

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____ Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої
освіти

на тему:

«Аналіз процесів енергоспоживання та розроблення
заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності
в обласній бібліотеці»

Виконав здобувач вищої освіти

II курсу групи ЕНМ-22М

ОПП «Енергетичний менеджмент» 141

«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ Дмитро СЛЮТА

« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

к.т.н., проф. _____ Сергій СЕРЕБРЕННІКОВ

« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Петро ПЛЄШКОВ

« 09 » 10 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Слюти Дмитра Івановича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Аналіз процесів енергоспоживання та розроблення заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності в обласній бібліотеці

Analysis of energy consumption processes and development of measures to improve energy efficiency in the regional library

2. Керівник роботи Серебренніков Сергій Валентинович, к.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 30.12.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є підвищення рівня ефективності функціонування систем енергопостачання за рахунок зменшення втрат в устаткуванні й мережах в обласній бібліотеці.

Для досягнення поставленої мети у роботі розглянуто наступні завдання:

1) огляд методів скорочення втрат енергії та аналізування режимів енергоспоживання

2) розглянуто конструктивні особливості будівлі;

3) оцінка втрат та аудит інженерних систем;

4) заходи з підвищення рівня енергоефективності;

5) визначено еколого-економічний ефект від обґрунтування та впровадження комплексу енергоефективних заходів;

6) охорона праці

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри “ЕТС та ЕМ” Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Аналіз проблеми підвищення рівня енергетичної ефективності</i>	<i>10.10.2023 р.</i>	
2	<i>Огляд методів скорочення втрат енергії та аналізування режимів енергоспоживання</i>	<i>13.10.2023 р.</i>	
3	<i>Дослідження конструктивних особливості будівлі</i>	<i>25.10.2023 р.</i>	
4	<i>Розрахунок втрат та аудит інженерних систем</i>	<i>30.10.2023 р.</i>	
5	<i>Розроблення заходів з підвищення рівня енергоефективності</i>	<i>15.11.2023 р.</i>	
6	<i>Визначення еколого-економічного ефекту від впровадження енергоефективних заходів</i>	<i>20.11.2023р.</i>	
7	<i>Охорона праці</i>	<i>30.11.2023 р.</i>	
8	<i>Висновки. Оформлення списку використаних джерел</i>	<i>07.12.2023 р.</i>	
9	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>11.12.2023 р.</i>	
10	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки МР</i>	<i>15.12.2023 р.</i>	

Дата видачі завдання

«__6__» __09__ 2023 р.

Підпис керівника _____

Сергій СЕРЕБРЕННИКОВ

Завдання прийнято до виконання

«__6__» __09__ 2023 р.

Підпис здобувача _____

Дмитро СЛЮТА

АННОТАЦІЯ

Слюта Д.І. Аналіз процесів енергоспоживання та розроблення заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності в обласній бібліотеці

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" освітньої програми «Енергетичний менеджмент». – Центральноукраїнський національний технічний університет: Кропивницький, 2023 р.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності процесів енергоспоживання та обґрунтування комплексу енергоефективних заходів.

В результаті виконання енергетичного аудиту будівлі обласної бібліотеки виявлено джерела підвищених втрат теплової та інших видів енергії, обґрунтовано комплекс енергоефективних заходів та визначено клас енергоефективності будівлі.

У результаті впровадження рекомендованих енергоефективних заходів очікується зменшення енергоспоживання на 650000 кВт·год у рік, а також покращення мікроклімату та збільшення рівня комфорту в будівлі.

Впровадження енергоефективних заходів призведе до зменшення на 216 тон емісії CO₂ – еквівалентів парникових газів у рік.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані для термомодернізації будівлі і відповідного зменшення оплати за спожиту енергію.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ, ДЖЕРЕЛА ПІДВИЩЕНИХ ВТРАТ, ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ, МІКРОКЛІМАТ

ABSTRACT

Slyuta D.I. Analysis of energy consumption processes and development of measures to increase the level of energy efficiency in the regional library

Qualification work for the second (master's) level of higher education in the specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics" of the educational program "Energy Management". – Central Ukrainian National Technical University: Kropyvnytskyi, 2023

The purpose of the qualification work is to increase the efficiency of energy consumption processes and justify a set of energy-efficient measures.

As a result of the energy audit of the building of the regional library, sources of increased losses of heat and other types of energy were identified, a complex of energy-efficient measures was substantiated, and the energy efficiency class of the building was determined.

As a result of the implementation of the recommended energy-efficient measures, it is expected to reduce energy consumption by 650,000 kWh per year, as well as to improve the microclimate and increase the level of comfort in the building.

The implementation of energy-efficient measures will lead to a reduction of 216 tons of CO₂ emissions - greenhouse gas equivalents per year.

The results of the qualification work can be used for thermal modernization of the building and the corresponding reduction of the payment for the consumed energy.

ENERGY EFFICIENCY, ENERGY AUDIT, SOURCES OF INCREASED LOSSES, THERMOMODERNIZATION, MICROCLIMATE

ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1. ЗАГАЛЬНІ ДАНІ ЩОДО ОБЛАСНОЇ БІБЛІОТЕКИ	10
1.1. Загальні дані щодо будівлі	10
1.2. Аналізування режимів енергоспоживання	12
2. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ БУДІВЛІ	16
2.1. Зовнішні стіни	17
2. 2. Вікна	23
2. 3. Двері	28
2. 4. Дах	30
2. 5. Підлога	33
2.6. Цокольний поверх	33
3. АУДИТ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ	35
3.1. Опалення	36
3.2. Постачання гарячої води	36
3.3. Система вентиляції	36
3.4. Електроспоживання	41
3.5. Результати енергетичного обстеження	43
4. ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	44
4.1. Зовнішнє утеплення укосів вікон	45
4.2. Відновлення припливно-витяжної вентиляції з рекуператорами теплоти	51
4.3. Заміна віконних склопакетів	56
4.4. Утеплення зовнішніх стін	60
4.5. Заміна входних дверей та їх утеплення	64
4.6. Встановлення теплоізоляції за приладами опалення	67
4.7. Модернізація системи освітлення	70
4.8. Встановлення теплової завіси на головному вході	72

4.9. Встановлення сонячних колекторів для підігріву води	76
4.10. Утеплення суміщеного перекриття даху	78
4.11. Інші рекомендовані енергоощадні та реноваційні заходи	80
5. ЕКОЛОГІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ	81
ВИСНОВКИ	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	84
ДОДАТКИ	86
Додаток А. Основні показники по пакетах ЕЕЗ	86
Додаток Б. Охорона праці	87

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДБН – державні будівельні норми;

ДСТУ – державний стандарт України;

ЕЕЗ – енергоефективні заходи;

МЕЗ – можливості енергозбереження

ОБ – обласна бібліотека

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси

ЕЕ – електроенергія;

ЕА – енергетичний аудит;

ЕОЗ – енергоощадні заходи

ВСТУП

Базове енергоспоживання – розрахункове енергоспоживання за умов дотримання нормативних мікроклімату, теплового комфорту та проектних умов експлуатації будівлі. Для розрахунків приймаємо за основу **базове** енергоспоживання з дотриманням параметрів:

- температура внутрішнього повітря має становити 18°C;
- система вентиляції має забезпечувати нормативну кратність повітрообміну від 1 до 3 год⁻¹ залежно від приміщення;
- споживання електричної енергії на потреби освітлення з урахуванням, що освітлення відповідатиме нормам: від 75 лк (книгосховище) до 400 лк (читальна зала).

Наслідком стандартів та правил є наступні вимоги:

- м. Кропивницький, належить до І температурної зони із загальною кількістю градусо-днів опалювального періоду понад 3501;
- середня зовнішня температура за опалювальний період для м. Кропивницький становить +0,5 °C;
- розрахункова температура зовнішнього повітря: $t_p = -22$ °C;
- нормативне значення температури в приміщеннях: $t_{вн} = 18$ °C;
- нормативні максимальні тепловитрати громадського закладу становлять $E_{max} = 38$ кВт·год/м³;
- тривалість опалювального періоду для м. Кропивницький, становить $z_{on} = 192$ доби;
- теплоізоляційні матеріали, що використовують в конструкціях теплоізоляційної оболонки будівлі повинні відповідати вимогам ДБН 6.6.1-6.5.001, ДБН В.1.4-0.01, ДБН В.1.4-0.02, ДБН В.1.4-2.2.01;
- теплоізоляційні матеріали повинні відповідати вимогам пожежної безпеки згідно ДБН В.1.1-7 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

Таблиця 2.1. Нормативні мінімально допустимі значення термічного опору огорожувальних конструкцій, для I температурної зони

№ з/п	Найменування огорожувальних конструкцій	Нормативні мінімально допустимі значення термічного опору $R_{q \min}$, м ² К/Вт
1	Стіни зовнішні	4,00
2	Суміщені покриття	7,00
3	Покриття опалювальних горищ та горищні перекриття неопалювальних горищ	6,00
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	5,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90
6	Зовнішні двері	0,70

1. ЗАГАЛЬНІ ДАНІ ЩОДО ОБЛАСНОЇ БІБЛІОТЕКИ

1.1. Загальні дані щодо будівлі

Обласна бібліотека (ОБ) перебуває на балансі Кіровоградської обласної ради. ОБ займає територію у 3,8 га (61 x 62) м.

Середня кількість відвідувань ОБ становить 180 000 на рік. Кількість персоналу становить – 126 осіб. Графік роботи закладу ОБ – 7 днів на тиждень (влітку – 6 дн/тижд) з 8.00 до 19.00 год; обслуговування користувачів – у 2 зміни.

За 2007-2018 роки здійснено ремонти за кошти бюджету: 2007-2008 р.р 100% дерев'яних віконних блоків замінено на металопластикові 1-камерні (без утеплення укосів), 2008 р – проведено капітальний ремонт водоводу із встановленням пластикових труб, у 2009 р відремонтовано покриття даху та

грозозахист, у 2012-2013 р.р здійснено капітальний ремонт електропроводки, у 2017-2018 рр. виконано капітальний ремонт читальних зал, у каб. 24-25 змонтовано місцеву вентиляційну систему.

Загальні дані щодо будівлі Обласної бібліотеки, відображено в таблиці 1.1.

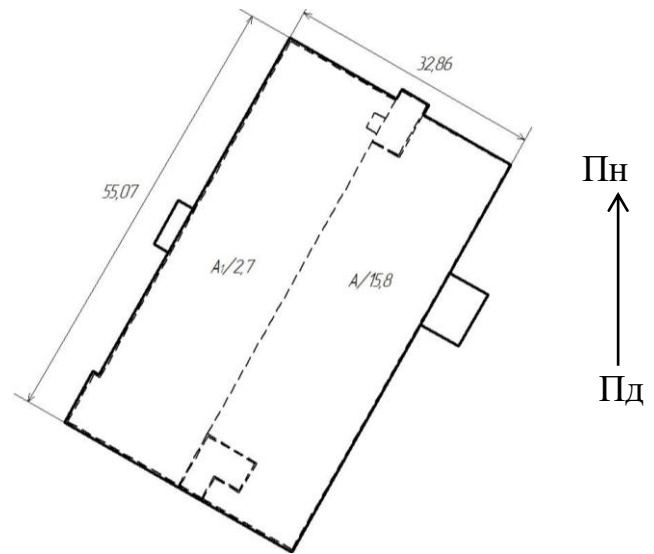
Таблиця 1.1. Дані щодо будівлі ОБ

Рік забудови	1984	Кількість поверхів	поверхи – цокольний, 1 – 4
Площа забудови, $S_{\text{заб}}, \text{м}^2$	1900	Площа опалювальна $S_{\text{опал}}, \text{м}^2$	8505
Площа приміщень $S_{\text{прим}}, \text{м}^2$	8314	Об'єм опалювальний, $V_{\text{опал}}, \text{м}^3$	28035
Загальна площа огорожувальних конструкцій, м^2	6541	Висота приміщень $h_{\text{прим}}, \text{м}$	цоколь – 2,85-4,5; 1,2,3 пов. – 2,85; 4 пов. – 2,6

На рисунку 1.1 представлено план забудови ОБ.



а)



б)

Рисунок 1.1. План забудови ОБ:

а – фото зі супутника; б – план будівлі (розміри – у метрах)

У таблиці 1.2 показано організації, що надають послуги з енергопостачання.

Таблиця 1.2. Найменування організацій, що надають енергопостачання

<i>Вид енергії</i>	<i>Назва компанії</i>
Теплова	КП "Теплоенергетик"
Електроенергія	ПрАТ «Кіровоградобленерго»
Водопостачання та водовідведення	ОКВП «Дніпро-Кіровоград»

Прилади обліку енергоресурсів – у таблиці 1.3.

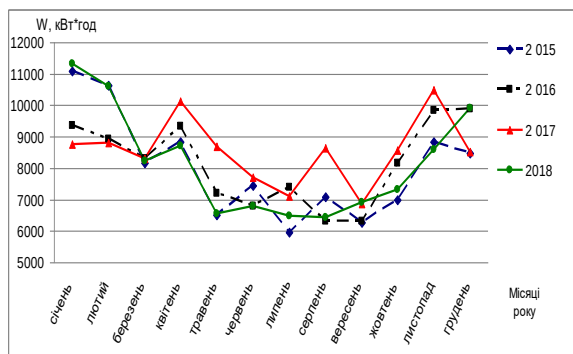
Таблиця 1.3. Характеристика лічильників

<i>Вид енергії</i>	<i>Тип лічильника</i>	<i>Кількість, шт</i>	<i>Місце встановлення</i>
Теплопостачання	Multical-402	1	цокольний поверх
Електропостачання:			
– комерційний	СА4У-И672М	2	ТП
облік	Меркурій 230 АМ-	2	1-й поверх,
– технічний	03		щитова,
Водопостачання	КВБ-2,5	1	цокольний поверх
Газопостачання	–	–	–

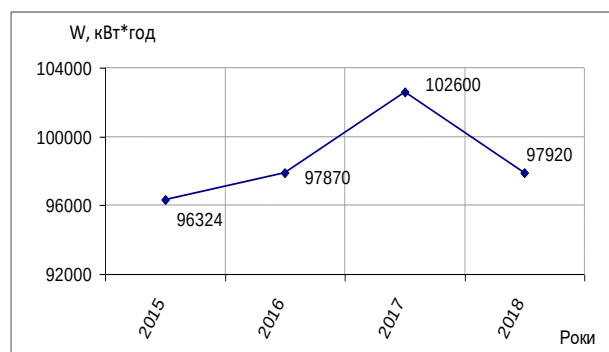
1.2. Аналізування режимів енергоспоживання

Енергетичними ресурсами, що споживають, є: електрична та теплова енергія (для опалення та ГВП), вода.

На рис. 3.2 - 3.4 показано динаміку використання електричної та теплової енергій, води впродовж 2018...2021 років.



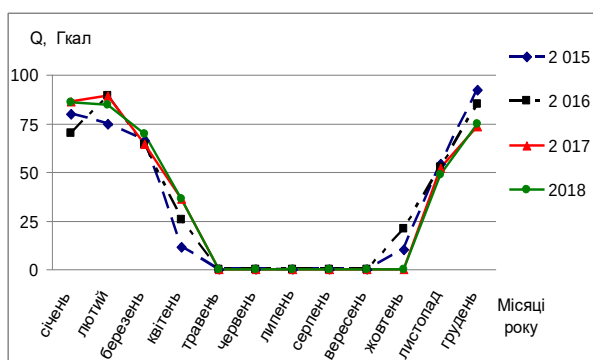
а



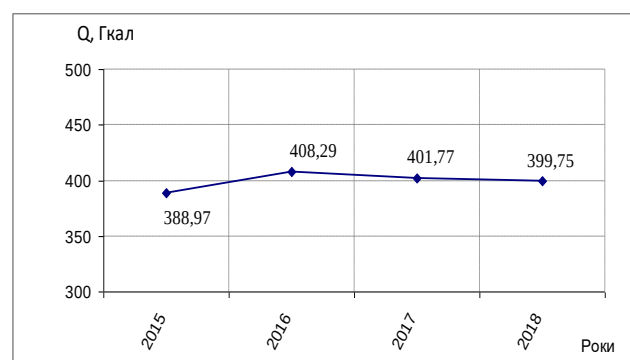
б

Рисунок 1.2. Динаміка споживання електричної енергії:

а – за місяцями; б – за роками



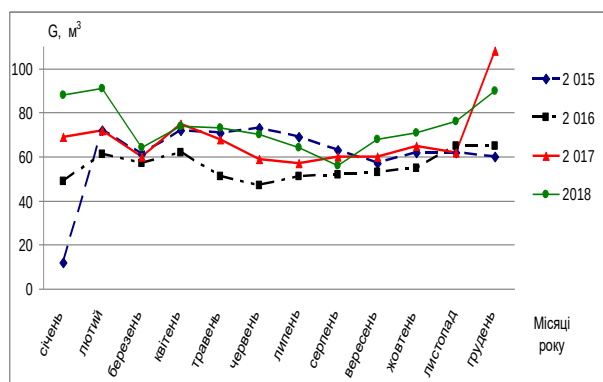
а



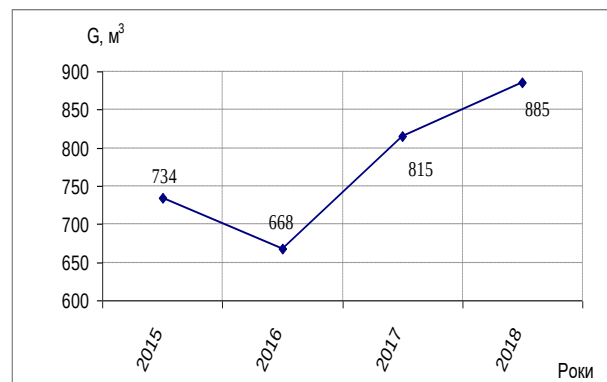
б

Рисунок 1.3. Споживання теплової енергії:

а – за місяцями; б – за роками



а



б

Рисунок 1.4. Динаміка споживання води:

а – за місяцями; б – за роками

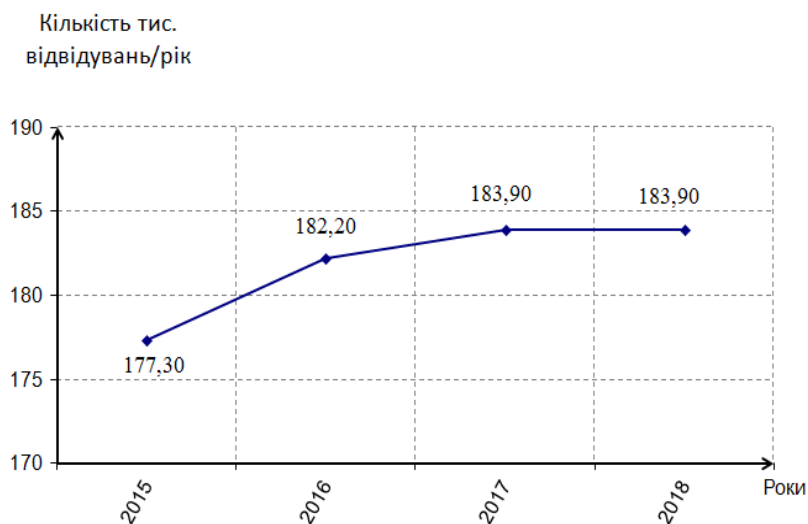
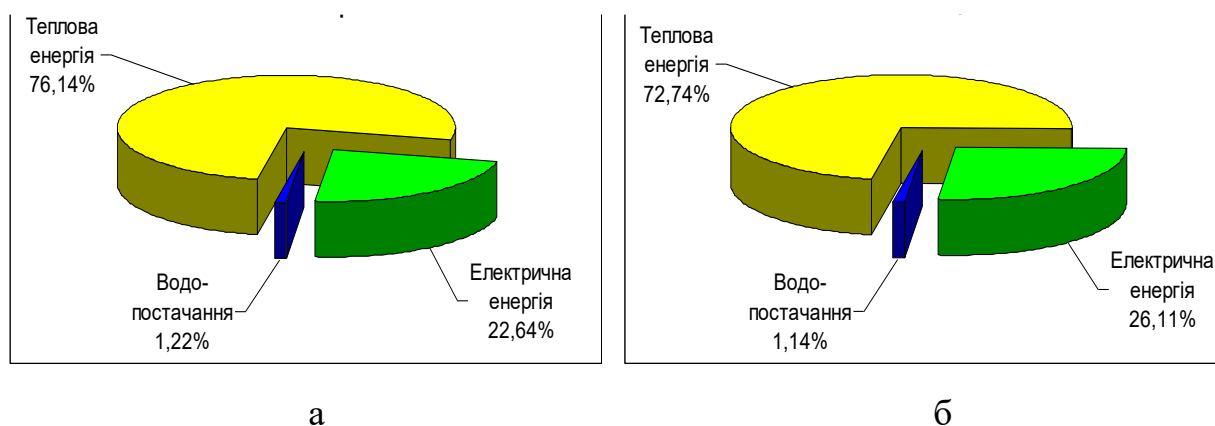


Рисунок 1.5. Динаміка відвідувань за роками

Аналізування річних графіків енергоспоживання будівлі ОБ показало істотне зростання споживання електроенергії у 2020 р., що пов'язане з ремонтно-будівельними роботами, натомість, є ощадне споживання електричної енергії у 2021 р. Зростання споживання води у 2020-2021 рр. зумовлене збільшенням кількості відвідувань ОБ.

