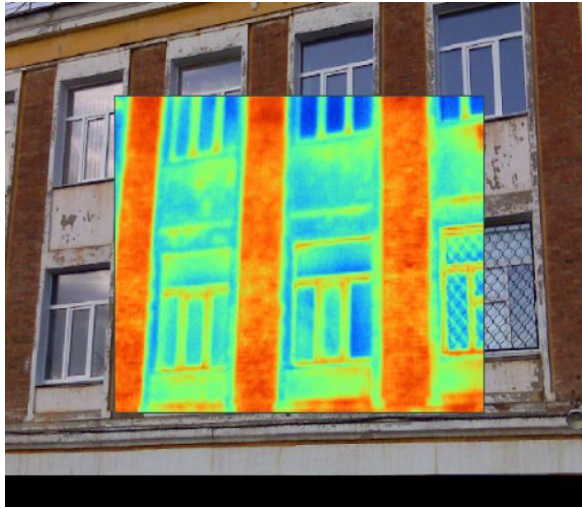
Втрати також відбуваються через зовнішні стіни, що обумовлене втратою її термічного опору.



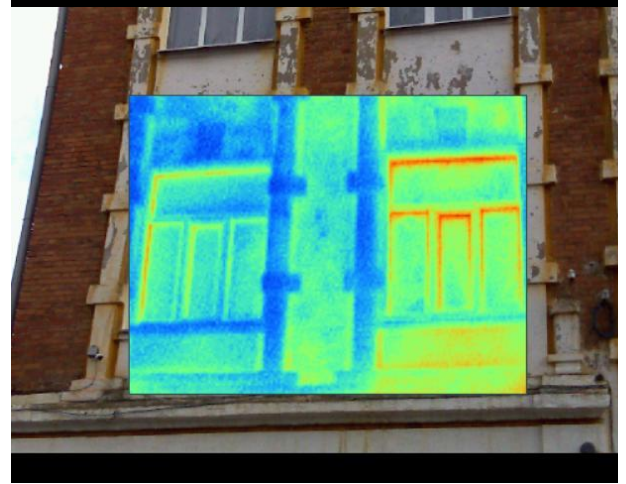
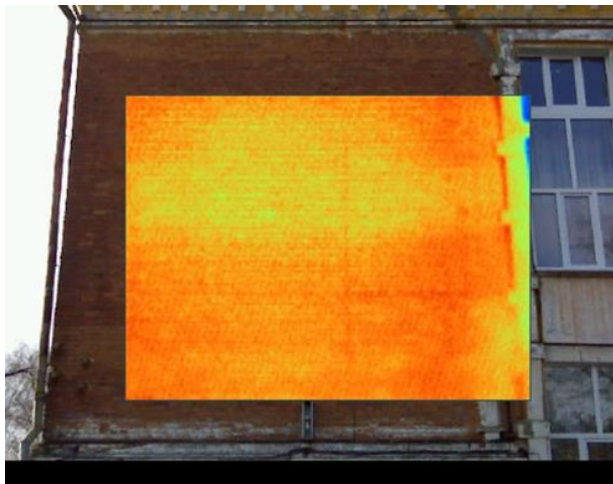
Значні втрати відбуваються через стіни в місцях розташування у приміщенні опалювального приладу, що є наслідком низького опору теплопередачі стінових конструкцій.



Підвищена температура зовнішньої поверхні стіни) свідчить про втрату стінами теплозахисних властивостей. Втрати тепла з приміщення відбуваються також через віконні конструкції. Також відбуваються втрати тепла крізь місця стіни де розташовані прилади опалення.

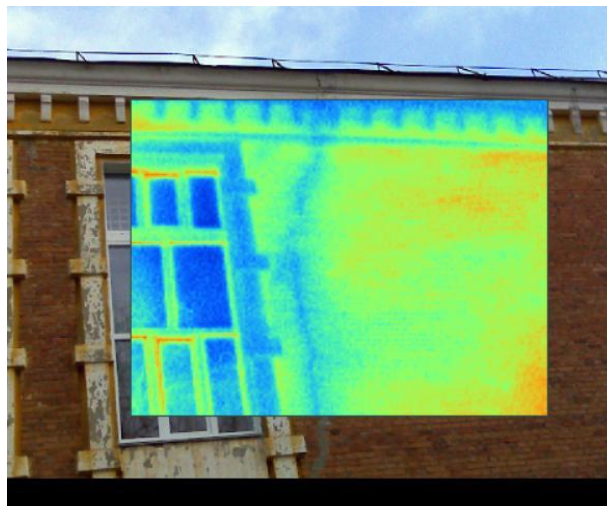
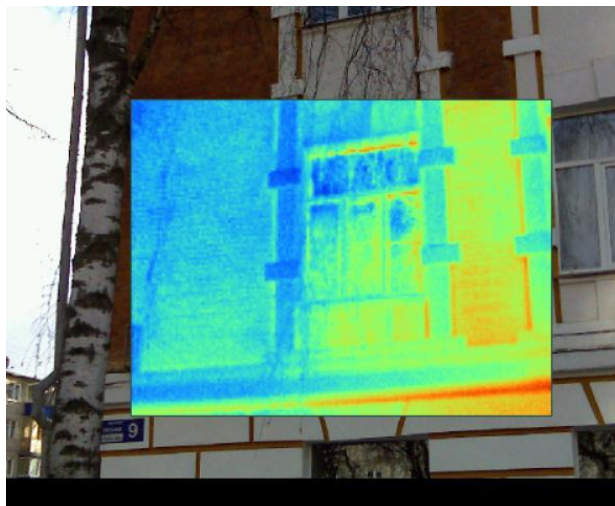


Неякісний монтаж віконних конструкцій обумовлює значні втрати тепла з приміщень (нещільність прилягання віконних рам до стіни). Також відбуваються втрати тепла крізь місця стіни де розташовані прилади опалення



Підвищена температура зовнішньої поверхні стіни свідчить про значну втрату її опору теплопередачі внаслідок руйнації (стінові тріщини) та зволоження й невідповідності сучасним нормам теплового опору стін.





Наявні тріщини в огороджувальних конструкціях будівлі є джерелом промерзання ділянок стін, що є наслідком значних тепловтрат та прискорення їх руйнації