

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

Богданюк Олег Сергійович

«РОЗРОБЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕРТИФІКАТУ БУДІВЛІ
НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ ЕТ СУМДУ»

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

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

Керівник роботи:

_____ (підпис)

Хованський С.О.

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

К.Т.Н., доцент

_____ (наукове звання та наукова ступінь)

5 Консультанти з проекту (роботи), із зазначенням розділів проекту

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

6 Дата видачі завдання 09.11.2020 р

Керівник

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Проходження переддипломної практики	з 09.11 до 06.12.2020	
2	Захист переддипломної практики	до 10.12.2020	
3	Виконання 1-го розділу	до 25.11.2020	
4	Виконання 2-го розділу	до 30.12.2020	
5	Виконання 3-го розділу	до 07.12.2020	
6	Виконання 4-го розділу	до 09.12.2020	
7	Виконання 5-го розділу	до 11.12.2020	
8	Представлення виконаної роботи	до 15.12.2020	
9	Проходження перевірки на плагіат	до 20.12.2020	
10	Проведення захисту роботи	з 21.12 до 24.12.2020	

Студент-магістр

(підпис)

Керівник випускної роботи

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 129с, 38 таблиць, 35 рисунків, 4 додатки, 34 літературних джерел.

Мета роботи: проведення енергетичної сертифікації будівлі, аналіз фактичного споживання енергоресурсів, розробка заходів щодо підвищення ефективності енергоспоживання, проведення розрахунку точкових включень.

Відповідно до мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- аналіз енергетичного стану будівлі;
- визначення питомих величин енергоспоживання систем будівлі;
- розробка енергозберігаючих заходів із їх техніко-економічним розрахунком;
- розрахунок точкових теплопровідних включень.

Предметом дослідження є системи енергоспоживання будівлі навчального корпусу ЕТ СумДУ.

Об'єктом є будівля навчального корпусу ЕТ СумДУ.

Методи дослідження: інструментальне вимірювання, математичні розрахунки, математичне моделювання за допомогою програмного продукту ANSYS.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНА СЕРТИФІКАЦІЯ, ЕНЕРГОПОТРЕБА, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ТЕПЛОВТРАТИ, ПОКАЗНИК ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИЙ ЗАХІД, ОПІР ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

Тема роботи – «Розробка енергетичного сертифікату будівлі навчального корпусу ЕТ СумДУ»

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ІНДЕКСІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення

$R_{пр}$ – опір теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

U – коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$;

A_f – кондиціонована (опалювальна) площа будівлі, м^2 ;

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції поверхні, м^2 ;

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$Q_{H,nd,cont}$ – енергопотреба для постійного опалення будівлі, $\text{кВт} \cdot \text{год}$;

$Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі опалення, $\text{кВт} \cdot \text{год}$;

$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі опалення, $\text{кВт} \cdot \text{год}$;

$\eta_{H,gn}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень.

t_D – час використання природного освітлення протягом року, год;

t_N – час використання природного освітлення протягом року, год;

m_{CO_2} – маса викидів парникових газів, кг.

Індекси та скорочення

Рис. – рисунок;

Табл. – таблиця;

СумДУ – Сумський державний університети;

ГВП – гаряче водопостачання;

ГОСТ – государственный общесоюзный стандарт;

ДСТУ – Державний стандарт України;

ДБН – Державні будівельні норми;

т.н.е – тонна нафтового еквіваленту;

ПВХ – полівінілхлорид;