На рис 1.5 відображено співвідношення вартості спожитих у 2018-2021 рр. енергоресурсів.



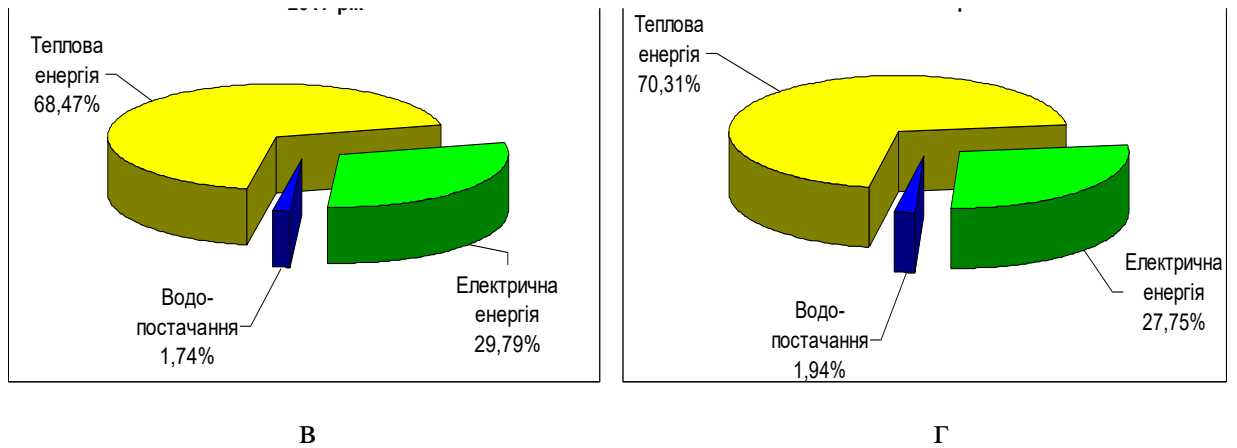


Рисунок 1.5. Співвідношення вартості спожитих у 2018 – 2021 рр. енергоресурсів

Як видно із діаграм, близько 70 % коштів витрачають на теплову енергію, тому основний потенціал заощадження – у царині уживання теплової енергії. Наприклад, у 2021 році вартість спожитих енергоресурсів така: теплової енергії – 713040 грн (70 %), електричної енергії – 281368 грн (28%) та водопостачання – 19670 грн (2 %).

Отже, насамперед, потрібно зосередити увагу на заходах, що скорочують споживання теплової енергії.

2. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ БУДІВЛІ

Основними конструктивними елементами огорожувальних конструкцій будівлі є: стіни, двері, вікна, підлога, дах. Фрагменти фасаду будівлі ОБ показано на рис. 2.1.



а



б



в



г

Рисунок 2.1. Фасад будівлі бібліотеки: а – з південного сходу (парадний вхід);
б - з північного заходу; в – з північного сходу, г – з південного заходу

Для визначення теплоізолюючих властивостей конструктивних елементів

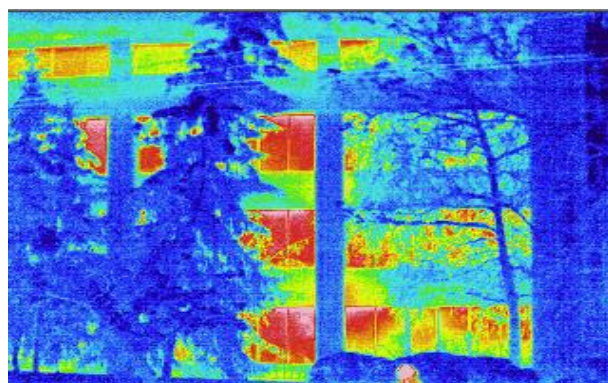
реалізують розрахунковий аналіз теплових втрат через огорожуючі конструкції та опору теплопередачі відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.

2.1. Зовнішні стіни

На час виконання енергетичного аудиту стіни будівлі перебувають у задовільному стані, руйнувань фасаду не виявлено. На рис. 4.2 – 4.5 показано фрагменти фасаду будівлі та їхні термограми.



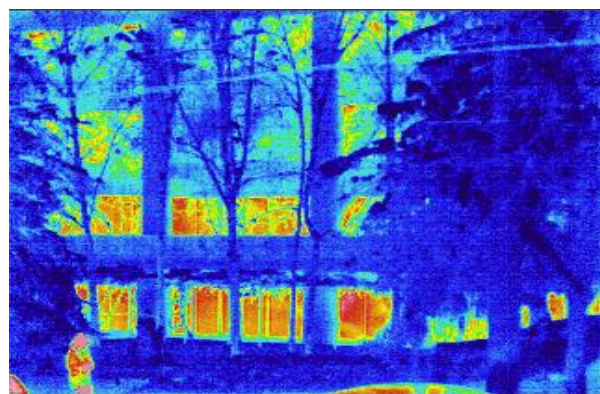
а



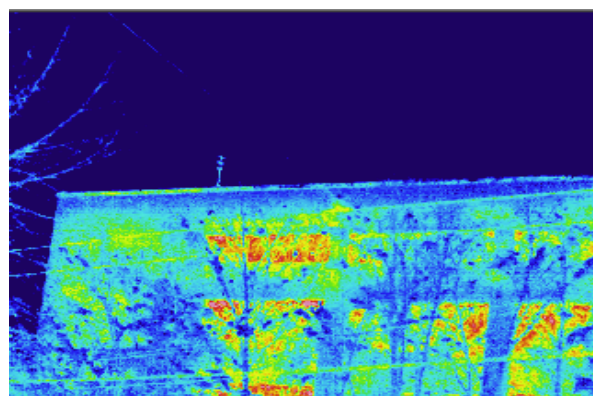
б



в



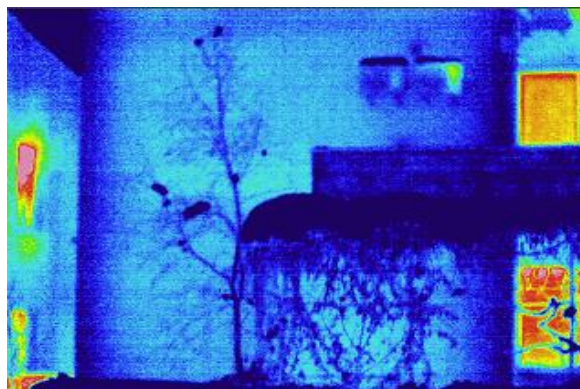
г



Д



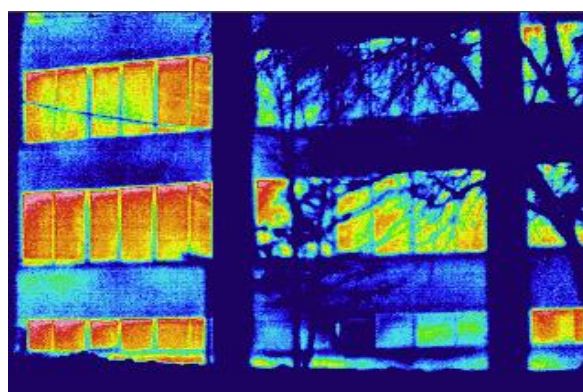
е



ж

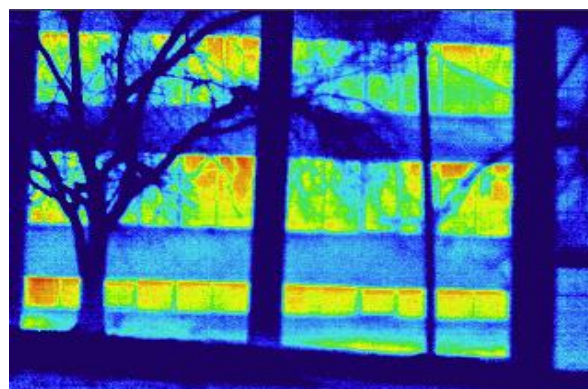
з

Рисунок 2.2. Фрагменти стін будівлі та термограми з південного сходу



а

б

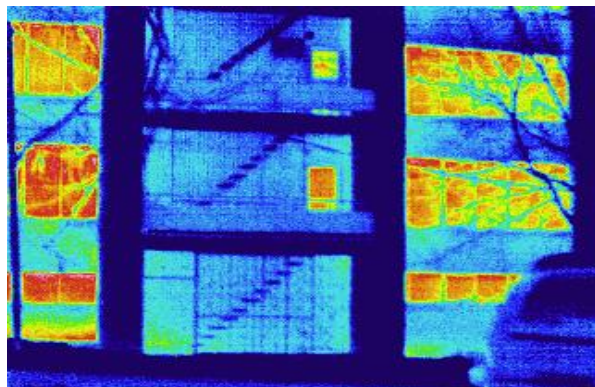


в

г



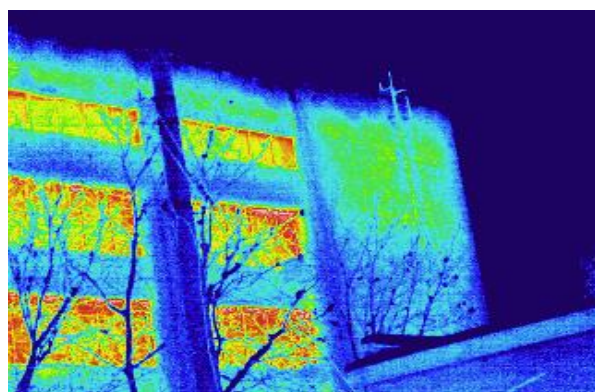
Д



е



ж

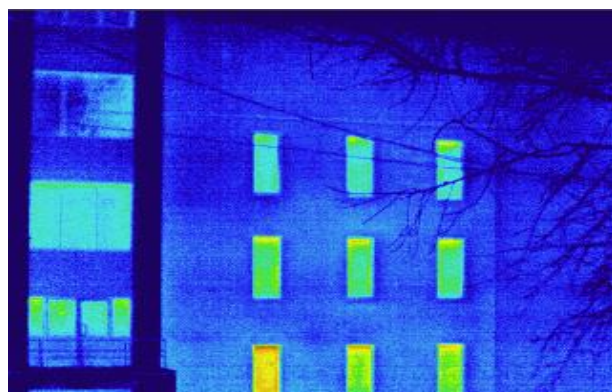


з

Рисунок 2.3. Фрагменти стін будівлі та термограми з північного заходу



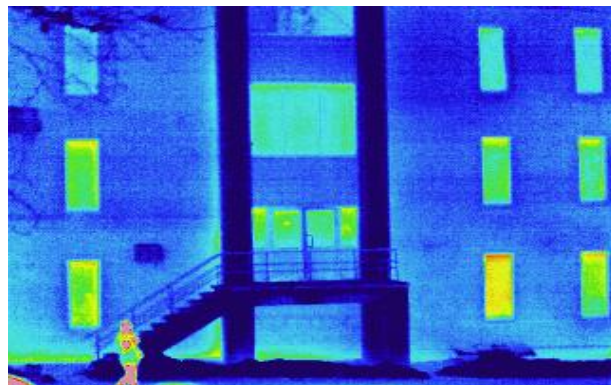
а



б



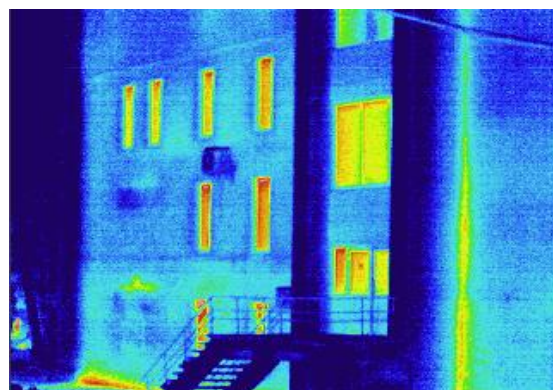
В



Г



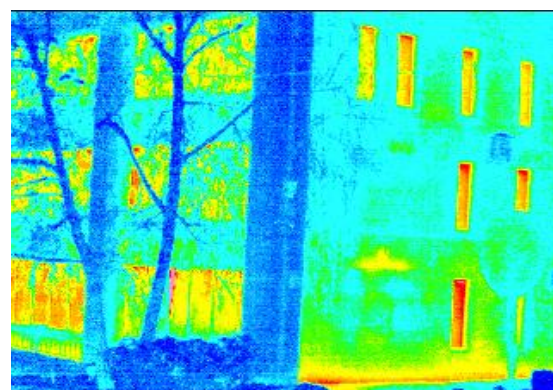
Д



е



ж

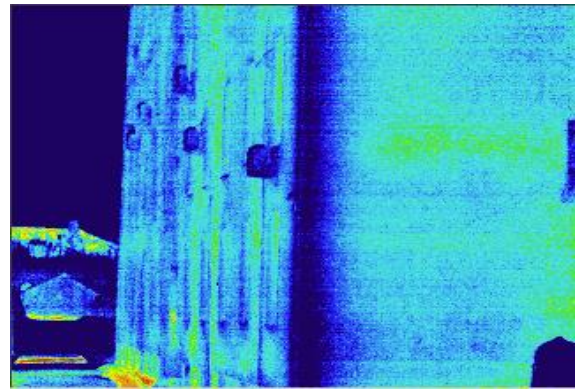


з

Рисунок 2.4. Фрагменти стін будівлі та термограми з північного сходу



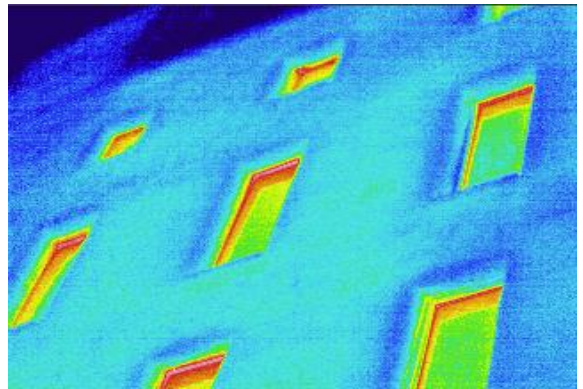
а



б



в



г

Рисунок 2.5. Фрагменти стін будівлі та термограми з південного заходу

Частина тепла від опалювальних приладів переміщується на нагрівання зарадіаторного простору чим збільшує теплові втрати через стіни. Тепловтрати через стіну від радіаторів підтверджують термограми на рис. 2.2 – 2.4 (жовті плями під вікнами).

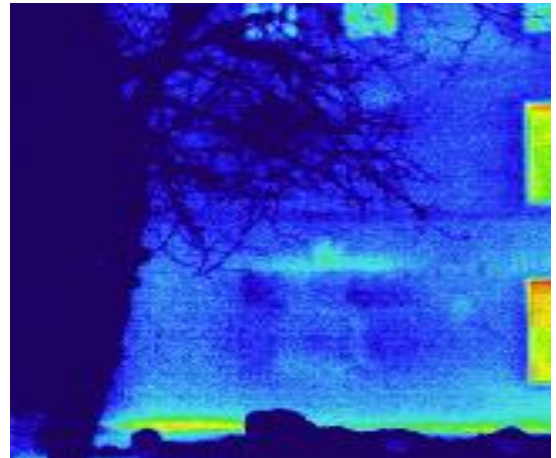


Рисунок 2.6. Збільшені теплові втрати через стіну біля фундаменту, та де закладено отвори забірників повітря

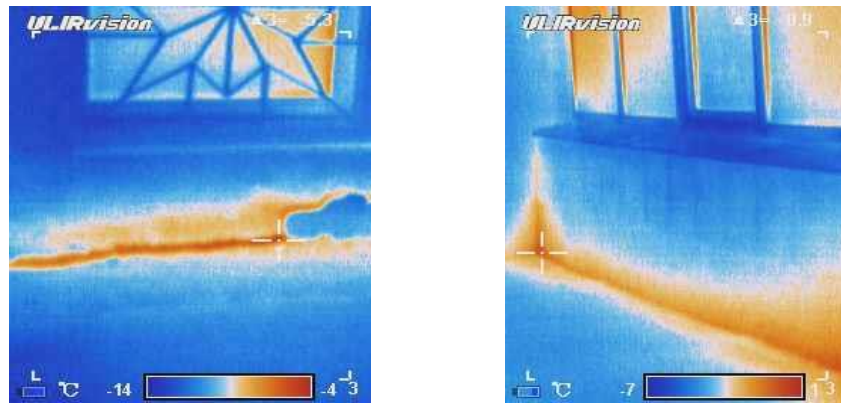


Рисунок 2.7. Термограми тепловтрат біля фундаменту на межі земля-стіна

Великі теплові втрати спостерігаємо через стіну біля фундаменту (див. термограми на рис. 2.6 та 2.7,), та де закладено отвори забірників припливного повітря (див. рис. 2.4 з, 2.6). Ці теплові втрати обумовлені істотною зволоженістю стіни біля фундаменту та даху внаслідок панівної адсорбційної здатності червоної цегли і вапняку (рис. 2.8).

Характеристика зовнішніх стін та їхня Площа показані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Характеристики зовнішніх стін

Спільна площа зовнішніх стін, м ²	2746
Площа стін за винятком вікон та дверей, м ²	1861
Опір теплопередачі $R_{\text{стін}}$ стін, м ² ·К/Вт	0,788
Конструкція стіни	Червона цегла завтовшки 380 мм – 520 мм, ззовні стіни облицьовано плитами з природного вапняку завтовшки 40 мм, зсередини – цементна штукатурка (10 мм), на цокольному поверсі стіни із залізобетонних блоків 600 мм

Опір теплопередачі стін $R_{\text{стін}} = 0,788 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ є меншим за мінімально допустимий $R_{\text{стін min}} = 4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, встановлене – ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.

Біля фундаменту (рис. 2.8) спостерігаємо пошкодження у вигляді тріщин і руйнувань облицювальних плит (рис. 2.8 а, в) та намокання фасаду (рис. 2.8 г), обумовлені відсутністю водозахисної відмостки з північного заходу та з південного сходу і пошкодження відводу води з даху.



а



б



в



г

Рисунок 2.8. Фрагменти зволоженої стіни біля фундаменту

Можливі заходи енергетичної ефективності:

- утеплити та гідроізолювати стіни та фундамент;
- утеплити укоси вікон ззовні;
- поладнати систему відводу води з даху.

2.2. Вікна

Встановлені в 2008 р. металопластикові однокамерні ПВХ вікна не є енергоефективними, оскільки опір їх теплопередачі становить: $R_{\text{в ПВХ1}} = 0,32$

$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, що майже втричі менший за мінімально допустимий вимогами ДБН $R_{\text{вікон min}} = 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, а вікна встановлено без утеплення укосів. Опір теплопередачі дерев'яних вікон становить: $R_{\text{в пвх1}} = 0,42 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (подвійне скління в роздільних плетіннях).

Площа однокамерних пластикових вікон становить $S_{\text{в.ПВХ}} = 842 \text{ м}^2$, що становить 99,9% від площі скління; площа дерев'яних вікон становить $S_{\text{д.ПВХ}} = 0,7 \text{ м}^2$, що становить - 0,1% від загальної площі скління. Суцільна площа зовнішніх світлопрозорих вікон і дверей становить $S_{\text{ПВХ}} = 857,5 \text{ м}^2$.

Коефіцієнт скління фасаду:

$$k_C = S_{\text{вік}}/S_{\Sigma} = 857,5 / 2746,6 = 0,312 ,$$

тобто, на 1 м^2 площі огорожувальних конструкцій припадає $0,312 \text{ м}^2$ вікон і дверей.

Оскільки завеликий k_C призводить до підвищених теплових втрат, то їх зменшення можна досягти збільшенням опору теплопередачі вікон та зменшенням площі віконних отворів.

У силкуванні зберегти тепло, вікна у книгосховищах завішено пеленами.



а



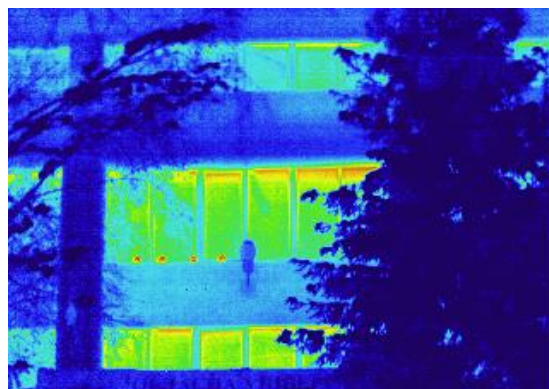
б

Рисунок 2.9. Вигляд однокамерних металопластикових вікон

Термограми виявляють підвищені теплові втрати через неенергоєфективні вікна; а також втрати через нещільності вікон (рис. 2.10).



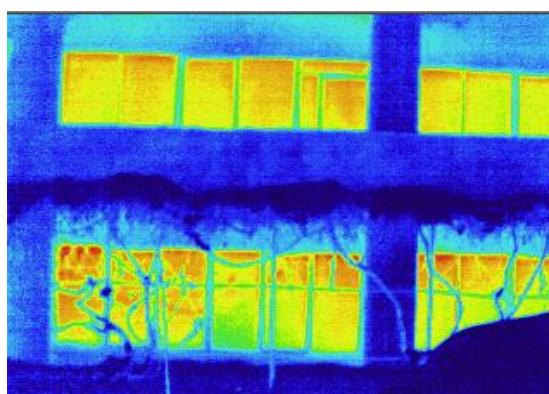
а



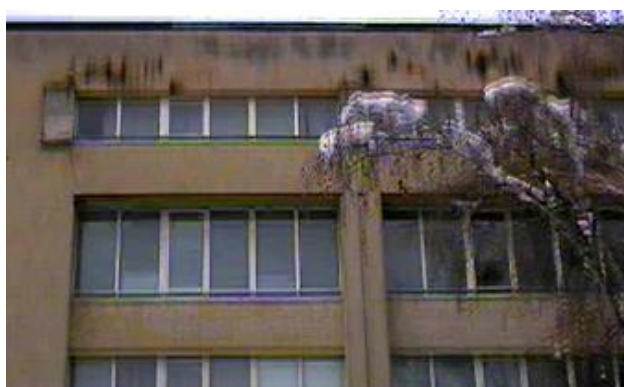
б



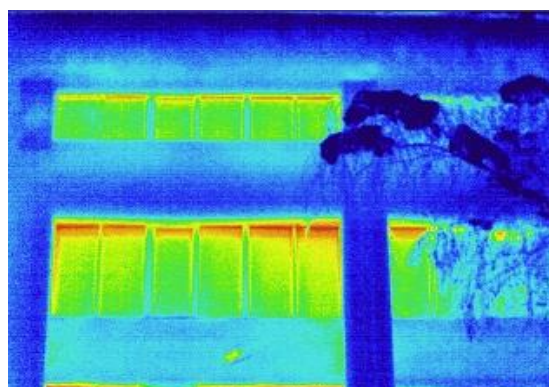
в



г



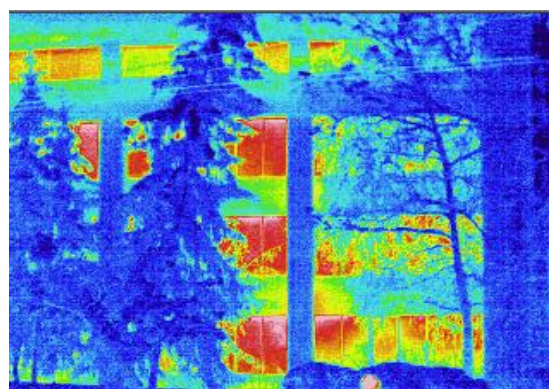
д



е



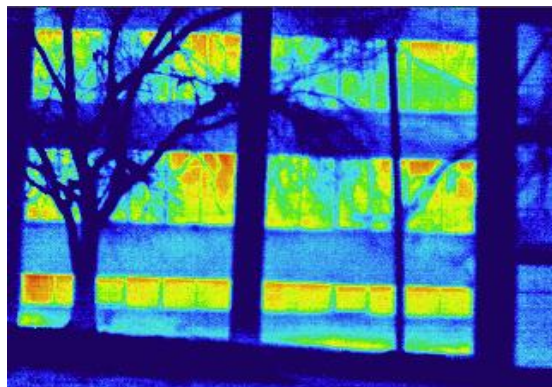
ж



з



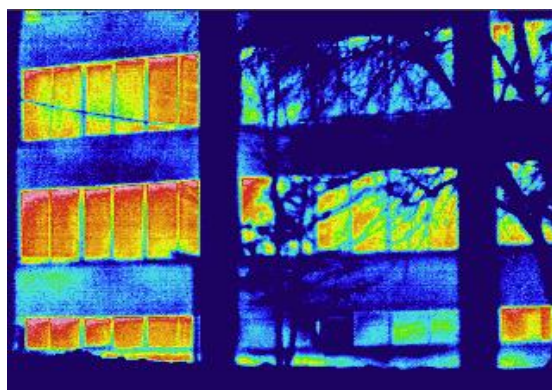
і



к



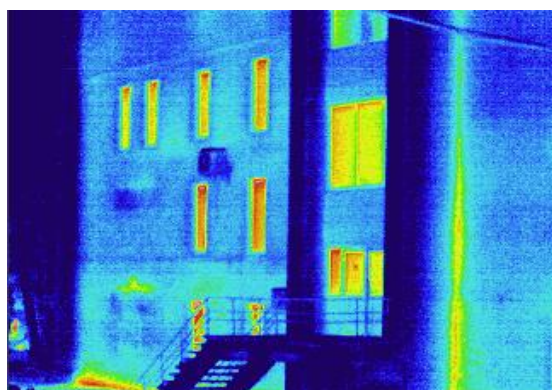
л



м



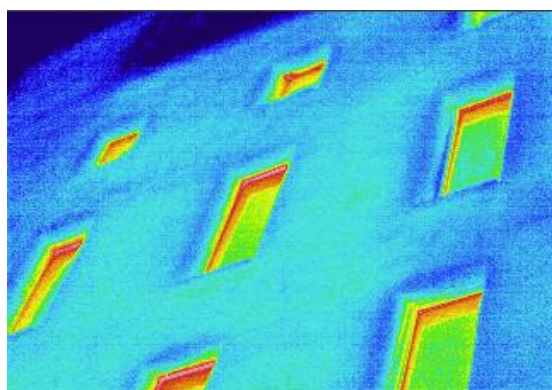
н



о



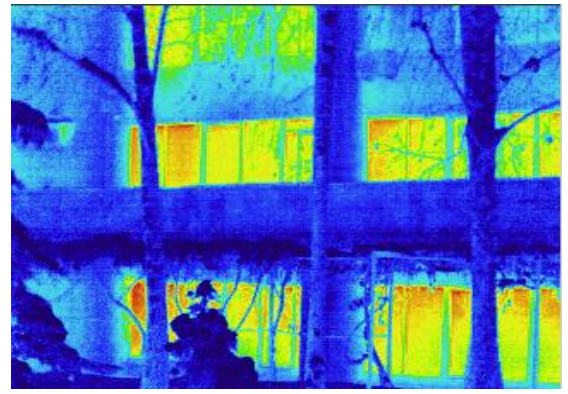
п



р



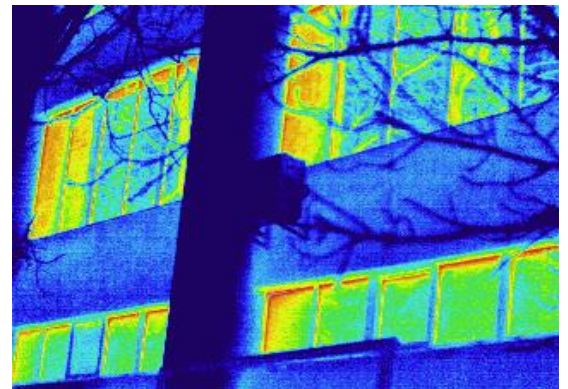
с



т



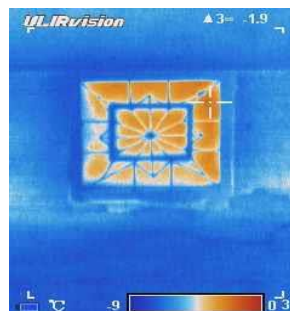
ф



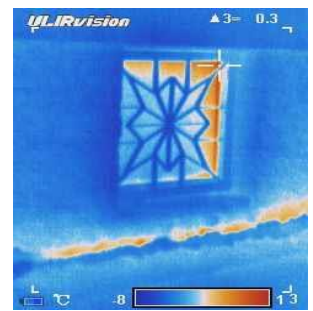
х



ч



щ



ю

Рисунок 2.10. Зовнішній вигляд та термограми вікон

Отже, крізь вікна втрачається неприпустимо велика кількість теплової енергії, тому потрібно покращити теплоізолюючі властивості склопакетів.

Можливі заходи енергетичної ефективності:

- замінити однокамерні віконні склопакети на газонаповнені 2-камерні з *i*-склом з опором теплопередачі $R_{\text{вікон min}} \geq 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

2.3. Двері

На рис. 2.11 показано вигляд дверей будівлі, загальною площею $S_d = 42,7 \text{ м}^2$. У ОБ встановлено металопластикові двері на парадному вході (рис. 2.11 а) з тамбуром (рис. 2.11 б) та металеві вихідні двері (рис. 2.11 д, е).



а



б



в



г



д



е

Рисунок 2.11. Вигляд входних дверей: а, б - тамбуровані металопластикові двері парадного входу; в – бічні двері з північного сходу; д, е – металеві двері на цокольному поверсі; г – балконні двері аварійного виходу



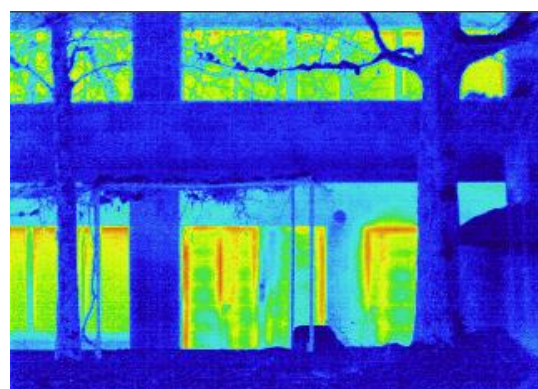
а



б



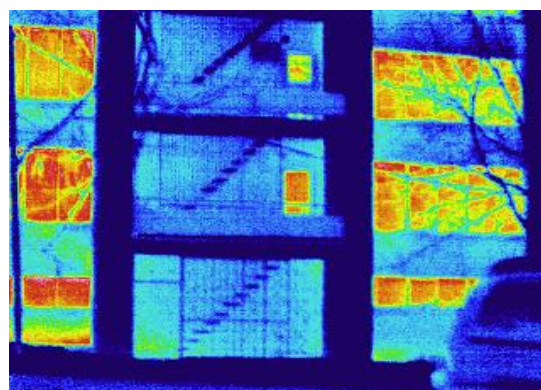
в



г



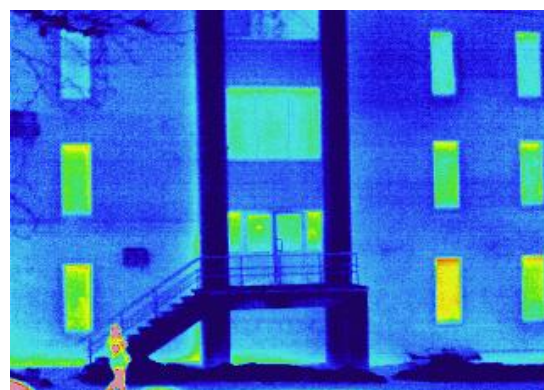
д



е



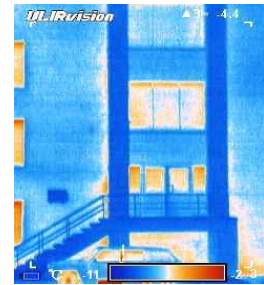
ж



з



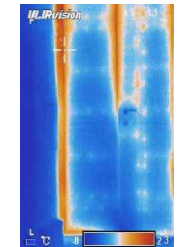
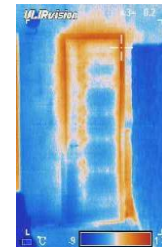
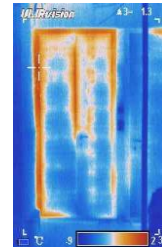
И



К



Л



М

Рисунок 2.12. Вигляд входних дверей та термограми: а, б - тамбуровані металопластикові двері парадного входу; в, г , л, м – металеві двері на цокольному поверсі; д, е – балконні двері; ж, з , и, к – бічні двері

Термограми на рис. 2.12 свідчать про наявність теплових втрат через неефективні металопластикові балконні двері аварійного виходу (рис. 2.12 е), виявлено також підвищені тепловтрати через нещільності металевих дверей (рис. 2.12 м).

Вхідні металопластикові та металеві двері не відповідають вимогам ДБН «Теплова ізоляція ...», позаяк приведений опір теплопередачі дверей становить $R_{\text{дв}} = 0,51 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що є меншим за мінімально допустиме $R_{\text{вх. дверей min}} \geq 0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Можливі заходи енергетичної ефективності:

– утеплити та ущільнити вихідні двері додатковою теплоізоляцією.

2.4. Дах

Дахове покриття будівлі пласке, розташоване просто над опалюваними приміщеннями 4-го поверху (рис.2.13), виконане із залізобетонного перекриття, та утеплювача-спіненого бетону з цементною стяжкою. Крівля вкрита шаром

руберойду.

Загальна площа дахового покриття $S_{\text{ПК}} = 1701,8 \text{ м}^2$.



а



б

Рисунок 2.13. Зовнішній вигляд даху ОБ:

а – дах з виходами вентиляції; б – стан парапету

Для видалення з покрівлі дощової води, на даху встановлено внутрішню систему водостоків – через водостічні труби, які прокладені всередині будівлі.

Виявлено недоліки, зокрема, гідроізоляція парапетів частково зруйнована (рис.2.13 б).

У 2009 році відремонтовано покриття даху та грозозахист будівлі, втім, теплова ізоляція крівлі не поновлювалась, утеплювач наситився вологою і втратив свої номінальні параметри, що призводить до замокання парапету, появи плісняви на горі фасаду (рис. 2.15).



Рисунок 2.15. Пліснява на горі фасаду

Дахове перекриття насичене вологою, що конденсується на внутрішній поверхні холодної стелі, перекриття замокає (рис. 2.16). Це істотно збільшує тепловтрати та, призводить до появи цвілі, плісняви, грибка (рис. 2.16) та

руйнування конструкцій.



Рисунок 2.16. Конденсована волога, іржа, руйнування конструкцій

Термічний опір суміщеного покриття $R_{ПК} = 1,23 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ значно менший за мінімально допустимий $R_{пр \text{ min}} = 7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ і не відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель».

Отже, стан горища на час проведення аудиту є незадовільним.

Можливі заходи енергетичної ефективності:

– утеплення та гідроізоляція суміщеного покриття даху і парапетів.

2.5. Підлога

Загальна площа підлоги становить $S_{П} = 1654 \text{ м}^2$. Структура підлоги складається із залізобетонної плити 220 мм та стяжки 5 мм. Підлога вкрита ПХВ плиткою (рис. 2.17 б), паркетом (рис. 2.17 а), лінолеумом (рис. 2.2.11 в).



а



б



в

Рисунок 2.17. Покриття підлоги: а – паркет, б – ПВХ плитка, в - лінолеум

Таким чином, підлога перебуває у прийнятному стані.

2.6. Цокольний поверх

Тепломагістраль до ОБ прокладено в каналах на глибині 1 - 1,5 м.

В підвалі цокольного поверху розміщено інженерні системи та тепловий пункт, а саме – трубопроводи системи водопостачання та опалення, а також системи водовідведення(рис. 2.18).

Підвальне перекриття: залізобетонна плита 220 мм та шар 50 мм цементно-піщаної стяжки.

Опор теплопередачі перекриття $R_{\text{підлоги}} = 0,209 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.



а



б



В



Г



Д

Рисунок 2.18. Трубопроводи з лічильниками систем опалення та водопостачання

Труби системи опалення місцями не ізолювані (рис. 2.18), що призводить до підвищених теплових втрат в системі. За тепловиділення з поверхні трубопроводів опалення середня температура в цокольному поверсі становить наднормативні $+23,6...+24,2^{\circ}\text{C}$, натомість у приміщеннях 1-го поверху температура $+20...+22,8^{\circ}\text{C}$ (табл. 2.2).

Можливі заходи енергетичної ефективності:

– термоізолювання трубопроводів, та інших компонентів системи опалення в приміщеннях цокольного поверху.

3. АУДИТ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

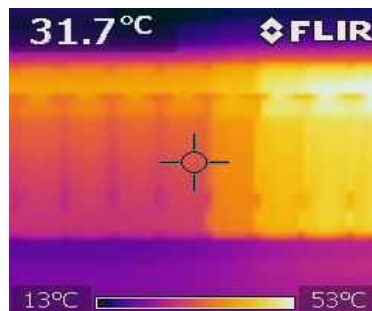
3.1. Опалення

На подачі з котельні в тепловому пункті температура теплоносія становила 65°C , а на звороті – 44°C .

Опалення виконане з нижнім розведенням і розраховано на температуру зовнішнього повітря $t_{\text{з.о.}} = -22^{\circ}\text{C}$. Система опалення однотрубна, прокладка стояків – вздовж стін будівлі. Заходи з промивки розподільчої системи опалення та балансування здійснювались щорічно. У 2008 р. зроблено ремонт системи водопроводу з встановленням пластикових труб. Система опалення знаходиться в експлуатації 40 років, тому є дуже зношеною – пориви труб, витoki з радіаторів. У будівлі встановлені алюмінієві (рис. 3.19 а), сталеві (рис. 3.19 б, г) радіатори та реєстри (рис. 3.19 в, д).



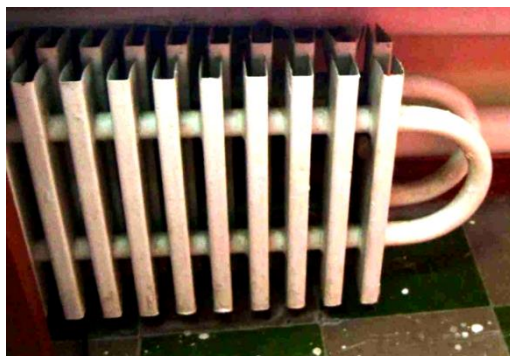
а



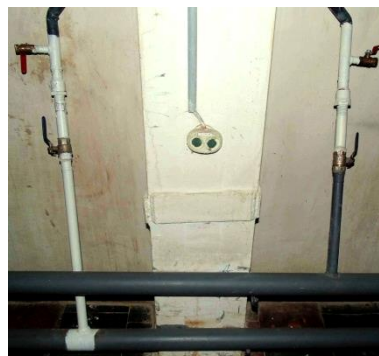
б



в



г



д

Рисунок 3.19. Прилади опалення будівлі

Не зважаючи на щорічну промивку системи опалення, тепловізійна зйомка

виявила забруднення у системі опалення.

Таким чином, система опалення перебуває в не належному стані.

Можливі заходи з енергетичної ефективності:

- замінити зношені труби і радіатори системі опалення;
- встановити рефлектори за радіаторами;
- забезпечити регулювання тепловіддачі нагрівальних приладів.

3.2. Постачання гарячої води

Передбачено приготування гарячої води з застосуванням 3-х електробойлераів (рис. 3.21 в), що нагрівають холодну воду з водогону ОКВП „Дніпро-Кіровоград” від температури $+12^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$.

Можливі заходи з енергетичної ефективності:

- на даху встановити систему сонячних колекторів для підігрівання води.

3.3. Система вентиляції

Проектом для ОБ завбачено вентиляцію, що здійснюється через канали, в коробах (рис. 3.20 б) і в товщі стін (рис. 3.20 в). Виходи вентиляції виведені на дах (рис. 3.20 к).

Наразі вентиляційна система з механічним спонуканням знаходиться у неробочому стані (рис. 3.20 а).

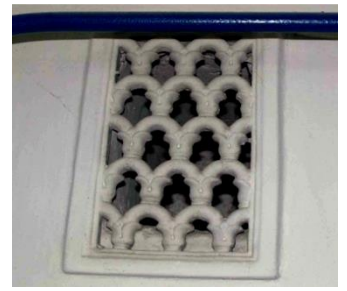
У деяких кабінетах отвори вентканалів заклеєні шпалерами або затулені папером (рис. 20 є, ж, з), внаслідок намагання запобігти втратам тепла. Це є причиною зниження кратності повітрообміну та, погіршення якості повітря (збільшення концентрації CO_2 (див. табл. 3.2)), спричиняє задуху і підвищену вологість. Внаслідок цього запотіватимуть вікна та утворюватимуться (рис. 3.9 а).