КП – комунальне підприємство.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ЕНЕРГЕТИЧНА СЕРТИФІКАЦІЯ БУДІВЕЛЬ	10
1.1 Загальна інформація.....	10
1.2 Основні задачі енергетичної сертифікації будівель	10
1.3 Порядок проведення сертифікації енергетичної ефективності будівлі	12
1.3.1 Збір вихідних даних.....	12
1.3.2 Обробка вихідних даних	13
1.4 Висновок до розділу	14
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ СЕРТИФІКАЦІЇ	16
2.1 Загальна характеристика	16
2.2 Функціональне призначення, тип і конструктивні рішення будинку	17
2.3 Основні об'ємно-планувальні показники	19
2.4 Система опалення	20
2.5 Система вентиляції	20
2.6 Система освітлення.....	21
2.7 Поточне споживання енергоресурсів.....	22
2.8 Розрахункові параметри	23
2.9 Розрахунок коефіцієнту теплопровідності зовнішніх огороджувальних конструкцій будівлі	23
2.10 Висновки до розділу	28
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ	30
3.1 Розрахунок питомої енергопотреби на опалення та охолодження	30
3.1.1 Характеристика передачі трансмісією.....	30

3.1.2	Характеристики теплопередачі вентиляцією	33
3.1.3	Характеристики внутрішніх теплонадходжень	35
3.1.4	Сонячні теплонадходження.....	36
3.1.5	Динамічні параметри.....	43
3.1.6	Енергопотреба на опалення та охолодження	45
3.1.7	Визначення питомого енергоспоживання при опаленні	49
3.1.8	Визначення питомого енергоспоживання при охолодженні.....	53
3.1.9	Визначення класу енергетичної ефективності будівлі	56
3.1.10	Енергоспоживання системи вентиляції	57
3.1.11	Розрахунок питомого енергоспоживання при освітленні	58
3.1.12	Проведення розрахунків первинної енергії та викидів парникових газів	60
3.2	Заходи з підвищення енергетичної ефективності	61
3.2.1	Теплоізоляція зовнішніх стін	62
3.2.2	Теплоізоляція перекриття горища	63
3.2.3	Встановлення індивідуального теплового пункту з модернізацією системи опалення	64
3.2.4	Встановлення рекуператорів тепла.....	65
3.2.5	Модернізація системи освітлення.....	66
3.2.6	Результати розрахунків ефекту від впровадження заходів	68
3.2.7	Оцінка ефективності інвестицій	73
3.4	Висновки до розділу	75
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНИХ ТОЧКОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ		
.....		77
4.1	Створення тривимірної моделі.....	77
4.2	Побудова розрахункової сітки	79

4.3	Опис розрахункової моделі	82
4.4	Результати розрахунку моделей в модулі Steade-State Thermal	84
4.5	Висновки до розділу	90
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ		91
5.1	Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час роботи енергоменеджера під час роботи на об'єкті.....	91
5.1.1	Характеристика досліджуваного об'єкту:	91
5.1.2	Опис, аналіз і порівняння з нормативними показниками всіх виявлених небезпечних та шкідливих факторів	92
5.2	Правила виконання робіт на висоті	97
5.3	Порядок евакуації відвідувачів із освітнього закладу	102
5.4	Висновки до розділу	105
ВИСНОВОК		107
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		109
ДОДАТОК А		113
ДОДАТОК Б.....		114
ДОДАТОК В.....		115
ДОДАТОК Г		123

ВСТУП

Енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності в теперішній час є однією з актуальних проблем пов'язаних не тільки з економічним, але і з політичним розвитком держави. Це обумовлено з однієї сторони роллю, яку відіграє енергія в розвитку цивілізації, а з іншої реальною перспективною вичерпання в найближчому майбутньому можливості екстенсивного зростання енергоспоживання за рахунок використання не поновлюваних джерел енергії та проблем забруднення навколишнього середовища. Особливої гостроти питання енергозбереження та енергетичної ефективності набули в Україні.

Згідно з [1], загальне базове енергоспоживання громадських та комерційних будинків складає 5,69 % від кінцевого споживання енергії та палива загалом по Україні, що у абсолютних величинах знаходиться на рівні 4,71 млн. т.н.е., а споживання енергії будівлями навчальних закладів становить близько 1,16 млн. т.н.е. на рік. Тобто обсяг використання енергетичних ресурсів навчальними закладами близько 25% від загального кінцевого енергоспоживання у громадському секторі України.