а



б



в



г



д



е



ж



з

Рисунок 3.20. Вигляд вентиляційних каналів та повітроводів вентиляції

Параметрами, за якими оцінити рівень теплового комфорту, є температура, вологість та концентрація вуглекислого газу CO_2 – виконано заміри параметрів мікроклімату в основних приміщеннях ОБ, зведених до табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Параметри мікроклімату приміщень

№ за тех. - пас п.	Призначення приміщення	Площа А, м ²	Освітленість Е, лк	Температура t, °C	Вологість ω, %	Концентрація CO_2 , ppm
1-й поверх						
23	Вестибюль	333	225-400	22,7	32,7	900
24	Кабінет	30	156	20	41	1170

	<i>інформаційно-бібліографічного відділу</i>					
25	<i>Прес-центр</i>	20	114	21	38	1340
35	<i>Кабінет</i>	24	65-130	20	43	1620
41	<i>Кабінет обмінного фонду</i>	83	70-135	20,8	41	1130
43	<i>Читальна зала відділу мистецтв</i>	130	90	21,4	38,8	980
44	<i>Кабінет відділу мистецтв</i>	53	65	21,8	36	911
46	<i>Кабінет абонементів</i>	174	130	22,6	34	863
47	<i>Книгосховище абонементів</i>	171	135-180	22,7	33,6	800
48	<i>Кабінет «Інтернет»</i>	73	180	22,7	26,5	720
48a	<i>Кабінет «Інтернет»</i>	62	90	22,8	29	790
2-й поверх						
52	<i>Кабінет відділу інформаційних технологій</i>	30,5	100-130	23	34	1570
54	<i>Кабінет формування фондів</i>	48	150-220	23,1	34,4	1300
55	<i>Кабінет каталогізування</i>	81	40-190	23,2	35,8	1590
56	<i>Читальна зала рідкісних видань</i>	1735	40-180-230	23,2	29,1	910
58	<i>Кабінет наукових документів</i>	85,4	150-200	23,5	33	967
59	<i>Читальна зала наукових документів</i>	259	60-120-130	23,5	34,2	960
60	<i>Кабінет з медицини</i>	63	230	23,3	34,8	1032
61	<i>Читальна зала документів з питань медицини</i>	172	150-220	23	35	1574
62	<i>Книгосховище документів іноземними мовами</i>	72	65-75	23,4	28,7	810
63	<i>Кабінет</i>	71	225	23,5	29	840

65a	Читальна зала документів іноземними мовами	87,5	60-110-210	23,4	28,6	740
76	Приймальня	34+16	250	23,5	30	1075
3-й поверх						
80	Кабінет	7,2	35	23	34	1350
81	Кабінет	23,7	175	23,1	36	1370
82	Кабінет науково-методичного відділу	45	130-240	23	34	1331
85	Читальна зала відділу краєзнавства	176	57-110	23,1	33	1376
86	Книгосховище відділу обслуговування	72,3	50-130	23,3	32,5	814
87	Читальна зала гуманітарних наук	268	375	23,3	33	914
88	Кабінет	44	170	23,1	30	758
89	Читальна зала суспільних наук	252	100-116	23,1	33,3	975
89a	Кабінет (конфер. зала)	69	265	23,2	37	1221
90	Книгосховище відділу обслуговування	72	100-160	23,1	34,8	1020
р.3 7	Вестибюль	181	74-173	23,1	32,7	945
102	Кабінет заст..директора	10,5	34-59	23	29	916
4-й поверх						
103	Книгосховище зберігання бібл. фондів	303	10-75			
110	Книгосховище зберігання бібл. фондів	390	10-75-88			
111	Книгосховище реставрації бібл. фондів	343	10-75-88			
112	Книгосховище реставрації бібл. фондів	351	10-75-88			
114	Кабінет	26	140			

Цокольний поверх						
3	палітурна майстерня	17,2	124-260	23,6	30	880
6	Книгосховище реставрації бібл. фондів	297	10-75-88	24,1	30	670
7	Книгосховище реставрації бібл. фондів	299,3	115-170	24,2	28,8	630
18-19*	Актова зала	145.6	80-100	22	33	950
21	Кабінет	11,3	24-35	23,7	32,2	1070

Для забезпечення нормальних умов необхідно, щоб концентрація діоксиду вуглецю (CO_2) не перевищувала 0,1 % (1000 ppm). Видно, що концентрація CO_2 630...1720 ppm (у табл. 3.2 виділено червоним) перевищувала нормативну.

У 2018 р. у кабінетах 24-25 змонтовано локальну вентиляційну систему з рекуперацією теплової енергії відпрацьованого повітря (рис.3.20 л,м). Утім, вона практично не працює, оскільки не є автоматизованою. В результаті концентрація CO_2 1170...1340 ppm у кабінетах перевищує норму.

Відповідно до ДБН В.2.2-16 «Будинки і споруди. Культурно-видовищні та дозвілльє заклади» в приміщенні ОБ потрібно підтримувати температуру $T_{\text{п}}=18^\circ\text{C}$; система вентиляції мусить забезпечувати нормативну кратність повітрообміну для читальних зал: припливну – 3, витяжну – 2.

Відновлення роботи припливно-витяжної механічної вентиляції дозволить забезпечити санітарні вимоги до мікроклімату.

Цей захід є нерентабельним, але обов'язковим.

Можливі заходи з енергетичної ефективності:

- улаштування механічних систем припливно-витяжної вентиляції із автоматичним регулюванням та з рекуперацією теплової енергії відпрацьованого повітря;

- відкрити вентиляційні отвори.

3.4. Електроспоживання

Електропостачання ОБ виконано напругою 0,4 кВ від трансформаторної підстанції ТП з двома вводами. За ступенем надійності електропостачання ОБ належить до II категорії.

Електроустаткування. Основними споживачами електроенергії є: кондиціонери, комп'ютери, електробойлери, мультимедійне обладнання, ліфтові двигуни, оргтехніка, електровентилятори тощо (рис. 3.21). Сумарна потужність силового електрообладнання становить близько 200 кВт, освітлювального – 110 кВт. Оскільки споживачі електроенергії працюють з коефіцієнтом використання $K_B \leq 0,3$, то доцільно встановити електролічильник реактивної енергії NIK 2303 L AK1T 1000 ME та компенсатор реактивної енергії.

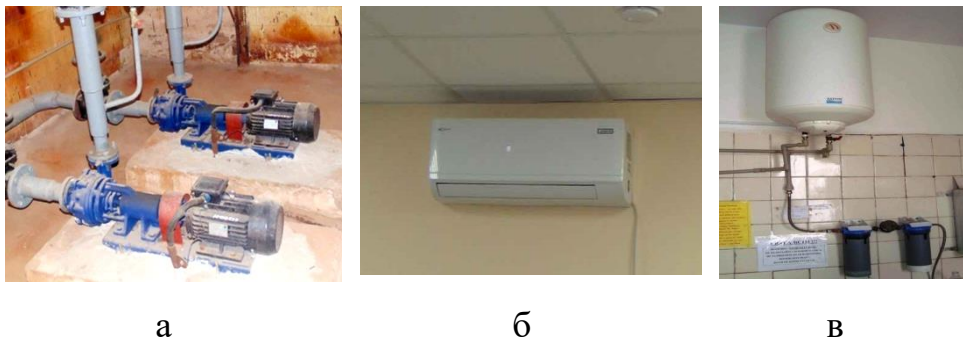


Рисунок 3.21. Електроустаткування ОБ: а – насосне устаткування, б – кондиціонер, в – електробойлер

Можливі заходи з енергетичної ефективності:

– встановити електролічильник реактивної енергії.

Освітлення. Система освітлення є енергоефективною якщо створює якісне освітлення за низьких витрат на споживання.

В ОБ загальна кількість освітлювальних ламп – 3587 шт (табл. 3.3 і рис. 3.22), з них LED лампи – 370 шт.

Таблиця 3.3. Параметри ламп

Назва	Марка	Кількість світильників	Лампи, шт.	LED- лампи	Потужність, Вт	Коефіцієнт використання
Світильник	LED 20W	7	7	7	140	0,25
Світильник	LED-9x4	65	260	260	2340	0,21
Світильник	PANEL LED	41	41	41	1476	0,21
Світильник	ЛБО-18x1	3	3	3	54	0,03
Світильник	ЛБО-36x2	11	19	-	720	0,08
Світильник	ЛВО-18x4	96	384	40	6844	0,21
Світильник	ЛВО-36x2	329	658	19	23346	0,19
Світильник	ЛН-40x5	4	20	-	800	0,04
Світильник	ЛПО-18x1	14	14	-	252	0,01
Світильник	ЛПО-18x2	3	6	-	108	0,21
Світильник	ЛПО-18x4	149	574	4	11260	0,18
Світильник	ЛПО-36x1	1060	1060	-	38160	0,15
Світильник	ЛПО-36x2	46	92	-	3324	0,16
Світильник	лр	10	10	1	449	0,09
Світильник	патрон E14	10	10	10	60	0,21
Світильник	патрон E27	416	409	130	9360	0,10
Світильник	патрон E40	4	4	2	730	0,42
Світильник	СПС20- прожектор	8	8	8	160	0,21
Разом		2282	3587	525	99695	0,19



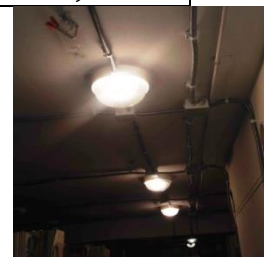
а



б



в



г



д



ж



з



и



к

Рисунок 3.22. Система освітлення ОБ

В наслідку обстеження системи освітлення виявлено, що рівень освітленості у більшості становив від 40 лк до 260 лк (табл. 3.2), що не відповідає ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», оскільки для бібліотек нормативна освітленість становить 75-400 лк залежно від типу приміщення, для прикладу, для читальної зали – 400 лк, кабінету – 300 лк, каталогу – 200 лк, книгосховища – 75 лк, (невідповідність E нормативній відображено червоним у табл. 3.2).

Занизька освітленість обумовлена:

- деградацією характеристик ламп у часі;
- чималою кількістю непрацюючих ламп (до 40%);
- заниженою потужністю встановлених ламп .

Можливі заходи з енергетичної ефективності:

- реконструювати систему освітлення – встановити світильники із світлодіодними лампами

3.5. Результати енергетичного обстеження

За результатами енергетичного обстеження будівлі ОБ виявлено:

- 1) площа скління будівлі сягає 31%, що вимагає заміни неякісних склопакетів на 2-камерні з більшим опором теплопередачі;
- 2) виявлено значну зволоженість цегли та руйнування фундаменту;
- 3) температура у більшості приміщень є зависокою;
- 4) стан даху є незадовільним - виявлено конденсат на поверхні перекриття стелі. Конденсат збільшує тепловтрати, призводить до появи іржі, цвілі, та поступового руйнування конструкцій;
- 5) значення термічного опору елементів огорожувальної конструкції є меншими за нормативні;
- 6) тепловізійна зйомка дозволила виявити ділянки підвищених втрат;
- 8) відсутня циркуляція повітря та наявна підвищена концентрація CO₂;
- 9) рівень освітленості не відповідає нормативному у більшості приміщень.

4. ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Утеплення укосів вікон

Опис можливості енергетичної ефективності. Під час утеплення зовнішніх стін, як правило, віконні укоси не утеплюють. Через це виникають втрати тепла внаслідок мостику холоду, що може призвести до випадіння конденсату, появи плісняви на укосах з внутрішньої частини.

Для підвищення рівня енергоефективності запропоновано утеплити укис вікна ззовні шаром пінополістиролу товщиною 20 мм (рис. 4.1.1).

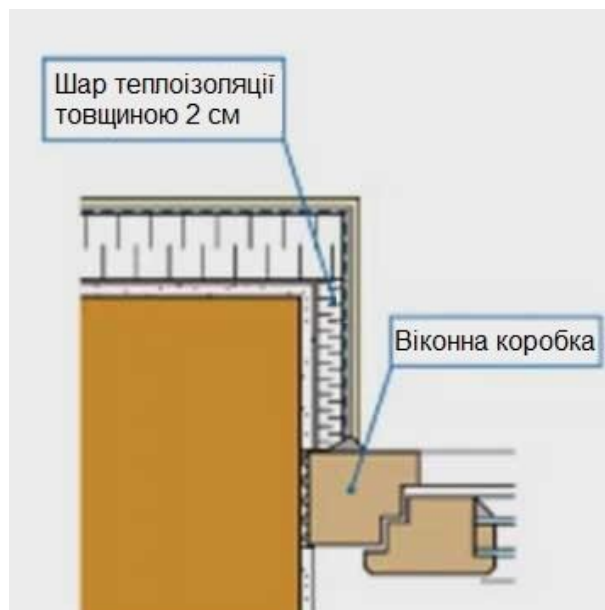


Рис. 4.1.1. Утеплення віконного укосу

Визначення ефективності заходу – утеплення, вирішують на основі побудови температурного поля згідно з ДСТУ ISO 10211-2: «Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплових потоків і поверхневих температур. Ч. 2. Лінійні теплопровідні включення (ISO 10211-2:1995, IDT)». Для вирішення задачі використана програма *ELCUT 6.3.2 Student*.

Розміри вузла віконного сполучення з утепленням показано на рис. 4.1.2 а і б. Зображення розрахованих температурних полів без утеплення та з ним показано на рис. 4.1.3 - 4.1.6. Результати розрахунку теплового поля віконного

сполучення з утепленням та без показано в табл. 4.1.1. Розрахунок виконано для вузла примикання віконної конструкції у зоні сполучення з стіною та перемички з залізобетонною балкою.

Під час розрахунків прийнята температура всередині приміщення $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ззовні $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Розрахунок проведено з урахуванням коефіцієнтів тепловіддачі всередині $\alpha_{\text{в}} = 8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, ззовні $\alpha_{\text{з}} = 23\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Обчислимо збільшення лінійного коефіцієнту теплопередачі при утеплення укосів:

– для товстої стіни для зони перемички з залізобетонною балкою:

$$\Delta\psi_{\text{п.тов.}} = \Delta\Phi/\Delta t = (36,304 - 21,608)/(20 - (-22)) = 0,35\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C});$$

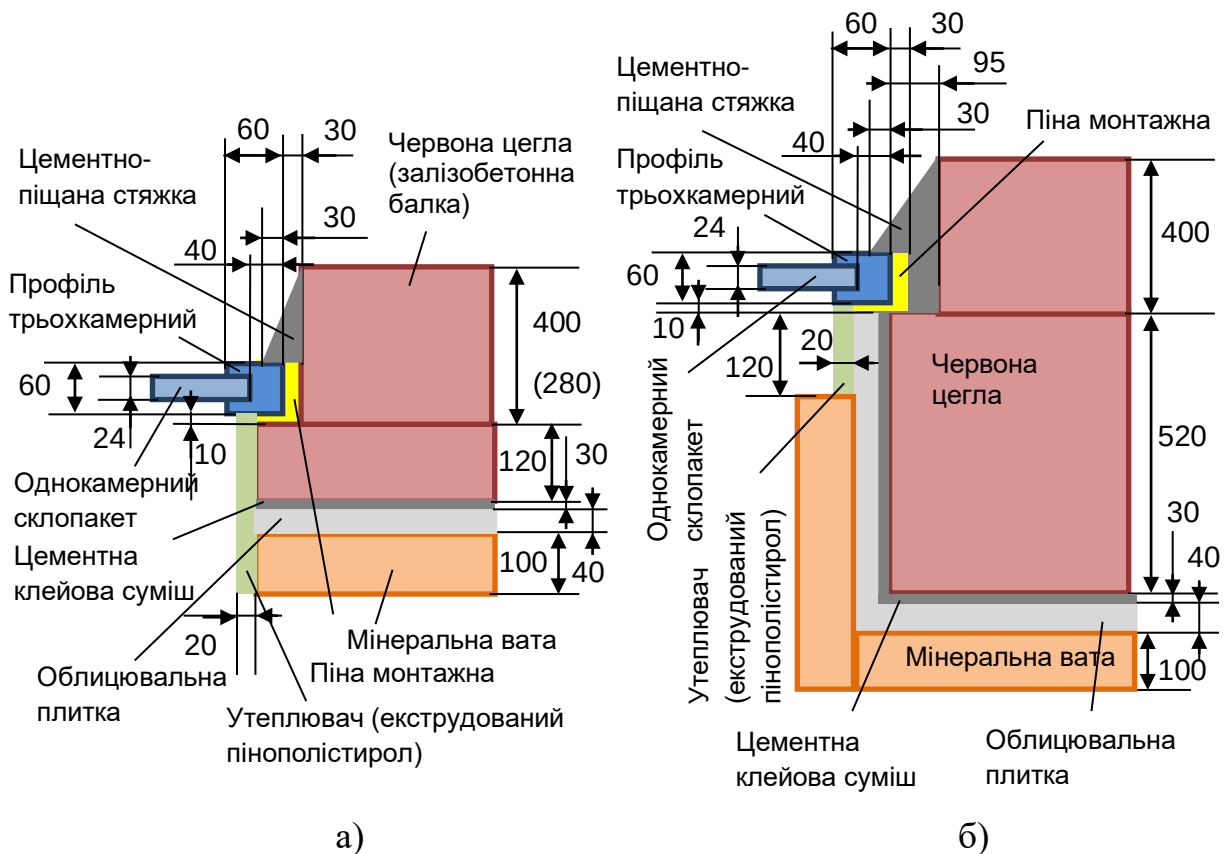


Рис. 4.1.2. Зображення вузла примикання віконної конструкції до стін: а – у зоні цегляної стіни та у зоні перемички з залізобетонною балкою; б – у зоні сполучення з цегляною колоною

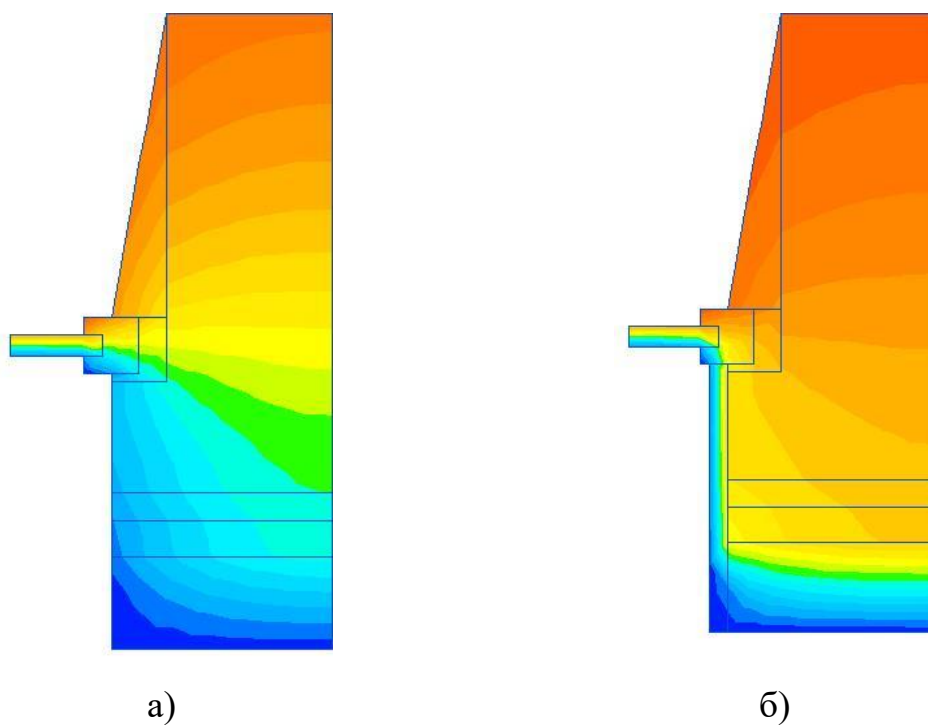


Рис. 4.1.3. Зображення температурного поля у вузлі примикання віконної конструкції до залізобетонної балки: а і б – без та з утепленням

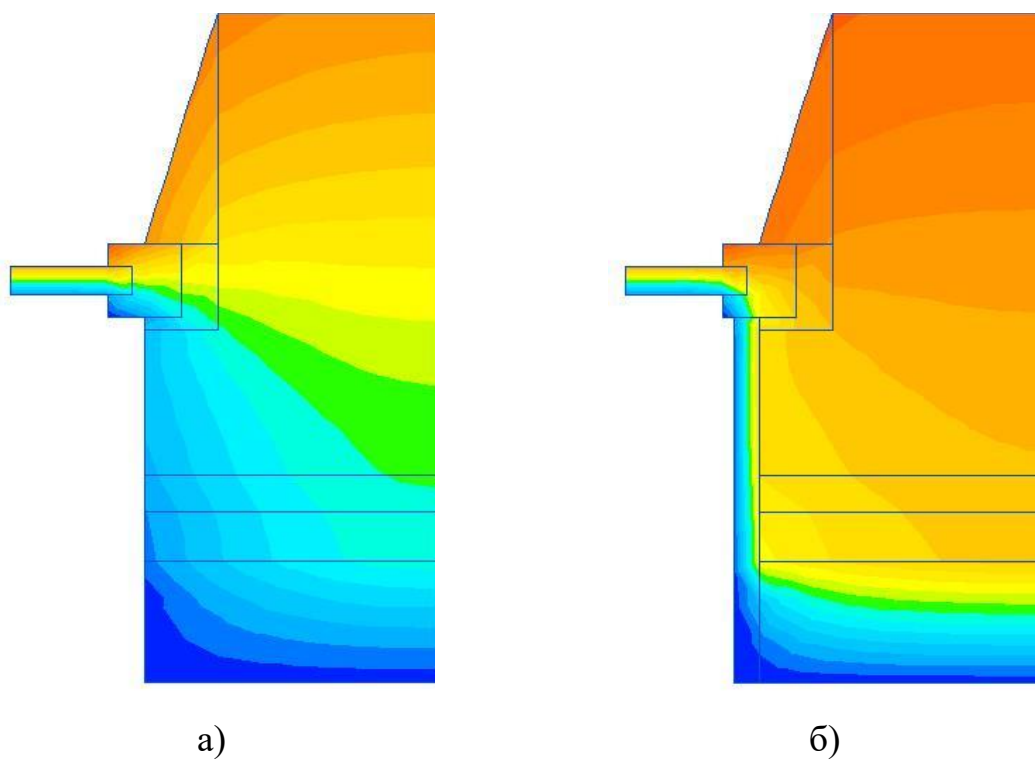


Рис. 4.1.4. Зображення температурного поля у вузлі примикання віконної конструкції до залізобетонної балки в зоні перемички тонкої стіни
а і б – без та з утепленням

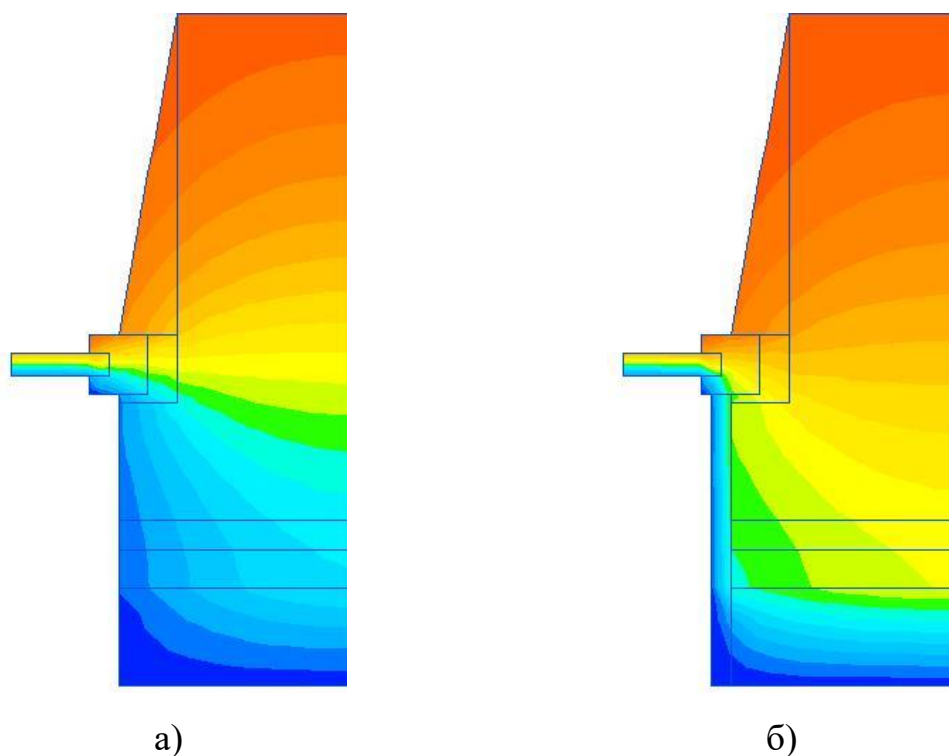


Рис. 4.1.5. Зображення температурного поля у вузлі примикання віконної конструкції до цегляної стіни в зоні рядового сполучення
а і б – відповідно без та з утепленням

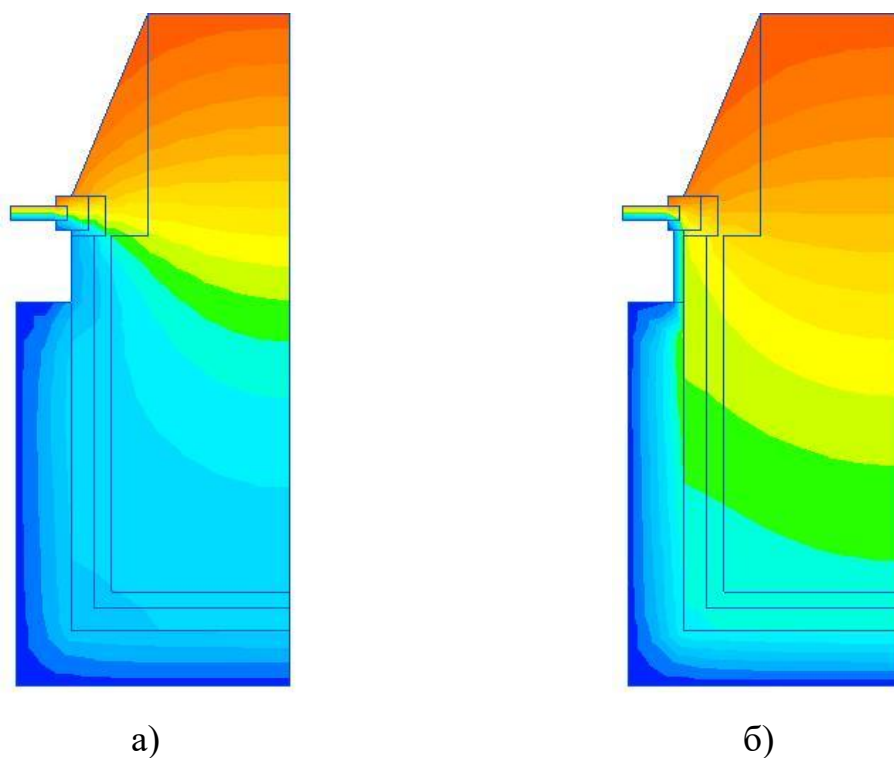


Рис. 4.1.6. Зображення температурного поля у вузлі примикання віконної конструкції до цегляної колони в зоні рядового сполучення

Таблиця 4.1. Результати розрахунку температурного поля віконного укосу без- та з утепленням

Зона примикання	Загальний тепловий потік внутрішнього контуру, Вт/м		Середня температура внутрішнього контуру, °С	
	Без утеплення	З утепленням	Без утеплення	З утепленням
Рядове сполучення з стіною з червоної цегли (товста стіна)	22,8	17,5	15,79	16,73
Перемичка з залізобетонною балкою (товста/тонка стіна)	36,3/36,76	21,61/21,76	13,39/11,54	16,01/14,93
Рядове сполучення з колоною з червоної цегли	27,3	20,51	15,64	16,7

– для зони перемички з залізобетонною балкою для тонкої стіни

$$\Delta\psi_{п.тон.} = \Delta\Phi/\Delta t = (36,76 - 21,759)/(20 - (-22)) = 0,357 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)};$$

– для зони рядового сполучення з товстою стіною з червоної цегли

$$\Delta\psi_{р.с.} = \Delta\Phi/\Delta t = (22,802 - 17,514)/(20 - (-22)) = 0,126 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)};$$

– для зони рядового сполучення з колоною з червоної цегли

$$\Delta\psi_{к} = \Delta\Phi/\Delta t = (27,302 - 20,506)/(20 - (-22)) = 0,162 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}.$$

Результати розрахунку по визначенню загальної довжини рядового сполучення та перемичок по об'єкту показано в табл. 4.1.2.

Річний ефект від впровадження заходу з утеплення укосів:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \sum \Delta\psi_i \cdot L_i \cdot D_0 \cdot 24 = \\ &= (0,126 \cdot 296,58 + 0,35 \cdot 75,99 + 0,162 \cdot 212,29 + 0,357 \cdot 379,5) \cdot 3552 \cdot 24 = 19934 \\ &\text{кВт}\cdot\text{год}, \text{ або } 17,14 \text{ Гкал.} \end{aligned}$$

де $\Delta\psi_i$ і L_i – зростання лінійного теплового опору та довжина теплопровідного включення; $D_0 = 3552$ – кількість градусо-днів опалювального періоду.

Таблиця 4.2. Результати розрахунку довжини рядового сполучення та

перемичок

Номер за планом	Розмір вікна, м		Кількість, шт.	Довжина, м	
	Висота	Ширина		Рядове сполучення	Перемичка
Товсті стіни					
2-3	2,1	0,9	17	72,4	15,8
2-3	2,0	2,7	3	–	8,1
4-1	2,1	0,9	48	204,5	44,6
4-1	1,2	0,9	8	19,7	7,4
Всього				296,6	76
Тонкі стіни					
1-2	2,1	5,5	25	106,5	137,5
1-2	1,2	5,5	8	–	44,0
1-2	2,1 (2,58)	4,75 (5,5)	1	4,71	5,5
3-4	2,1	5,5	21	89,5	115,5
3-4	1,2	5,5	7	–	38,5
3-4	0,8	5,5	7	11,6	38,5
Всього				212,3	379,5

Визначимо спільну площу укосів, що підлягає утепленню:

$$S = \Sigma L_i \cdot h = (296,6 + 75,99 + 379,5) 0,3 + 212,3 \cdot 0,13 = 253,2 \text{ м}^2,$$

де h – ширина укосу (рис. 4.1.2 а – 0,3 м; рис. 4.1.2 б – 0,13 м).

Результати обчислення капіталовкладень для впровадження енергозберігаючого заходу наведений в табл. 4.1.3.

Таблиця 4.3. Приблизні витрати при впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Вартість одиниці	Необхідна кількість	Вартість, грн.
1	Екструдований пінополістирол товщиною 20 мм (1,185x0,585 = 0,69 м ²)	40 грн./лист	253,2 м ² (367 листів)	14680
2	Дюбелі для кріплення теплоізоляції (AMEX 10x90) 500 шт./упак.	420 грн./упак.	964 м 3 шт./м (6 упак.)	2520
3	Вартість суміші для приклеювання плит Ceresit СТ-83	26,5 грн./м ²	253,2 м ²	6710
4	Вартість суміші для штукатурки Ceresit СТ-85	31,6 грн./м ²	253,2 м ²	8001
5	Вартість скловолокна (армована основа при штукатурних роботах)	6,6 грн./м ²	253,2 м ²	1671

6	Вартість монтажних робіт	50 грн./м	964 м	48200
	Всього, K_{Σ}			81782

Річна вартість від економії теплової енергії:

$$P_b = \Delta E \cdot C_0 = 17,14 \cdot 2494,3 = 42752 \text{ грн},$$

де $C_0 = 2494,3$ грн./Гкал – вартість теплової енергії за централізованого опалення.

Тривалість окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / P_b = 81782/42752 = 1,9 \text{ року}.$$

4.2. Відновлювання системи припливно-витяжної вентиляції з рекуператорами

Опис можливості енергозаощадження. Вентиляцію в будівлі забезпечують природним спонуканням через відкриті вікна. Це призводить до теплових втрат за рахунок тепломасообміну.

Робота систем вентиляції, кондиціювання та опалення регламентована діючими нормативними документами, а саме: ДБН «Громадські будинки та споруди», ДБН «Опалення, вентиляція та кондиціювання», ДБН «Культурно-видовищні та дозвіллієві заклади».

Таблиця 4.4. Параметри повітря у комплексах приміщень клубів, центрів дозвілля

Найменування приміщень	Розрахункова тем- пература повітря, °С	Кратність повітрообміну за годину	
		приплив	витяжка
Клубний комплекс			
Вітальня	18	—	3
Зимовий сад	16	1	—
Гардеробна	16	—	2
Підсобне приміщення при аудиторії	16	—	1
Аудиторія, відеозали	18	Не менше 20 м³/год на одного відвідувача	
Методичний кабінет,	18	1	—

приміщення лектора-методиста			
Читальна зала	18	3	2

Так як вимоги до повітрообміну різняться в залежності від призначення (табл. 4.4), то пропонуємо застосувати самостійні (децентралізовані) системи.

За даними технічного паспорту встановлено, що основне навантаження в будівлі мають приміщення показані в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Параметри приміщень з самостійними системами вентиляції

Найменування приміщень	Площа х висота, м ³	Температура повітря, °С	Кратність повітрообміну за годину	Тривалість використання за добу, год
Читальна зала	130*3	18	3	8
Кабінет	81*3	18	1,5	8
Читальна зала	254*3	18	3	8
Читальна зала	172*3	18	3	8
Читальна зала	87,5*3	18	3	8
Читальна зала краєзн.	176*3	18	3	8
Читальна зала	268*3	18	3	8
Читальна зала сусп. наук (конфер. зала)	252*3	18	1,5	8
Кабінет (конф. зала)	69*3	18	1	8
Книгосховище, робоча кімната	72*3	16	2	8
Актова зала	145,6*4,6	18	3	8

Пропонуємо використовувати вентиляційні припливно-витяжні установки з рекуперацією тепла таких марок, як: Daikin VAM, Mitsubishi Electric Lossnay, PRANA тощо. На рис. 4.2.1 наведено дія припливно-витяжної установки з рекуперацією тепла.

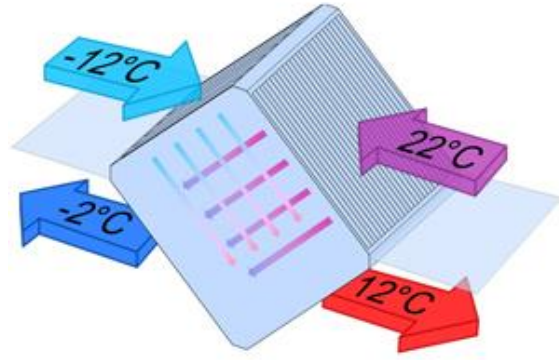


Рис. 4.2.1. Принцип дії припливно-витяжної установки з рекуперацією

Радимо запровадити децентралізовані системи в окремих приміщеннях бібліотеки параметри яких показано в таблиці 4.6. Виконаємо вибір припливно-витяжних установок, результати вибору показано в таблиці 4.7.

Таблиця 4.6. Характеристика приміщень та технічні параметри установок

Найменування приміщень	Об'єм приміщення, м ³	Кратність повітрообміну за годину	Розрахунковий повітрообмін, м ³ /год	Тип і параметри ПВУ з рекуперацією теплоти		
Читальна зала	390	3	1170	Cooper&Hunter FHBQ-D15		
				Р, кВт	Q _{пву} , м ³ /год	ККД, η _{рек} , %
				0,6	1500	0,73
Кабінет	243	1,5	365	ПРАНА-250		
				Р, кВт	Q _{пву} , м ³ /год	ККД, η _{рек} , %
				0,09	610	0,6
Читальна зала	762	3	2286	Cooper&Hunter CH-HRV5K		
				Р, кВт	Q _{пву} , м ³ /год	ККД, η _{рек} , %
				0,95	3000	0,7
Читальна зала	172	3	516	ПРАНА-250		
				Р, кВт	Q _{пву} , м ³ /год	ККД, η _{рек} , %
				0,09	610	0,6
Читальна зала	262	3	786	Cooper&Hunter FHBQ-D8		
				Р,	Q _{пву} ,	ККД,

				кВт	м³/год	$\eta_{рек}, \%$
				0,4	800	0,7
Читальна зала красзнавча	528	3	1584	Cooper&Hunter CH- HRV15M		
				Р, кВт	$Q_{пву},$ м³/год	ККД, $\eta_{рек}, \%$
				0,212	1500	73
Читальна зала	804	3	2412	Cooper&Hunter CH-HRV5K		
				Р, кВт	$Q_{пву},$ м³/год	ККД, $\eta_{рек}, \%$
				0,95	3000	0,7
Читальна зала сусп. наук (конфер. зала)	756	1,5	1134	Cooper&Hunter FHBQ-D15		
				Р, кВт	$Q_{пву},$ м³/год	ККД, $\eta_{рек}, \%$
				0,6	1500	0,73
Кабінет (конф зала)	207	1	207	Прана-200		
				Р, кВт	$Q_{пву},$ м³/год	ККД, $\eta_{рек}, \%$
				0,054	220	0,67
Книгосховище, робоча кімната	216	2	432	ПРАНА-250		
				Р, кВт	$Q_{пву},$ м³/год	ККД, $\eta_{рек}, \%$
				0,09	610	0,6
Актова зала	670	3	2010	Cooper&Hunter CH-HRV5K		
				Р, кВт	$Q_{пву},$ м³/год	ККД, $\eta_{рек}, \%$
				0,95	3000	0,7

Природна вентиляція в актовій залі через вікна $q_{ve,inf}$ впродовж місяця:

$$q_{ve,inf} = n_{inf} \cdot V_{ve} = 3,0 \cdot 670 = 2010 \text{ м}^3/\text{год},$$

де $n_{inf} = 3,0$ - кратність повітрообміну за інфільтрації, год⁻¹; V_{ve} - кондиціонований об'єм актової зали ($a \times b \times h$), призначений для вентиляції, м³.

Усереднена за часом витрата повітря:

$$q_{ve,k} = q_{ve,inf} \cdot f_{ve,k} = 2010 \cdot 0,33 = 633 \text{ м}^3/\text{год},$$

де $f_{ve,k} = 8/24 = 0,33$ – частка роботи за добу.

У разі природної вентиляції, загальний коефіцієнт теплопередачі за рахунок природної вентиляції $H_{ve,extra}$ до кондиціонованого об'єму, Вт/К:

$$H_{ve,extra} = \rho_a c_a \cdot q_{ve,k} = 0,33 \cdot 633 = 209 \text{ Вт/К},$$

де $\rho_a c_a$ - теплоємність повітря, $0,33 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$; $q_{ve,extra} = q_{ve,inf}$ - витрата повітря за рахунок природного охолодження, $\text{м}^3/\text{год}$.

Теплопередача вентиляцією Q_{ve} , у січні:

$$Q_{ve,d} = H_{ve,extra} (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t = 209 \cdot (18 - (-4,9)) \cdot 480 = 211912,8 \text{ Вт год},$$

де $H_{ve,extra}$ - коефіцієнт теплопередачі за рахунок вентиляції, Вт/К ; $\theta_{int,set,H}$ - задана температура будівлі, $^{\circ}\text{C}$; θ_e - середньомісячна температура зовні, $^{\circ}\text{C}$; t - тривалість, без урахування святкових днів, год.

Розрахунок для інших місяців зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7. Теплопередача вентиляцією для актовий зали

Місяць опалювального періоду	Температура в будівлі для опалення, $\theta_{int,set,H}$, $^{\circ}\text{C}$	Середньомісячна температура зовнішнього середовища, θ_e	Кількість робочих днів	Тривалість місяця t , год	Додаткова теплопередача вентиляцією, $\text{Вт} \cdot \text{год}$
Січень	18	-4,9	28	672	3370147,2
Лютий		-3,9	28	672	3222979,2
Березень		0,8	30	720	2712096,0
Квітень		9,1	15	360	701676,0
Жовтень		8,2	16	384	824140,8
Листопад		2,1	30	720	2507112,0
Грудень		-2,6	31	744	3356481,6
Разом	$\Sigma Q_{ve,d} =$				16694633

Для інших приміщень розрахунок аналогічно.

Річний ефект від впровадження заходу:

$$\begin{aligned} \Delta E_p &= \sum_{i=1}^n Q_{ve,d,i} \cdot \eta_{pek,i} = 9681362,4 \cdot 0,73 + 3049248 \cdot 0,6 + 18981568,8 \cdot 0,7 + \\ &+ 4268947,2 \cdot 0,6 + 6555883,2 \cdot 0,7 + 13111766,4 \cdot 0,73 + 20048805,6 \cdot 0,7 + \\ &+ 9376437,6 \cdot 0,73 + 1753317,6 \cdot 0,67 + 3181298,4 \cdot 0,6 + 16694633 \cdot 0,7 = \\ &= 74554826 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 74554,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Таблиця 4.8. Витрати на впровадженні децентралізованої вентиляції

№ з/п	Вид робіт(матеріалів)	Кіль- кість	Вартість одиниці	Орієнтовна вартість, грн
1	Cooper&Hunter FHBQ-D15-M*	2	39674	79348
2	Cooper&Hunter CH-HRV5K *	3	26080	78240
3	ПРАНА-250 *	3	13800	41400
4	Cooper&Hunter FHBQ-D8-K *	1	29064	29064
5	Cooper&Hunter CH-HRV15M *	1	41300	41300
6	Прана-200С*	1	11000	11000
7	Вартість монтажно-налагоджувальних робіт, грн/шт.		28035	28035
	Всього, К _Σ			308387

Річна економія у споживанні теплової енергії:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 74554,8 = 64 \text{ Гкал.}$$

При вартості 1 Гкал теплової енергії $C_{0т} = 2494$ грн, річні заощадження складуть:

$$C_{m.e} = \Delta E_p \cdot C_{0т} = 64 \cdot 2494,32 = 159928,6 \text{ грн.}$$

Вартість електричної енергії впродовж опалювального періоду:

$$C_{ee} = C_0 \cdot \sum_{i=1}^6 P_{пв.и} \cdot T_{роб.и} = 2,91 \cdot 4,986 \cdot 1424 = 20661 \text{ грн.}$$

Тривалість окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = (K_{\Sigma} + C_{e.e}) / C_{m.e} = (308387 + 20661) / 159928,6 = 2,1 \text{ роки.}$$

4.3. Заміна віконних склопакетів на 2-камерні газонаповнені з і-склом

Опис можливості енергозаощадження. В ОБ встановлені металопластикові склопакети та одне дерев'яне вікно. Приведений опір теплопередачі склопакети становить $0,32 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що значно менше нормативного значення $0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

1 – зовнішнє, 2 – внутрішнє, 3 – проміжне скління, 4 – зовнішній, 5 – внутрішній міжскляний простір, 6 – входні отвори, 7 – вентиляційні отвори, 8 – вихідні отвори, 9 – зворотний клапан, 10 – козирок, 12 – регулюючий пристрій входного повітря, 13, 14 – пристрої регулювання повітряного потоку, 15 – відлив, 16 – екран, що відбиває тепловий потік з приміщення (скло з низькоемісійним покриттям), «-» « та «+» - зовнішня та внутрішня сторони конструкції.