Будівлі сфери освіти побудовані в основному до 1990 року, а їх традиційні архітектурно-будівельні системи (великоблочна, великопанельна, каркаси виконанні із збірного залізобетону та ін.) за своїми характеристиками не відповідають встановленим сучасним нормам щодо енергетичної ефективності, а тому для них є притаманні низькі енергозберігаючі властивості, більшість з них потребує капітального ремонту [1].

Проведення своєчасного енергоаудиту будівель закладів освіти є одним з шляхів подолання даної проблеми, це призводить до істотного скорочення нераціональної витрати енергетичних ресурсів. Грамотно проведений енергетичний аудит дозволяє знизити витрату енергії як мінімум на 10-15%. Точний і продуманий план заходів дозволить опрацювати стратегію тривалої і ефективної роботи.

Аналіз цієї інформації дозволив сформулювати мету даної – підвищення енергетичної ефективності системи енергоспоживання будівлі навчального корпусу ЕТ СумДУ. Для досягнення даної мети було поставлено та вирішено наступні задачі: проаналізовано фактичне споживання енергоресурсів, визначено питомі величини енергоспоживання системами будівлі, розроблено ряд заходів спрямованих на підвищення ефективності енергоспоживання, складено енергетичний сертифікат даної будівлі, також було розраховано точкові теплопровідні включення.

Предметом дослідження є системи енергоспоживання будівлі навчального корпусу ЕТ СумДУ.

Об'єктом дослідження є будівля навчального корпусу ЕТ СумДУ.

РОЗДІЛ 1 ЕНЕРГЕТИЧНА СЕРТИФІКАЦІЯ БУДІВЕЛЬ

1.1 Загальна інформація

Згідно з [2], сертифікацією енергетичної ефективності називається вид енергетичного аудиту, під час якого здійснюється аналіз інформації щодо фактичних або проектних характеристик огорожувальних конструкцій та інженерних систем, оцінюється відповідність розрахункового рівня енергетичної ефективності встановленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель та надаються рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівель, що враховують місцеві кліматичні умови, є технічно та економічно обґрунтованими.

Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» з 01 липня 2019 року вводиться обов'язкова сертифікація ряду об'єктів. Наявність даного сертифікату є обов'язковим для наступних об'єктів:

- об'єктів реконструкції та нового будівництва;
- будівель державної власності (опалювальна площа, яких не менша за 250 м²) в яких проходять заходи з термомодернізації;
- будівель з опалюваною площею понад 250 м²;
- будівель, в яких фінансування термомодернізації зовнішніх огорожувальних конструкцій здійснюється за державні кошти.

1.2 Основні задачі енергетичної сертифікації будівель

Головним завданням проведення енергетичної сертифікації будівель є визначення заходів, здатних знизити рівень споживання енергії будівлею.

Основним результатом даної процедури є документ – енергетичний сертифікат (енергосертифікат), який додається до будівельного паспорту. Термін дії такого сертифіката 10 років.

Енергетичний сертифікат [2] – електронний документ встановленої форми, в якому зазначено показники та клас енергетичної ефективності будівлі, наведено сформовані у встановленому законодавством порядку рекомендації щодо його підвищення, а також інші відомості щодо будівлі, її відокремлених частин, енергетичну ефективність яких сертифіковано.

Сертифікат включає в себе наступні дані [3]:

- місцезнаходження будівлі;
- опалювальний об'єм і площа будівлі;
- рік прийняття в експлуатацію будівлі;
- відомості про функціональне призначення і конструкції будівлі;
- шкалу енергетичної ефективності будівель, на якій вказано графічне позначення існуючих класів енергетичної ефективності (від високого рівня «А» до низького «G») і відзначений клас енергоефективності будівлі;
- рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі;
- значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій і опис їх технічного стану;
- відзначені виявлені недоліки конструкцій;
- показники енергетичної ефективності і фактичне питоме енергоспоживання будівлі;
- річне енергоспоживання будівлі.

Завдяки даному сертифікату можна отримати всю необхідно інформацію про потрібну вам будівлю, а саме про обсяги споживання паливо енергетичних ресурсів. Також в сертифікату наведено рекомендації спрямовані на зменшення використання енергетичних ресурсів, що в свою чергу допоможе підвищити рівень енергоефективності.