Інтенсивність теплообміну залежить від геометрії прошарку, температури внутрішнього і зовнішнього повітря, витрати фільтрованого повітря тощо. Спільна дія тепловідбиваючого екрану та вентилявання з рекуперацією вихідного теплового потоку в приміщення підвищує теплотехнічну ефективність на 10...12%.

Пропонуємо виконати заміну однокамерних металопластикових склопакетів з низьким термічним опором (рис. 4.3.1а) на склопакети, опір теплопередачі яких відповідає нормативному (рис. 4.3.1б).

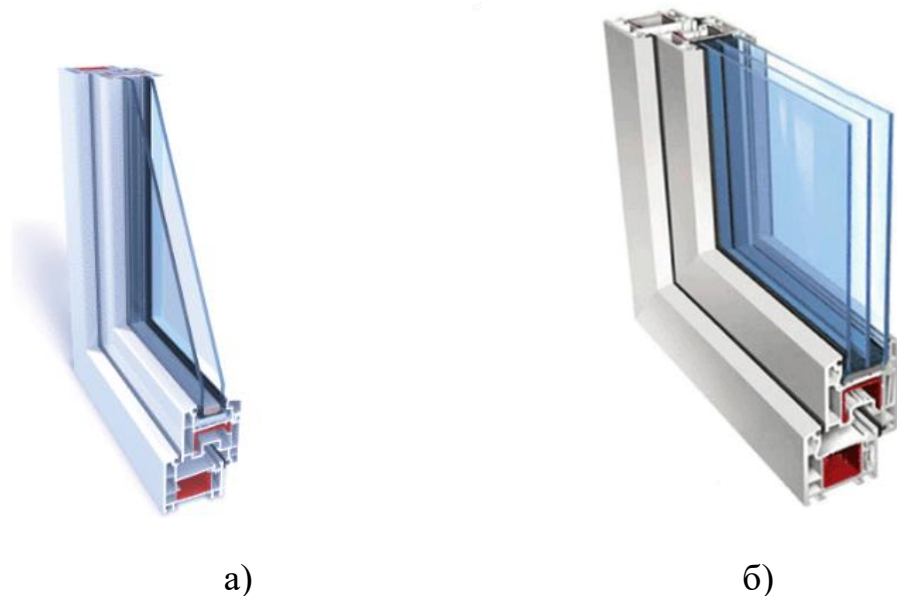


Рис. 4.3.1. Фрагмент металопластикових вікон у розрізі:

а – однокамерний склопакет; б – двокамерний склопакет

Визначимо економічну ефективність заміни однокамерних склопакетів

4М₁-16-4М₁ та дерев'яних рам на енергоефективні з варіантом скління 4і-10-4М₁-10-4і з профілем Rehau Ecosol 60.

Загальна площа 165 шт вікон, що потребують заміни – 891 м².

Таблиця 4.9. Конструктивні розміри віконних блоків

Тип вікна	Розмір вікна (висота×ширина), м×м			Кількість, шт.	Загальна площа вікон, м ²	Терм. опір R _в , м ² ·К/Вт
<i>ПВХ</i>	2,13	×	5,5	46	538,88	0,32
<i>ПВХ</i>	1,23	×	5,5	15	101,5	0,32
<i>ПВХ</i>	2,13	×	4,75	1	10,12	0,32
<i>ПВХ</i>	2,13	×	0,93	64	126,8	0,32
<i>ПВХ</i>	2	×	2,7	3	16,2	0,32
<i>ПВХ</i>	0,8	×	0,8	12	7,7	0,32
<i>ПВХ</i>	1,23	×	5,5	7	47,4	0,32
<i>ПВХ</i>	0,83	×	5,5	7	32,0	0,32
<i>ПВХ</i>	1,23	×	0,93	8	9,2	0,32
<i>ПВХ</i>	0,6	×	0,8	1	0,5	0,32
<i>ДЕР.</i>	0,8	×	0,87	1	0,7	0,42
<i>Всього</i>				165	891	

Опір теплопередачі склопакету 4і-10-4М₁-10-4і, R_{в2} = 0,93 м²·К/Вт.

Річний ефект від впровадження заходу.

Втрати тепла через вікна після модернізації:

$$\Delta E_p = \chi_1 \cdot (K_{в_пл} - K_{в_пл.м}) \cdot D_d \cdot F_{\Sigma} = 0,024 \cdot (3,125 - 1,08) \cdot 3552 \cdot 891 = 155330 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

де $K_{в_пл} = 1/0,32 = 3,125 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі до впровадження заходу; $K_{в_пл.м} = 1/0,93 = 1,08 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі після; $D_0 = 3501$ – кількість градусо-днів опалювального періоду.

Таблиця 4.10. Витрати при впровадженні заходу

Розміри склопакету	Кількість, шт(м)	Вартість одного, грн	Орієнтовна вартість, грн
2,13 × 5,5	46	14644	673624
1,23 × 5,5	22	14414	317108
2,13 × 4,75	1	14572	14572
2,13 × 0,93	64	3488	223232
2 × 2,7	3	4170	12510
0,8 × 0,8	13	1881	24453
0,83 × 5,5	7	8672	60704
1,23 × 0,93	8	2350	18800
0,6 × 0,8	1	1625	1625
Монтажні роботи	165	300	49500
Ремонт відкосів, грн/пог.м	1095	100	109500
Всього, K_{Σ}			1505628

Річна економія у споживанні теплової енергії:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 155330 = 133 \text{ Гкал.}$$

За умови, що вартість 1 Гкал = 2494 грн річні заощадження:

$$C_{m.e} = 2494,32 \cdot 133 = 333200 \text{ грн.}$$

Тривалість окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / C_{m.e} = 1505628 / 333200 = 4,6 \text{ року.}$$

4.4. Утеплення зовнішніх стін

Опис можливості енергозаощадження. Приведений опір теплопередачі стін ОБ менший за нормативний опір теплопередачі – 4,0 м²·К/Вт згідно ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. В таблиці 4.11. наведений термічний опір для стін ОБ.

Таблиця 4.11. Характеристика стін ОБ

Вид огорожувальної конструкції	Опір теплопередачі, м²·К/Вт	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К)	Умова до теплоізоляції
Стіна з блоків (цокольний поверх та підвал), що контактує з повітрям	0,544	1,84	не виконується
Товста стіна	0,892	1,12	не виконується
Тонка стіна	0,719	1,39	не виконується

Стіна надбудови	0,719	1,39	не виконується
-----------------	-------	------	----------------

Пропонуємо утеплити стіни теплоізоляцією з штукатуркою, що дозволить зменшити втрати тепла та поліпшити зовнішній вигляд будівлі. В якості утеплювача пропонуємо негорючі теплоізоляційних плит на базальто-волокнистій основі *FRONTROCK MAX*. Площа стін, що потребує утеплення показана в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. Площі зовнішніх огорожень будинку

Вид огорожувальної конструкції	Площа, м ²
Стіна з блоків (цокольний поверх та підвал), що контактує з повітрям	92,2
Товста стіна	996,6
Тонка стіна	687,0
Стіна надбудови	85,4

Для отримання нормативного показника термічного опору стіни $R_{пр_нп} = 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, визначимо товщину утеплюючого шару.

Додатковий термічний опір утеплюючого шару стіни з блоків:

$$R_{із. шар} = R_{пр_нп} - R_{нп_1} = 4,0 - 0,544 = 3,46 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Розрахунок товщини теплової ізоляції, для теплоізоляційних плит *FRONTROCK MAX E 120/01000/0600 12РАС/PAL MAL* на базальто-волокнистій основі:

$$\delta_{із} = R_{із. шар} \lambda_{із} = 3,46 \times 0,0377 = 0,13 \text{ м},$$

пропонуємо встановити теплоізоляційні плити *FRONTROCK MAX E* товщиною 0,15 м густиною 150/80.

Тоді опір стіни з бетонних блоків:

$$R_{с_б/блоки} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{із}}{\lambda_{із}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1р}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2р}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3р}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{4р}} + \frac{1}{\alpha_з} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{0,037} + \frac{0,04}{1,05} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,6}{2,04} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{23} = 4,08 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де $\delta_{із}$ – товщина теплоізоляційних плит, $\delta_{із} = 0,15 \text{ м}$; $\lambda_{із}$ – теплопровідність

теплоізоляційних плит FRONTROCK MAX E 150 на базальто-волокнистій основі, $\lambda_{1p} = 0,0377$ Вт/(м·К); δ_1 – товщина облицювальної плитки (вапняк), $\delta_1 = 0,04$ м; λ_{1p} – теплопровідність облицювальної плитки (вапняк), $\lambda_{1p} = 1,05$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина цементної клейової суміші, $\delta_2 = 0,03$ м; λ_{2p} – теплопровідність цементної клейової суміші, $\lambda_{2p} = 0,93$ Вт/(м·К); δ_3 – товщина залізобетонних блоків, $\delta_3 = 0,60$ м; λ_{3p} – теплопровідність залізобетонних блоків, $\lambda_{3p} = 2,04$ Вт/(м·К); δ_4 – товщина цементно-піщаної штукатурки, $\delta_4 = 0,02$ м; λ_{4p} – теплопровідність цементно-піщаної штукатурки, $\lambda_{4p} = 0,93$ Вт/(м·К); $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_z = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої та зовнішньої сторони стіни.

Для інших видів стіни теплоізоляційного матеріалу зведено до таблиці 4.13.

Таблиця 4.13. Вибір параметрів теплової ізоляції стіни

Вид огорожувальної конструкції	Параметри теплоізоляційного матеріалу		Опір теплопередачі з утеплювачем, м ² ·К/Вт	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² ·К)	Вартість теплоізоляційного матеріалу, грн/м ²
	Товщин а, м	Теплопро-відність			
Стіна з блоків (цокольний поверх та підвал), що контактує з повітрям	0,12	0,377	3,78	0,26	432*
Товста стіна	0,1	0,377	3,54	0,28	370*
Тонка стіна	0,1	0,377	3,37	0,297	370*
Стіна надбудови	0,1	0,377	3,37	0,297	370*

Ефект від впровадження заходу.

Втрати тепла через стіну після модернізації, кВт·год:

$$\Delta E_p = \chi_1 \cdot D_d \cdot \sum_{i=1}^4 (K_{c1_i} - K_{c2_i}) \cdot F_{\Sigma i} = 0,024 \cdot 3552 \cdot [(1,84 - 0,26) \cdot 92,16 + (1,39 - 0,297) \cdot 687 + (1,12 - 0,28) \cdot 996,59 + (1,39 - 0,297) \cdot 85,35] = 155741,9$$

де K_{c1} – коефіцієнт теплопередачі через стіни до модернізації; K_{c2} – коефіцієнт

теплопередачі через стіни після модернізації.

Кількість градусо-днів:

$$D_0 = (t_{\text{вн}} - t_{\text{о.п}}) \cdot D = (20 - (-0,3)) \cdot 175 = 3552.$$

де $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$ – нор. температура всередині приміщення; $t_{\text{о.п}} = -0,3^\circ\text{C}$ середня температура опалювального періоду; $D = 175$ – тривалість в періоді з середньодобовою температурою менше 8°C .

Таблиця 4.14. Витрати на впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Орієнтовна вартість, грн
1	Вартість 1 м ² теплоізоляційних базальто-волокнистих плит FRONTROCK MAX E.	432
2	Дюбелі монтажні 5 шт на 1 м ²	18,5
3	Вартість суміші для приклеювання плит Ceresit™ СТ-83, грн/м ² ;	26,5
4	Вартість суміші для штукатурки Ceresit™ СТ-85, грн/м ² ;	31,6
5	Вартість скловолокна, грн/м ² ;	6,6
6	Вартість монтажних робіт з теплоізоляції, грн/м ² .	190
7	Вартість декоративних робіт, грн/м ²	100
	Всього, К _Σ	805

Капіталовкладення при впровадженні ЕЕЗ:

$$K = \sum_{i=1}^4 F_{\text{см}_i} \cdot K_{\Sigma_i} = 92,16 \cdot 805,2 + 687 \cdot 743 + 996,59 \cdot 743 + 85,35 \cdot 743 =$$

$$= 1388567 \text{ грн.}$$

Річна економія у споживанні теплової енергії становить:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 155741,9 = 133,94 \text{ Гкал}$$

Річні заощадження становлять:

$$C_{\text{m.e}} = 2494,32 \cdot 133,94 = 334084,32 \text{ грн.}$$

Тривалість окупності ЕЕЗ:

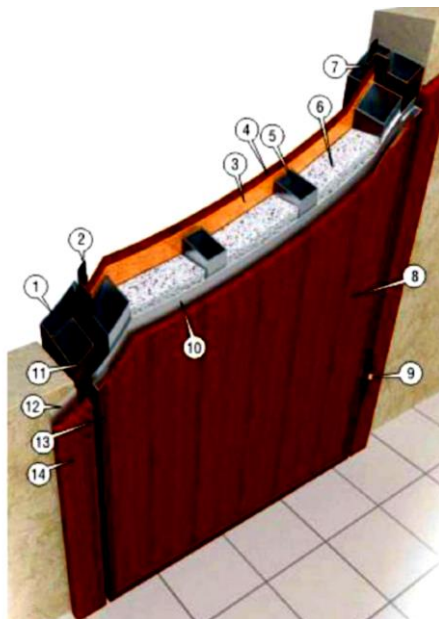
$$C_{\text{ок}} = K / C_{\text{т.е}} = 1388566,5 / 334084,32 = 4,2 \text{ року.}$$

4.5. Утеплення входних дверей

Опис можливості енергозаощадження. Кількість зовнішніх дверей – 14 шт. Загальна площа входних дверей $S = 42,7 \text{ м}^2$. Стан дерев'яних дверей задовільний, утім дерев'яні двері мають нещільності між рамою та дверима, що призводить до інфільтрації..

Дерев'яні та металопластикові двері не відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель, оскільки їх приведений опір теплопередачі становить $R_{\text{ПВХ.д.}} = 0,46 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ і $R_{\text{вх.дверей}} = 0,584 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що є меншим за мінімально допустиме $R_{\text{вх.дверей min}} = 0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Утім термічний опір металевих дверей $R_{\text{м.д.}} = 0,78 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ перевищує нормативне значення.

На рис. 4.5.1 наведено розріз входних енергозберігаючих дверей



1. Посилена рама.
2. Гумового ущільнювач.
3. Проміжний теплоізоляційний шар.
4. Внутрішня панель.
4. Ребра жорсткості.
6. Утеплювач.
7. Кріпильний елемент.
8. Зовнішня оздоблювальна панель.
9. Петля на підшипнику.
10. Сталевий лист (2-5 мм).
11. Контур гумового ущільнювача.
12. Сталевий наличник.
13. Кріпильний елемент.

14. Декоративна лиштва.

Рис. 4.5.1. Розріз входних енергозберігаючих дверей

Опір теплопередачі утеплених дверей, $R_{\text{м.е}} = 0,78 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Таблиця 4.15. Характеристики входних дверей (за даними замовника)

Тип дверей	Кіл., шт	Загальна площа дверей (кіль.), м ²	Загальна площа скла дверей, м ²	Термічний опір непрозорої частини, м ² ·К/Вт	Термічний опір світлопрозорої частини, м ² ·К/Вт
Суцільні металеві	4	7,93	-	0,783	-
Металопластикові з світлопрозорим отвором	6	17,9	8,44	0,758	0,32
Суцільні дерев'яні	3	4,42	-	0,584	-
Металопластикові з світлопрозорим тамбуром	1	12,5	6,3	0,758	0,32

Приведений опір теплопередачі входних металопластикових дверей з світлопрозорим отвором:

$$R_{\Sigma \text{пр.мп.д}} = \frac{F_{\Sigma \text{д.мп}}}{\frac{F_{\Sigma \text{д.мп.нп}}}{R_{\text{д.мп.нп}}} + \frac{F_{\Sigma \text{д.мп.сп}}}{R_{\text{д.мп.сп}}}} = \frac{30,40}{\frac{15,67}{0,758} + \frac{14,73}{0,32}} = 0,46 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Виконаємо перевірку опору теплопередачі металопластикових дверей головного входу, які мають тамбур, для місяця з найменшою температурою повітря.

Вихідні дані:

Розрахункова температура у вестибюлі – 18 °С.

Середня температура місяця – (-5,8) °С.

Температуру повітря всередині тамбуру:

$$t_m = \frac{\left[18 \cdot \left(\frac{6,2}{0,758} + \frac{6,3}{0,32} \right) + (-5,8) \cdot \left(\frac{6,2}{0,758} + \frac{6,3}{0,32} \right) \right]}{\frac{6,2}{0,758} + \frac{6,3}{0,32} + \frac{6,2}{0,758} + \frac{6,3}{0,32}} = 14,6 \text{ °С}.$$

Уточнений приведенний опір теплопередачі входного тамбуру з

металопластиковими дверима:

$$R_{\text{мп.д}} = \frac{R_{\text{дв.-м}}}{n} = \frac{0,46}{0,14} = 3,25 > 0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} = R_{\text{вх. дверей min}},$$

де n – уточнюючий коефіцієнт;

$$n = \frac{(18 - 14,6)}{(18 + 5,8)} = 0,14.$$

Річний ефект від заміни вхідних дерев'яних дверей на енергозберігаючі:

$$\Delta E_{p.d} = \chi_1 \cdot (K_d - K_{m.ee}) \cdot D_d \cdot F_{\Sigma} = 0,024 \cdot (2,92 - 1,71) \cdot 3552 \cdot 4,42 = 455,9 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $K_d = 1/0,584 = 1,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі через двері до модернізації; $K_{m.ee} = 1/0,78 = 1,28 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі через двері після модернізації.

Річний ефект від заміни вхідних металопластикових дверей:

$$\Delta E_{p.mp} = \chi_1 \cdot (K_{mp} - K_{mp.ee}) \cdot D_d \cdot F_{\Sigma} = 0,024 \cdot (2,17 - 1,1) \cdot 3552 \cdot 17,9 = 1632,7 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Загальний річний ефект за рахунок модернізації:

$$\Delta E_p = \Delta E_{p.d} + \Delta E_{p.mp} = 455,9 + 1632,7 = 2088,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таблиця 4.16. Орієнтовні витрати при модернізації

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Кіл.	Вартість 1 дверей	Орієнтовна вартість, грн
1	Металопластикові двері з профілю OpenTeck De Lux 60			
	2,2 × 0,9	4	5971	23884
	2,58 × 1,25	1	8947	8947
	2,25 × 2,27	1	10171	10171
2	Вартість монтажних робіт, грн/шт.	6	300	1800
3	Металеві двері товщиною 60 мм			1
	1,76 × 0,8	2	4080	8160
	2,0 × 0,8	2	4200	4200

4	Вартість монтажних робіт, грн/шт.	4	500	200
	Всього, K_{Σ}			57362

Річна економія у споживанні теплової енергії становить:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 2088,6 = 1,8 \text{ Гкал}$$

При вартості 1 Гкал = 2494,3 грн річні заощадження складуть:

$$C_{m,e} = 2494,32 \cdot 1,8 = 4480 \text{ грн.}$$

Тривалість окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / C_{m,e} = 57362 / 4480 = 12,8 \text{ року.}$$

4.6. Встановлення тепловідбивної ізоляції між приладами опалення та стіною

Тепло конвекційними потоками поширюється рівномірно в усіх напрямках, що призводить до нагріву стіни – До 10 % тепла витрачається на нагрів стіни. Тому необхідно перенаправити потік теплого повітря радіаторів на нагрів приміщення.

Опис можливості енергозаощадження. Необхідно встановити шар тепловідбивної теплоізоляції між приладами опалення та стіною. Такий захисний екран здатен підвищити тепловіддачу радіатора до 20 %, при цьому витрати на опалення зменшуються на 5-10 %.

Приклад встановлення тепловідбивної теплоізоляції наведено на рис. 4.6.1.

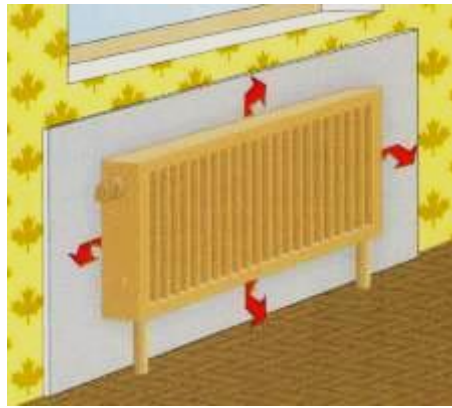


Рисунок 4.6.1. Принцип дії тепловідбивної теплоізоляції за радіатором

Пропонуємо, за опалювальними радіаторами встановити тепловідбивну теплоізоляцію з матеріалу «Ізоспан FX» завтовшки 5 мм.

Теплопровідність матеріалу, що складається з спіненого поліетилену та фольги, становить $\lambda_{4p} = 0,04 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, кількість вікон з радіаторами – 165 шт., ширина вікон – 503 м, висота встановлення вікон над підлогою – 0,8 м, звідки площа стін за радіаторами, що потребує теплоізоляції становить:

$$F_c = 1,1 \times 0,8 \times 503 \approx 443 \text{ м}^2.$$

Приведений термічний опір стін без тепловідбивної теплоізоляції $R_{\Sigma \text{пр.нп}} = 0,788 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$:

Термічний опір стін з тепловідбивної теплоізоляції, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$:

$$R_{cm_ym} = R_{\Sigma \text{пр.нп}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} = 0,788 + \frac{0,005}{0,04} = 0,913 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

λ_{1p} – теплопровідність відбивної ізоляції, $\lambda_{1p} = 0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, δ_3 – товщина ізоляції, $\delta_3 = 0,005 \text{ м}$;

Коефіцієнт теплопередачі стіни з шаром тепловідбивної теплоізоляції:

$$K_{c2} = \frac{1}{R_{cm_ym}} = \frac{1}{0,913} = 1,09 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Економія теплової енергії за рахунок теплопередачі за рік складе:

$$\Delta E_{p1} = \chi_1 \cdot (K_{c1} - K_{c2}) \cdot D_d \cdot F_{\Sigma} = 0,024 \cdot (1,27 - 1,09) \cdot 3552 \cdot 443 = 6797 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

де $K_{c1} = 1/0,788 = 1,27 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі через стіну без рефлекторів.

Тепловий потік, що передається поверхні стін через випромінювання:

$$Q_{\text{випр}} = C_s \cdot \varepsilon_{\text{пр}} \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right) \cdot F_c;$$

де $C_s = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коефіцієнт випромінювання абс. чорного тіла;

$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\varepsilon_1^{-1} + \varepsilon_2^{-1} - 1}$ – приведений ступінь чорноти. Ступінь чорноти радіатора (світлий колір) 0,1; ступінь чорноти стіни – 0,2; ступінь чорноти рефлектора 0,05.

Тоді, до модернізації:

$$\varepsilon_{\text{пр1}} = 1/(0,1^{-1} + 0,2^{-1} - 1) = 0,0714;$$

після модернізації:

$$\varepsilon_{\text{пр2}} = 1/(0,1^{-1} + 0,05^{-1} - 1) = 0,0344.$$

Загальний рівень ефективності для тепловіддавальної складової:

$$\eta_{\text{ем}} = \frac{1}{[4 - (\eta_{\text{str}} + \eta_{\text{ctr}} + \eta_{\text{emb}})]} = \frac{1}{[4 - (0,88 + 0,86 + 1)]} = 0,794$$

де $\eta_{\text{str}} = (\eta_{\text{str1}} + \eta_{\text{str2}})/2 = (0,93 + 0,83)/2 = 0,88$ (температурний напір 42,5 К, опалювальний прилад без радіаційного захисту); $\eta_{\text{ctr}} = 0,86$ (регулювання температури відсутнє); $\eta_{\text{emb}} = 1,0$.

За серед. температури повітря за опалювальний період – 0,3°C температура радіатора становить $T_1 = t_{\text{мн}} \cdot \eta_{\text{ем}} = 62,5 \cdot 0,794 = 49,6^\circ \text{C} = 322 \text{ К}$, а стіни $T_2 = 20^\circ \text{C} = 293 \text{ К}$.

Теплові втрати на випромінювання до модернізації:

$$Q_{\text{випр2}} = 5,7 \cdot 0,0714 \cdot \left(\left(\frac{322}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right) \cdot 443 = 6094 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{випр2}} = 5,7 \cdot 0,0344 \cdot \left(\left(\frac{322}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right) \cdot 443 = 2936 \text{ Вт}.$$

Економія теплового потоку:

$$\Delta Q = Q_{\text{випр1}} - Q_{\text{випр2}} = 6094 - 2936 = 3158 \text{ Вт} = 3,16 \text{ кВт}.$$

Економія теплової енергії за рахунок зменшення випромінювання за рік:

$$\Delta E_2 = (Q_{\text{випр1}} - Q_{\text{випр2}}) \cdot 24 \cdot 184 = 3,16 \cdot 24 \cdot 184 = 13954 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

Тоді економія теплової енергії за рік:

$$\Delta E_p = \Delta E_1 + \Delta E_2 = 6797 + 13954 = 20751 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

Таблиця 4.17. Орієнтовні витрати при модернізації:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Орієнтовна вартість, грн
1	Вартість 1 погонного м тепловідбивної плівки	75
2	Вартість клеючої суміш «Рідке скло», грн/м ² ;	31
3	Вартість монтажних робіт, грн/м ² .	50
	Всього, К _Σ	156

Вартість плівки:

$$K_1 = L_{\text{пл}} \cdot K_{\Sigma} = 503 \cdot 75 = 30576 \text{ грн}.$$

Капітальні витрати модернізації:

$$K = K_1 + K_2 + K_3 = 30576 + 31 \cdot 443 + 50 \cdot 443 = 66459 \text{ грн}.$$

Річна економія у споживанні теплової енергії:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 20751 = 17,8 \text{ Гкал}$$

При вартісті 1 Гкал = 2494,3 грн річні заощадження:

$$C_{\text{м.е}} = 2494,32 \cdot 17,8 = 44398 \text{ грн}.$$

Термін окупності ЕЕЗ:

$$C_{\text{ок}} = K / C_{\text{м.е}} = 66459 / 44398 = 1,5 \text{ року}.$$

4.7. Модернізація системи освітлення

Опис можливості енергозбереження. У громадських будинках необхідно бути забезпечено освітлення згідно з нормативами ДБН В.2.5–28 «Природне і штучне освітлення». Запропоновано замінити люмінесцентні лампи на світлодіодні трубки з $T \approx 4000 \text{ К}$ (рис. 4.7.1), які є більш енергоефективними джерелами світла.



Рисунок 4.7.1. Світлодіодна лампа LED T8 1200 mm

Заміна ламп на світлодіодні дозволить знизити споживання електричної енергії при збереженні ступеня освітлюваності та покращити рівень комфортності (індекс кольоропередачі $CRI \geq 80$ Ra). Загальна кількість люмінесцентних ламп для заміни становить 2807 шт., з них потужністю 36 Вт (1200 мм) – 1829 шт., потужністю 18 Вт (600 мм) – 978 шт. Оскільки графік роботи ОБ – сім днів на тиждень у 2 зміни, то $K_B \approx 0,19$, тобто освітлення в середньому працює близько 4,5 годин на добу.

Річна економія електричної енергії при модернізації:

$$\Delta C = C_0 \cdot \Delta E_{\text{л}} = 2,91 \cdot 85\,359 = 248\,816 \text{ грн.}$$

де C_0 – тариф на електричну енергію .

Таблиця 4.18. Технологічні параметри ламп

Тип приладів освітлення	К-ть ламп	Характеристики лампи			Загальна потужність ламп, кВт	Тривалість роботи на добу, год.	К-ть діб використання в рік	Річне споживання $\Delta E_{\text{л}}$, кВт·год
		Потужність, Вт	Світловий потік, Лм	Тривалість служби, год				
Люмінесцентні лампи	1829	36	2500 (360°)	10000	65,844	4,5	353	104 593
	978	18	1025 (360°)	10000	35,208	4,5	353	55 928
Світлодіодні	1829	20	2200	25000	36,580	4,5	353	56 519

лампи			(210°)					
	978	12	1000 (210°)	25000	11,736	4,5	353	18 643
Економія					52,736			85 359

Таблиця 4.19.Орієнтовні витрати при модернізації:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Орієнтовна вартість, грн
1	1829 світлодіодних трубки типу LED tube T8 1200 mm 20 Вт	190 216
2	978 світлодіодних трубки типу LED tube T8 600 mm 12 Вт	93 888
3	Транспортні витрати	1 500
Всього, K_{Σ}		285 604

Тривалість окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / \Delta C = 285\,604 / 248\,816 = 1,15 \text{ роки.}$$

4.8. Встановлення теплової завіси на головному вході

Щоденно в середньому ОБ відвідує 500 осіб, що протегує втратам тепла через зовнішні металопластикові двері з тамбуром.

У будівлях з кількістю робочих місць 50, у входах для відвідувачів потрібно призначати повітряно-теплові завіси.

Практичний досвід показав, що при зниженні температури зовнішнього повітря нижче -5°C температурний режим в приміщенні вестибюлю не витримується.

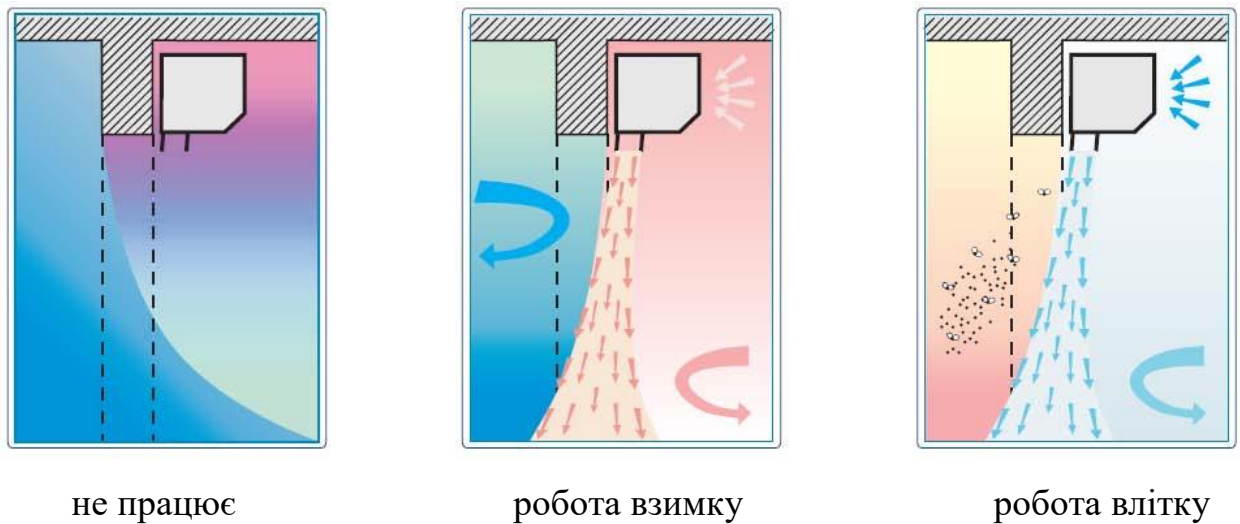


Рис. 4.8.1. Схема дії теплової завіси

Опис можливості енергозаощадження. Пропонуємо встановити на вхідних дверях теплову завісу з електричним підгрівачем. Теплова завіса створює бар'єр між повітрям приміщення і зовні. Крім захисту від тепловтрат через відчинені вхідні теплозавіса виконує наступні функції:

- відсікання зон з різною мірою мікроклімату;
- осушення;
- обігрів;
- циркуляція повітря.

Вихідні дані. Нормативна температура в приміщенні $t_{\text{вн}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Для Кропивницького $t_3 = -22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, середня швидкість вітру $v_{\text{в}} = 4.3 \text{ м/сек}$. Щільність повітря $\rho_3 = 1,406 \text{ кг/м}^3$, щільність повітря в приміщенні вестибюля $\rho_{\text{вн}} = 1,213 \text{ кг/м}^3$. Число людей, які проходять через двері за 1 год: $500/8 = 63$ особи, висота сходової клітки $h_{\text{сх_кл}} = 12,4 \text{ м}$, висота вхідних дверей $h_{\text{дв}} = 2,1 \text{ м}$, площа стулки вхідних дверей: $1,89 \text{ м}^2$, висота поверху: $3,3 \text{ м}$. Кількість поверхів у будинку: чотири.

Розрахунок завіси змішувального типу.

Витрата повітря для повітряно-теплової завіси змішувального типу, кг/год:

$$G_{\text{дв}} = \frac{5100 \cdot k_1 \cdot \mu_{\text{вх}} \cdot F_{\text{вх.дв}} (t_{\text{см}} - t_3) \sqrt{\Delta P \cdot \rho_{\text{пов.м.з}}}}{(t_{\text{м.з}} - t_{\text{см}})}$$

$$= \frac{5100 \cdot 0,037 \cdot 0,4 \cdot 1,89 \cdot (12 - (-22)) \sqrt{21,18 \cdot 1,24}}{50 - 12} = 654,2$$

де $k_1 = 0,037$ - поправочний коефіцієнт; $\mu_{\text{вх}}$ - коефіцієнт витрати (для обертових дверей $\mu_{\text{вх}} = 0,4$); $F_{\text{вх.дв}}$ - площа однієї стулки входних дверей, м²; $t_{\text{сум}} = 12^\circ\text{C}$ - температура суміші повітря завіси.

Розрахункова висота $h_{\text{розр}}$ (при закритих аераційних каналах)

$$h_{\text{розр}} = h_{\text{сх.кл}} + 0,5h_{\text{дв}} = 12,4 - 0,5 \cdot 2,1 = 11,35 \text{ м.}$$

Визначимо різницю тиску повітря з двох боків зовнішнього огороження на рівні дверей, Па:

$$\Delta P = \Delta P_m + k_2 \Delta P_n = 21,4 + 0,2 \cdot (-1,06) = 12,18$$

$$\Delta P_m = 9,8 \cdot h_{\text{розр}} (\rho_3 - \rho_{\text{вн}}) = 9,8 \cdot 11,35 (1,406 - 1,213) = 21,4 ;$$

$$\Delta P_n = \frac{c_e \cdot v_{\text{в}}^2 \cdot \rho_3}{2} = \frac{-0,4 \cdot 4,3 \cdot 1,406}{2} = -1,06$$

де $k_2 = 0,2$ - поправочний коефіцієнт; $C_{\text{е3}}$ - розрахунковий аеродинамічний коефіцієнт; $v_{\text{в}}$ - розрахункова швидкість вітру.

Знаходимо теплову потужність калориферів теплової завіси:

$$Q_3 = 0,28 \cdot G_3 \cdot (t_3 - t_{\text{см}}) = 0,28 \cdot 654,2 \cdot (50 - 12) = 6961 \text{ Вт} = 7 \text{ кВт.}$$

За даним значенням обираємо тип повітряно-теплової завіси змішуючого типу – пропонуємо встановити теплову завісу типу АО ЭВР 9,0/1,5 TR (3*400В) ТЗ потужністю 9 кВт з робочою довжиною 1 м.

Необхідно знайти температуру змішаного повітря при середній температурі за січень $t_{3_{\text{ср}}} = -4,9^\circ\text{C}$.

Надходження холодного повітря через двері тамбуру:

$$G_{3\text{д}} = L_{\text{д}} n \gamma_{3,\text{п}} = 2,5 \cdot 63 \cdot 1,294 = 203,8 \text{ кг/год,}$$

де $L_{\text{д}} = 2,5$ – надходження повітря через двері при проходженні 1 людини, м³/год·люд; n – число людей, що проходять за 1 годину – 63 осіб; $\gamma_{3,\text{п.}} = 1,294$ кг/м³ – об'ємна маса повітря.

Втрати теплого повітря через двері тамбуру:

$$G_{\text{вд}} = L_{\text{д}} n \gamma_{\text{в.п}} = 2,5 \cdot 63 \cdot 1,213 = 191 \text{ кг/год.}$$

Середня температура змішаного повітря в тамбурі:

$$t_{\text{см}} = (203,8 \cdot -4,9 + 191 \cdot 18) / (203,8 + 191) = 6,1 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Додаткова кількість теплової енергії, необхідна для компенсації втрат, Вт:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{тамбур}} &= 0,28 \cdot (G_{\text{вд}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{см}}) + G_{\text{зд}} \cdot (t_{\text{см}} - t_{\text{з}})) = \\ &= 0,28 \cdot [191 \cdot (18 - 6,1) + 203,8 \cdot (6,1 - (-4,9))] = 1264 \end{aligned}$$

Для інших місяців розрахунок зводимо до таблиці 4.20.

Таблиця 4.20. Додаткова кількість теплової енергії для компенсації втрат

Місяць опалюваль- ного періоду	$t_{\text{з}}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{в}}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{см}}, ^{\circ}\text{C}$	$\Delta Q_{\text{тамбур}}, \text{Вт}$	Трива- лість місяця $t, \text{год}$	Теплова енергія на компенсацію втрат, $Q_{\text{міс}}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
Січень	-4,9	18	6,1	1264,1	248	313,50
Лютий	-3,9			1207,1	224	270,38
Березень	0,8			938,85	248	232,84
Квітень	9,1			465,22	120	55,83
Жовтень	8,2			516,58	124	64,06
Листопад	2,1			864,67	240	207,52
Грудень	-2,6			1132,9	248	280,95
Разом						1425,07

Річна потреба в тепловій енергії до модернізації становить 1425,07 кВт год ($t_{\text{роб}} = 8$ годин)

Таблиця 4.21. Орієнтовні витрати при модернізації:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Вартість одиниці, грн	Кіл.	Орієнтовна вартість, грн
1	Теплова завіса АО ЭВР 9,0/1,5 TR (3*400B) ТЗ, ПрАТ "Винницький завод "Маяк", шт	7888	1	7888
2	Система кріплення	500	1	500
	Всього, K_{Σ}			8388

Капіталовкладення при модернізації:

$$K_{\Sigma} = 7888,14 \text{ грн.}$$

Річна економія теплової енергії становить:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 1425 = 1,22 \text{ Гкал}$$

При вартості 1 Гкал з ПДВ = 2494,3 грн річні заощадження:

$$C_{m.e} = 2494,32 \cdot 1,22 = 3043 \text{ грн.}$$

Тривалість окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / C_{m.e} = 8388,14 / 3043 = 2,8 \text{ року.}$$

4.9. Встановлення сонячних колекторів для підігріву води для ГВП

Відповідно до ДБН В.2.5-64 «Внутрішній водопровід та каналізація» добові витрати води у бібліотеках складають 15 л на працівника, з них 6 л – гарячої води. Температура гарячої води не повинна перевищувати 55 °С.

Середня кількість осіб становить 126 осіб, тоді обсяг води на ГВП мусить становити 756 л/добу.

Опис можливості енергозаощадження. Для покриття потреби в ГВП пропонуємо встановити 4 сонячних колектори потужністю 240 л/добу.

Для цього на крівлі в ряд встановимо 4 сонячні вакуумні панелі (240 л x 4 = 960 л), зорієнтованих на південь.

Для ГВП та частково опалення (до 50% – у зимовий період, у міжсезоння – 70...80%) раціонально встановити вакуумні колектори *Axioma energy AX-30HP24* для нагрівання води до температури 60-80°C об'ємом 240 л на добу.

Робота колектора базується на поглинанні сонячного випромінювання та передаванні тепла через радіатор мідної трубки. Складається колектор із 30 вакуумних трубок, маніфолду та опірної рами (рис. 4.9.1). Маніфолд утеплений мінеральною ватою. Завдяки вакуумним трубкам та утепленню, колектор може працювати за від'ємних температур (до -40 °С) та зберігає тепло впродовж 2 діб.

Технічні характеристики AX-30HP24:

- кількість вакуумних трубок - 30 шт;

- площа колектору - 4,09 м.кв;
- площа апертури - 2,79 м.кв;
- ККД колектору - 73,4 %;
- діапазон температур середовища від - 40°C до + 60 °C;
- габарити вакуумної трубки - довжина 1800 мм, діаметр - 58

мм.

Трубка здатна поглинати розсіяне та відбите сонячне випромінювання, завдяки вакууму втрати тепла є низькими (термос).

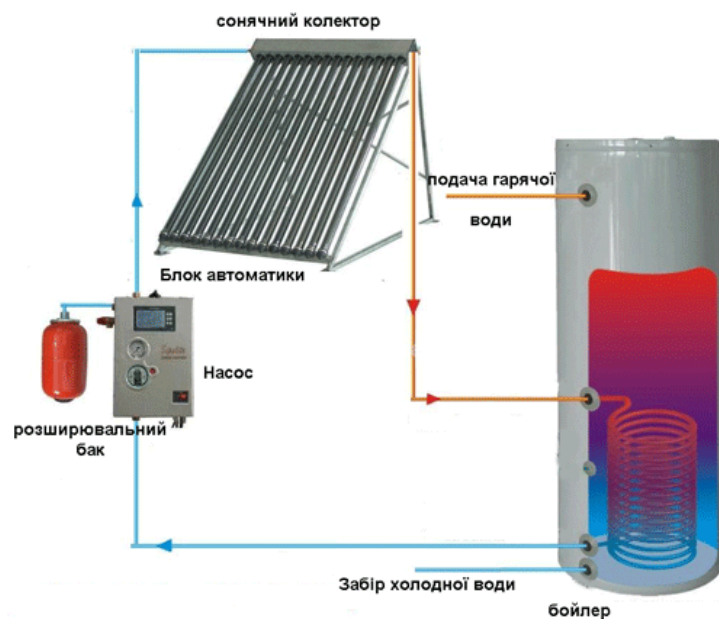


Рисунок 4.9.1. Схема діючої геліосистеми

Для всесезонної роботи геліосистеми необхідне додаткове устаткування: акумуляційний бак для зберігання гарячої води (теплоаккумулятор); насосна група для перекачування нагрітого теплоносія до акумуляційного баку; контролер для управління геліосистемою; розширювальний бак для регулювання тиску в системі.

Вакуумний колектор містить 30 шт вакуумних трубок, теплоаккумулятор ємністю - 300 л, теплообмінники - 2 шт та ін. додаткове устаткування вартістю 18000 грн.