Сертифікація будівель здійснюється особою, яка пройшла відповідне навчання та має освітню кваліфікацію енергоаудитори, що підтверджується атестатом.

1.3 Порядок проведення сертифікації енергетичної ефективності будівлі

Алгоритм проведення сертифікації енергетичної ефективності будівлі наведений у додатку А [4]. Далі наведено детальна інформація про кожен з кроків.

1.3.1 Збір вихідних даних

Збір вихідних даних про будівлю, що підлягає енергетичній сертифікації, включає [5]:

- проектні дані з об'ємно-планувального рішення з виявленням величин кондиціонованої площі та об'єму;
- орієнтації за сторонами світу зовнішніх огорожувальних конструкцій з визначенням їх площ за цими орієнтаціями;
- фіксацію зовнішніх перешкод, рухомих або нерухомих способів сонцезахисту за кожною орієнтацією;
- характеристики матеріалів зовнішніх оздоблювальних поверхонь огорожувальних конструкцій для виявлення характеристик поглинання та відбивання сонячної радіації;
- конструктивні рішення елементів теплоізоляційної оболонки будівлі;
- теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій будівлі;

- фіксацію способу організації вентиляції будівлі або її зони і встановлення його кратності повітрообміну або погодинної об'ємної витрати повітря;
- встановлення способу і джерела опалення будівлі або її зон з виявленням відповідних характеристик інженерної системи;
- встановлення при наявності способу охолодження будівлі або її зон з виявленням відповідних характеристик;
- встановлення способу і джерела гарячого водопостачання будівлі або її зон з виявленням відповідних характеристик інженерної системи;
- встановлення способу і джерела освітлення будівлі або її зон з виявленням відповідних характеристик інженерної системи;
- встановлення способів автоматизації інженерних систем будівлі;
- встановлення джерел використання відновлювальної енергії або способів рекуперації тепла або застосування когенерації з встановленням характеристик об'ємів застосування і показників корисної дії;
- збір всіх даних з встановлених в будинку лічильників споживання теплової та електричної енергії, використання газу або інших джерел енергії;
- систематизація результатів спостережень теплотехнічних характеристик окремих елементів огорожувальних конструкцій.

1.3.2 Обробка вихідних даних

Обробка вихідних даних та розрахунків показників енергетичної ефективності включає [5]:

- визначення розрахункових характеристик теплотехнічних показників елементів огорожувальних конструкцій згідно вимог Методики для визначення енергетичної ефективності будівель;

- виконання розрахунків показників енергоефективності будівлі згідно вимог Методики для визначення енергетичної ефективності будівель;
 - визначення класу енергоефективності будівлі згідно вимог Методики. Клас енергетичної ефективності встановлюється за результатами оцінки енергетичних характеристик в залежності від типу будівлі з урахуванням витрат на опалення, охолодження та гаряче водопостачання;
 - розробку економічно обґрунтованих рекомендацій з підвищення класу енергоефективності будівлі;
 - заповнення та видання енергетичного сертифікату будівлі.
- У сертифікаті надається кольорове зображення класів енергоефективності будівель представлено на рисунку 1.1 [4].

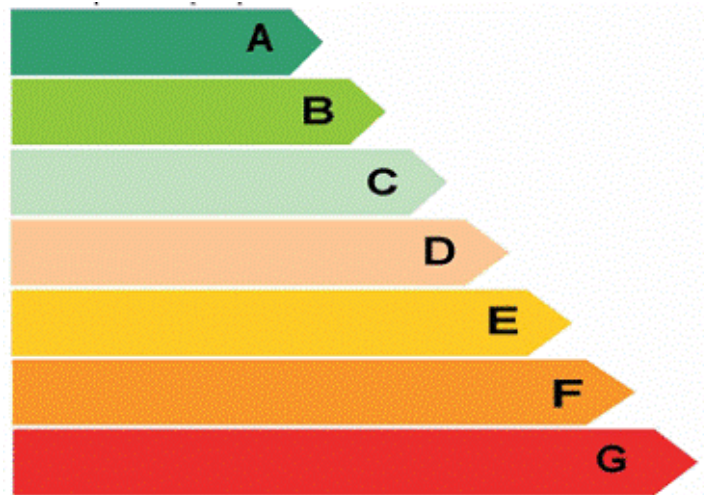


Рисунок 1.1 – Класи енергоефективності будівель [4]