Таблиця 4.21. Теплова потужність системи

Середньостатистичний підігрів води на день	Пора року			
	Весна	Літо	Осінь	Зима
від 5 °С	до 43-47 °С	до 52-59 °С	до 41-47 °С	до 29-37 °С
від 10 °С	до 46-49 °С	до 55-63 °С	до 43-49 °С	до 31-39 °С
від 15 °С	до 48-55 °С	до 58-68 °С	до 46-51 °С	до 33-42 °С

Кількість електроенергії для нагрівання 1 м³ води:

$$W_{num} = c \cdot V \cdot (t_1 - t_2) = 4,19 \cdot 960 \cdot (55 - 5) = 201 \text{ МДж/м}^3;$$

Витрата електричної енергії на добу:

$$W_{доб} = 1,2 \text{ м}^3 \cdot 201 \text{ МДж/м}^3 = 241 \text{ МДж} = 66,9 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річна економія електроенергії при модернізації:

$$\Delta C = C_0 \cdot \Delta E_p \cdot D_p = 2,91 \cdot 66,9 \cdot 345 = 67164 \text{ грн.}$$

де C_0 – тариф на електричну енергію, $D_p = 345$ – кількість робочих днів.

Таблиця 4.22. Орієнтовні витрати при впровадженні заходу

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Кількість	Вартість одиниці	Орієнтовна вартість, грн
1	Вакуумний колектор Ахіома Energy AX 30HP24	4	18 000	72000
	Всього, K_{Σ}			72000

Термін окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K / \Delta C = 72000 / 67164 = 1,1 \text{ року.}$$

4.10. Утеплення суміщеного покриття даху

Опис можливості енергозбереження. Опір теплопередачі суміщеного покриття 1,23 м²·К/Вт менший за нормативний опір теплопередачі – 7 м²·К/Вт відповідно ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.

Теплова ізоляція дозволить зменшити втрати тепла через суміщене покриття. Пропонується використання плит з базальтової мінеральної вати MONROCK MAX E, 200 кг/м³.

Для отримання нормативного показника термічного опору $R_{\text{пр.пк}} = 7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ визначимо товщину утеплюючого шару.

Додатковий термічний опір утеплюючого шару:

$$R_{\text{із. шар}} = R_{\text{пр.пк}} - R_{\Sigma \text{пр.пк}} = 7 - 1,23 = 5,77 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Розрахунок товщини теплової ізоляції, з теплоізоляційних плит на базальто-волокнистій основі:

$$\delta_{\text{із.шар}} = R_{\text{із. шар}} \lambda_{\text{із}} = 5,77 \times 0,0377 = 0,22 \text{ м},$$

Пропонуємо поставити теплоізоляційні плити MONROCK MAX E товщиною 0,25 м. Площа, що потребує утеплення – 1702 м².

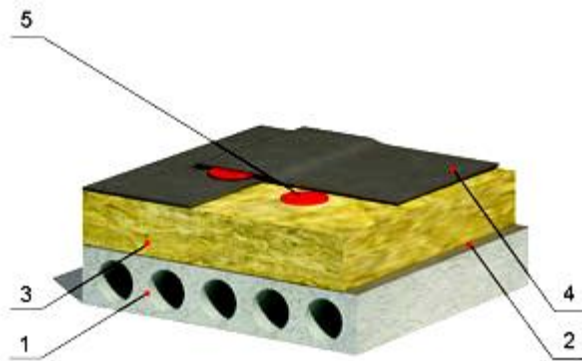


Рис. 4.6.1. Структура утеплення суміщеного покриття

1. Плита перекриття даху; 2. Пароізоляція; 3. Утеплювач перекриття; 4. Гідроізоляція; 5. Телескопічне покрівельне кріплення.

Термічний опір покриття:

$$R_{\text{пк.см1}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1\text{р}}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2\text{р}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3\text{р}}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{4\text{р}}} + \frac{\delta_5}{\lambda_{5\text{р}}} + \frac{1}{\alpha_3} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,17} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,1}{0,13} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,22}{1,236} + \frac{1}{23} = 1,229 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де δ_1 – товщина водоізоляційного килима (руберойд), $\delta_1 = 0,01 \text{ м}$;

$\lambda_{1\text{р}}$ – теплопровідність водоізоляційного килима, $\lambda_{1\text{р}} = 0,17 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;

δ_2 – товщина цементно-піщаної стяжки, $\delta_2 = 0,03 \text{ м}$;

$\lambda_{2\text{р}}$ – теплопровідність цементно-піщаної стяжки, $\lambda_{2\text{р}} = 0,93 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;

δ_3 – товщина плита з ніздрюватого бетону, $\delta_3 = 0,10$ м;

λ_{3p} – теплопровідність плита з ніздрюватого бетону, $\lambda_{3p} = 0,13$ Вт/(м·К);

δ_5 – товщина пустотілої залізобетонної плити, $\delta_5 = 0,22$ м;

λ_{5p} – теплопровідність залізобетонної плити, $\lambda_{5p} = 1,236$ Вт/(м·К).

Визначення теплопровідності пустотілої залізобетонної плити: товщина $\delta_{пл} = 220$ мм, діаметр пустот $d = 159$ мм, відстань між центрами $\delta_{цен} = 185$ мм, коефіцієнт теплопровідності бетону $\lambda_6 = 2,04$ Вт/(м·К).

Термічний опір суміщеного покриття після модернізації, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$:

$$R_{пк.см2} = \frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{4p}} + \frac{\delta_5}{\lambda_{5p}} + \frac{\delta_6}{\lambda_{6p}} + \frac{1}{\alpha_3} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,17} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,1}{0,13} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,22}{1,236} + \frac{0,2}{0,038} + \frac{1}{23} = 6,49 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

де δ_6 – товщина теплоізоляційних плит; λ_6 – теплопровідність теплоізоляційних плит, $\lambda_6 = 0,038$ Вт/(м·К);

Річний ефект від модернізації:

$$\Delta E_p = \chi_1 \cdot (K_{пк.см1} - K_{пк.см2}) \cdot D_d \cdot F_{\Sigma} = 0,024 \cdot (0,813 - 0,154) \cdot 3552 \cdot 1702 = 95615 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $K_{пк1} = 1/1,23 = 0,813$ Вт/м²·К – коефіцієнт теплопередачі через перекриття до модернізації; $K_{пк2} = 1/6,49 = 0,154$ Вт/м²·К – коефіцієнт теплопередачі через перекриття після модернізації.

Капіталовкладення при модернізації:

Орієнтовні витрати:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Орієнтовна вартість, грн/м ²
1	Вартість 1 м ² плит з базальтової мінеральної вати	994
2	Вартість суміші для приклеювання плит, грн/м ² ;	26,5
3	Вартість мастіки бітумної, грн/м ²	64,8
4	Гідроізоляційний матеріал, грн/м ² .	29,3
5	Вартість монтажних робіт, грн/м ² .	150
	Всього, K_{Σ}	1264,6

Загальні витрати при модернізації:

$$K = F_c \cdot K_{\Sigma} = 1702 \cdot 1264,6 = 2152349,2 \text{ грн.}$$

Річна економія у споживанні теплової енергії:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 95615 = 82 \text{ Гкал}$$

Річні заощадження складуть:

$$C_{m.e} = 2494,32 \cdot 82 = 205106 \text{ грн.}$$

Термін повернення ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K / C_{m.e} = 2152349,2 / 205106 = 10,5 \text{ року.}$$

4.11. Інші рекомендовані енергоощадні та реноваційні заходи

Рекомендовано:

- гідроізолювати та утеплити фундамент на глибину 0,75-1м;
- відкрити вентиляційні отвори;
- термоізолювання трубопроводів системи опалення в неопалювальних підвальних приміщеннях;
- регулювання тепловіддачі нагрівальних приладів;
- встановлення давачів руху в коридорах;
- зменшити площу віконних отворів у книгосховищах;
- встановлення електролічильника реактивної енергії і компенсатора реактивної потужності.

5. ЕКОЛОГІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ

Крім технічного та економічного ефектів впровадження ЕЕЗ призведе до покращення клімату, зростання комфорту та екологічного ефекту – зменшення викидів CO_2 – парникових газів. Спалювання газу на виробництво 1 кВт·год теплової енергії супроводжується викидом 0,26 кг CO_2 .

Зменшення викиду за рік M_{CO_2} :

$$M_{\text{CO}_2} = B_{\text{нат}} \rho_{\text{CO}_2} V_{\text{CO}_2}$$

де $B_{\text{нат}}$ – економія газу; $\rho_{\text{CO}_2} = 1,9768$ – щільність двоокису вуглецю, кг/м³.

V_{CO_2} – об'єм двоокису вуглецю в продуктах згоряння, м³/м³

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01(\text{CO}_2 + \text{CO} + \sum (m \cdot C_m H_n)) = 1,068 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

де CO_2 , CO , C_m , H_n , - хімічний склад газопалива, %.

У таблиці 5.1 показано результати зменшення викидів парникових газів.

Таблиця 5.1. Обсяги зменшення викидів CO_2

№ п/п	Заходи	Економія	
		Енергія, кВт·год	CO_2 , тон
1	Утеплення укосів вікон	19934	5,52
2	Відновлення припливно-витяжної вентиляції з рекуператорами теплоти	74555	20,65
3	Заміна віконних склопакетів на 2-камерні газонаповнені з і-склом	155330	43,03
4	Утеплення зовнішніх стін	155742	43,14
5	Утеплення входних дверей	2089	0,58
6	Встановлення тепловідбивної ізоляції між приладами опалення та стіною	20754	5,75
7	Модернізація системи освітлення	85359	52,67
8	Встановлення теплової завіси на головному вході	1425,07	0,395
9	Встановлення систем сонячних колекторів для підігріву води	23080	14,240
10	Утеплення суміщеного покриття даху	95615	26,485
Всього			216

ВИСНОВКИ

За результатами енергетичного обстеження будівлі ОБ виявлено:

- 1) площа скління будівлі сягає 31%, що вимагає заміни неякісних склопакетів на 2-камерні з більшим опором теплопередачі;
- 2) значну зволоженість цегли та руйнування фундаменту;
- 3) температура у більшості приміщень є зависокою;
- 4) стан даху є незадовільним - виявлено конденсат на поверхні перекриття стелі;
- 5) значення термічного опору елементів огорожувальної конструкції є меншими за нормативні;
- 6) тепловізійна зйомка дозволила виявити ділянки підвищених втрат;
- 8) відсутня циркуляція повітря та наявна підвищена концентрація CO₂;
- 9) рівень освітленості не відповідає нормативному.
- 10) За **базовий** пропонуємо пакет з 9 енергоефективних заходів

У результаті впровадження рекомендованих енергоефективних заходів очікується зменшення енергоспоживання на 650 000 кВт·год у рік, а також покращення мікроклімату та збільшення рівня комфорту в будівлі.

Впровадження енергоефективних заходів призведе до зменшення емісії CO₂ на 216 тон у рік.

Основні показники пакету базових заходів

Енергоефективні заходи	Річні заощадження енергії, кВт·год	Річна економія в оплаті, грн	Інвестиції, грн	Термін окупності, рік.	Скорочення емісії CO ₂ , т/рік
Утеплення укосів вікон	19934	42752	81782	1,9	5,52
Відновлення припливно-витяжної вентиляції з рекуператорами теплоти	74554	159929	308387	1,9	20,65
Заміна віконних склопакетів на 2-камерні	15533	333200	1505628	4,5	43,03
Утеплення стін	155741	334084	1388567	4,2	43,14
Встановлення тепловідбивної теплоізоляції заприладами опалення	20754	44398	66459	1,5	5,75
Модернізація системи освітлення	85359	248816	285604	1,1	52,67
Встановлення теплової завіси	1425	3043	8388	2,8	0,39
Утеплення суміщеного покриття даху	95615	205106	2152349	10,5	26,49
Разом за пакетом	621529	1398818	5848726	4,2	201,2

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1- Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»;
- 2- Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 172 від 11.07.2018 «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката»;
- 3- ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво»;
5. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель;
- 6- ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будинків»;
- 7- ДСТУ Б EN ISO 10077-1:2016 «Теплотехнічні властивості вікон, дверей і жалюзі. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі»;
- 9- ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, освітленні та гарячому водопостачанні»;
- 10- ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 «Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель»;
- 12- ДСТУ Б EN 15251:2011 «Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики»;
- 13- ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 «Енергоефективність будинків. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження»
- 14- ДБН В.2.6-33:2008 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації»;
- 15- ДСТУ Б EN 15603:2013 «Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки» (EN 15603:2008, IDT);
- 16- ДСТУ ISO 10211-2:2005 «Теплопровідні включення в будівельних

конструкціях. Обчислення теплових потоків і поверхневих температур. Частина

2. Лінійні теплопровідні включення (ISO 10211-2:1995, IDT)»;

17- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»;

18- ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»;

20- Наказ Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 року № 172 «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката»;

22- ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництв»

23- ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) "Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення";

24- КТМ 204 України 244-94 «Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні»;

25- СНіП 2.04.01-85 Додаток 3 «Норма витрати води споживачами»;

26- ДБН В.2.2-9-2009 «Громадські будинки та споруди. Основні положення»;

27- ДБН В.2.2-16-2005 «Будинки і споруди. Культурно-видовищні та дозвіллієві заклади»;

28- Технічний паспорт на нежитлову будівлю – бібліотека, виданий ОКП «Кіровоградське обласне об'єднане бюро технічної інвентаризації» 06.11.2018 р.

29. В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, П.В. Кульбачний. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник. – К.: Освіта України, 2009. – 438 с.

30. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О.І. Соловей, В.П. Розен, П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, В.Ф. Ткаченко, К.Г. Петрова]; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.

ДОДАТКИ

Додаток А.

За **базовий** пропонуємо пакет енергоефективних заходів наведених в таблиці А1.

Таблиця А1. Основні показники по пакету базових заходів

Енергоефективні заходи	Річні заощадження енергії, кВт·год	Річна економія в оплаті, грн	Інвестиції, грн	Термін окупності, рік.	Скорочення емісії CO ₂ , т/рік
утеплення укосів вікон	19934,0	42752	81782	1,9	5,52172
Відновлення припливно-витяжної вентиляції з рекуператорами теплоти	74554,8	159929	308387	1,9	20,65
Заміна віконних склопакетів на 2-камерні	155330,0	333200	1505628	4,5	43,03
Утеплення стін	155741,9	334084	1388567	4,2	43,1405
Встановлення тепловідбивної теплоізоляції заприладами опалення	20754,0	44398	66459	1,5	5,75
Модернізація системи освітлення	85359,0	248816	285604	1,1	52,67
Встановлення теплової завіси	1425,1	3043	8388	2,8	0,39
Утеплення суміщеного покриття даху	95615,0	205106	2152349	10,5	26,49
Разом за пакетом	621529	1398818	5848726	4,18	201,19

Додаток Б.

ОХОРОНА ПРАЦІ**Розрахунок заземлення**

Захисне *заземлення* – електричне з'єднання з землею неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замкнення на корпус. Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки враження струмом.

Область застосування захисного заземлення:

- мережі напругою до 1000 В змінного струму – трифазні трипровідні з ізольованою нейтраллю, однофазні двопровідні, ізольовані від землі;
- мережі напругою вище 1000 В змінного і постійного струму з будь-яким режимом нейтралі.

Визначаємо опір заземлення R_z^H .

Контур заземлення виконаний з вертикальних заземлювачів, розміщених в ряд. В якості вертикального заземлювача застосовується стержень круглого перерізу діаметром $d = 6$ см і довжиною $l = 3$ м. Стержень знаходиться на поверхні землі: ґрунт двошаровий; висота верхнього шару $h_1 = 0,5$ м, верхній шар чорнозем; нижній шар пісок. Стержні з'єднанні прутком $b = 10$ мм; глибина занурення прута від поверхні ґрунту $h_2 = 0,6$ м; відстань між вертикальними заземлювачами $a = 5$ м; опір природного заземлення 15 Ом.

Розрахунок зводиться до визначення кількості вертикальних заземлювачів і довжини з'єднувальної прута.

Якщо сумарна потужність струмоприймачів більша 100 кВА, то R_z повин бути не більше 4 Ом.

1. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho_{екв} \cdot \psi = 222,22 \cdot 2,4 = 533,328 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

де: $\rho_{екв}$ - еквівалентне значення питомого опору ґрунту;

ψ_1 – кліматичний коефіцієнт.

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{L}{\frac{\Delta h_1}{\rho_1} + \frac{\Delta h_2}{\rho_2}} = \frac{3}{\frac{0,5}{500} + \frac{2,5}{200}} = 533,328 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

де: ρ_1, ρ_2 - табличні значення: для чорнозему $\rho_1 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; для піску $\rho_2 = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ з табл. 10.2 [21]; h_1 - висота шару чорнозему; h_2 - піску.

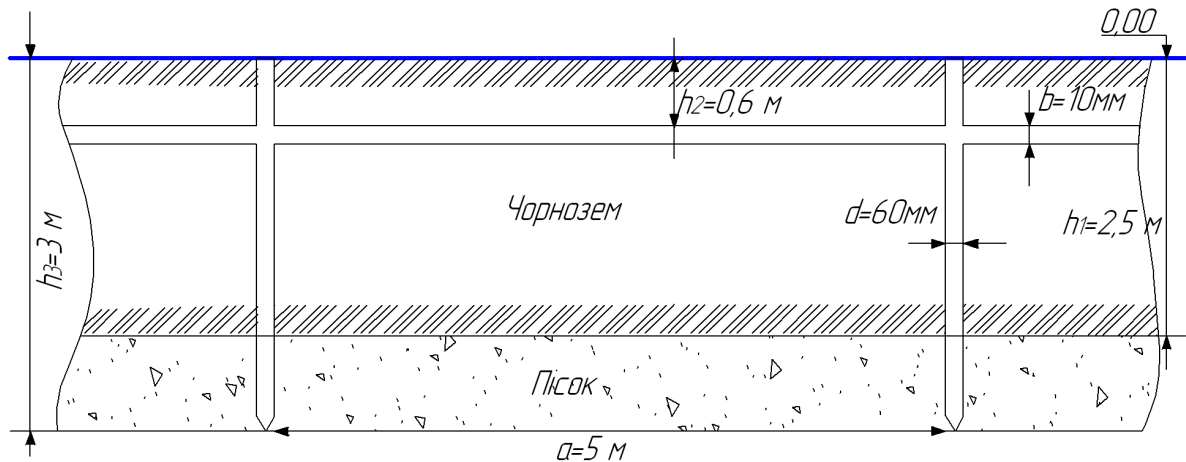


Рис.11.1 Схема прокладки заземлення

2. Опір штучного заземлювача мусить бути:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{п}} \cdot R_3}{R_{\text{п}} - R_3} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,4545 \text{ Ом},$$

де $R_{\text{п}}$ – опір природного заземлювача.

3. Опір одного вертикального заземлювача:

$$R_{\text{ст.од}} = \frac{\rho_{\text{екв}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{4 \cdot L}{d} = \frac{533,328}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \ln \frac{4 \cdot 3}{0,06} = 149,986 \text{ Ом}$$

де: L - довжина вертикального стержня; d - діаметр стержня.

Приймаємо електроди, прокладені в ряд згідно плану і знаходимо орієнтовну кількість заземлювачів:

$$n_0 = \frac{R_{\text{ст.од}}}{R_{\text{ш}} \cdot \eta_0} = \frac{149,986}{5,4545 \cdot 0,7} = 39,28 \approx 40 \text{ шт.}$$

де: η_0 – коефіцієнт використання ряду заземлювачів, $a/l = 5/3 = 1,6$, $\eta = 0,7$ по

таблиці 10.4 [21].

Довжина горизонтальної з'єднувальної полоси:

$$L_{\Pi} = a \cdot (n_0 - 1) = 5 \cdot (40 - 1) = 195 \text{ м.}$$

4. Опір з'єднувальної полоси

$$R_{\Pi} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_n} \cdot \ln \frac{L_n^2}{b \cdot H} = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 195} \cdot \ln \frac{195^2}{0,01 \cdot 0,6} = 2,558 \text{ Ом.}$$

З урахуванням коефіцієнта використання:

$$R_{\Pi B} = \frac{R_{\Pi}}{\eta_n} = \frac{2,558}{0,7} = 3,654 \text{ Ом ,}$$

де: η_n - коефіцієнт використання з'єднувального прута.

5. Необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням опору з'єднувального прута:

$$R_{\text{ст}} = \frac{R_{\Pi B} \cdot R_3}{R_{\Pi B} - R_3} = \frac{3,654 \cdot 3}{3,654 - 3} = 16,75 \text{ Ом.}$$

Остаточна кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_{\text{ст.од}}}{R_{\text{ст}} \cdot \eta_0} = \frac{149,986}{16,75 \cdot 0,7} = 12,79 \approx 13 \text{ шт.}$$

Проводимо перевірку опору заземлювача і порівнюємо отримане значення з нормативним:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{ст}}} + \frac{1}{R_{\Pi B}} + \frac{1}{R_{\Pi}}} = \frac{1}{\frac{1}{16,75} + \frac{1}{3,654} + \frac{1}{15}} = 2,49977 \text{ Ом;}$$

$$2,49977 < 4 \text{ Ом,}$$

тобто, даний заземлювач задовольняє умовам вибору.