1.4 Висновок до розділу

В даному розділі було розглянуто загальну інформацію про енергетичну сертифікацію та поставлені перед нею завдання. Також було наведено порядок проведення сертифікації енергетичної ефективності будівлі, а саме: збір та

обробка вихідних даних, з подальшою їх систематизацією, розробкою, заповненням та виданням енергетичного сертифікату будівлі.

РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ СЕРТИФІКАЦІЇ

2.1 Загальна характеристика

Об'єкт – будівля навчального корпусу ЕТ Сумського державного університету, яка розташована за адресою вул. Римського-Корсакова, 2. Розташування будівлі наведено на рисунку 2.1.

Будівля була споруджена в 1971 році. Навчальний корпус ЕТ не є історичною спорудою, тому обмеження для проведення ремонтних робіт відсутні.

Будівля характеризується масивною конструкцією та має 5 поверхів. Форма будівлі є П-подібною, з габаритними розмірами 90,5 м на 61,5 м. Висота будинку від відмітки підлоги першого поверху до верхньої відмітки покрівлі становить 17,4 м. У будинку передбачено чотири сходові клітки.

Розрахункова кількість людей, яка одночасно знаходиться на протязі 8 годинного робочого дня (з 8:15 по 17:00) становить 853 особи.

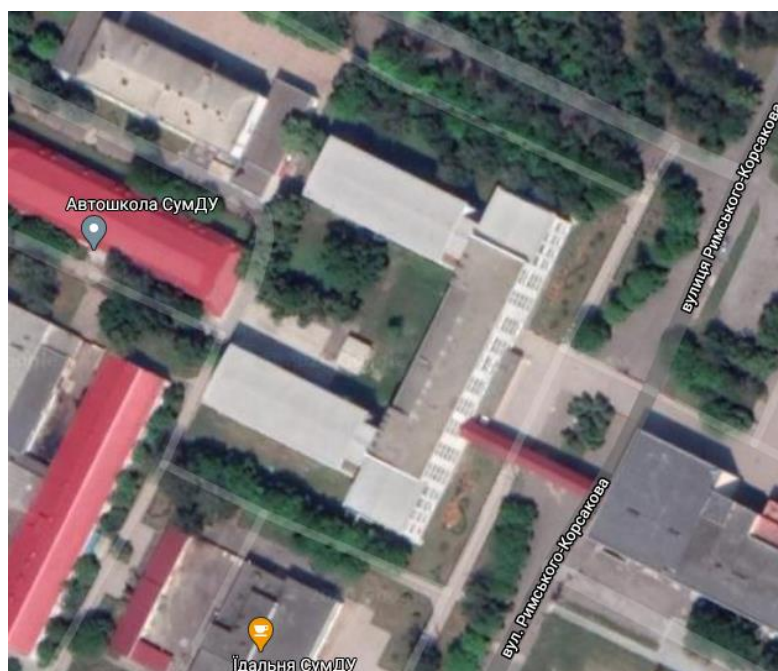


Рисунок 2.1 – Навчальний корпус ЕТ

2.2 Функціональне призначення, тип і конструктивні рішення будинку

Призначення будівлі – навчальний корпус СумДУ. Конструктивне рішення зовнішньої огороджувальної оболонки будівлі:

1) Зовнішні стіни навчального корпусу виконано з силікатної цегли на цементно-піщаному розчині, що поштукатурена всередині, а ззовні стіни вкриті керамічною плиткою, загальна товщина становить 530 мм. На зовнішніх стінах не було виявлені явних пошкоджень.

Заходів спрямованих на підвищення рівня енергоефективності зовнішніх стін будівлі не проводилися раніше. На рисунку 2.2 зображено зовнішні стіни навчального корпусу ЕТ.



Рисунок 2.2 – Зовнішні стіни

2) Вікна та двері, що встановлені в будівлі мають ПВХ раму з потрійним склінням, завдяки цьому досягається відповідність мінімальним вимогам, які встановлені діючими нормативними документами.

Заходи спрямовані на підвищення енергоефективності (заміна вікон дверей) проводилися раніше в 2014-2016, після них світлопрозорі конструкції відповідають мінімально встановленим нормам. На рисунку 2.3 зображено вікна та двері навчального корпусу ЕТ. В додатку Б наведено геометричні параметри віконних отворів.



Рисунок 2.3 – Вікна та двері

3) Частина покрівлі даної будівлі є плоскою, вона виконана із монолітної залізобетонної плити товщиною 220 мм, а інша частина даху зроблене у вигляді горища. Горище не обігривається, тому воно є частиною неопалювальної площі будівлі.

Раніше вже проводилися енергоефективні заходи спрямовані на додаткове утеплення, але теплотехнічні характеристики існуючого даху не досягають мінімальним вимогам, які встановлені діючими нормативними документами. На конструкції даху відсутні видимі пошкодження. На рисунку 2.4 наведено зображення суміщеного перекриття навчального корпусу ЕТ.



Рисунок 2.4 – Суміщене перекриття

4) Підлога навчального корпусу виконана у вигляді монолітної залізобетонної плити товщиною 220 мм. Підлога даної будівлі знаходиться в прийнятному стані та відповідає мінімальним вимогам, які встановлені діючими нормативними документами.

2.3 Основні об'ємно-планувальні показники

Основні об'ємно-планувальні показники навчального корпусу ЕТ СумДУ:

– Кондиціонована (опалювальна) площа будівлі – $F_h = 12127\text{м}^2$, визначають за внутрішніми габаритними розмірами огорожувальних конструкцій кондиціонованого об'єму, включаючи площу внутрішніх стін та перегородок, що розділяють приміщення, які входять до кондиціонованого об'єму [4].

– Корисна площа будівлі $F_{ik} = 9354,3\text{м}^2$, визначається як сума площ усіх розташованих в ньому приміщень, а також балконів і антресолей у залах, фойє тощо за винятком сходових кліток, ліфтових шахт, внутрішніх відкритих сходів і пандусів [6].

– Розрахункова площа будівлі $F_{ip} = 7638\text{м}^2$, визначається як сума площ усіх розташованих у ньому приміщень, за винятком коридорів, тамбурів, переходів, сходових кліток, ліфтових шахт, внутрішніх відкритих сходів, а також приміщень, призначених для розміщення інженерного обладнання та інженерних мереж [5].

– Опалювальний об'єм будівлі – $V_h = 40021\text{м}^3$, визначається як об'єм простору, що обмежений внутрішніми поверхнями зовнішніх огорожувальних конструкцій [6].

– Загальна площа зовнішніх непрозорих стінових огорожувальних конструкцій $F_{нп} = 4593,5\text{ м}^2$.

– Загальна площа зовнішніх світлопрозорих огорожувальних конструкцій $F_{спв} = 1942,1\text{ м}^2$.

– Загальна площа входних дверей складає $F_{д1} = 15,3\text{м}^2$.

– Загальна площа перекриття даху – $F_{пк} = 2844\text{м}^2$.

– Загальна площа підлоги – $F_{ц2} = 2844\text{м}^2$.

2.4 Система опалення

В даній будівлі централізована система тепlopостачання. Система опалення є двотрубною вертикальною з верхнім розведенням, з комунікаціями виготовленими переважно із сталі з частковою ізоляцією в тепловому пункті. Радіатори опалення переважно чавунні, без термостатичних регуляторів. На рисунку 2.5 зображено компоненти системи опалення навчального корпусу ЕТ.

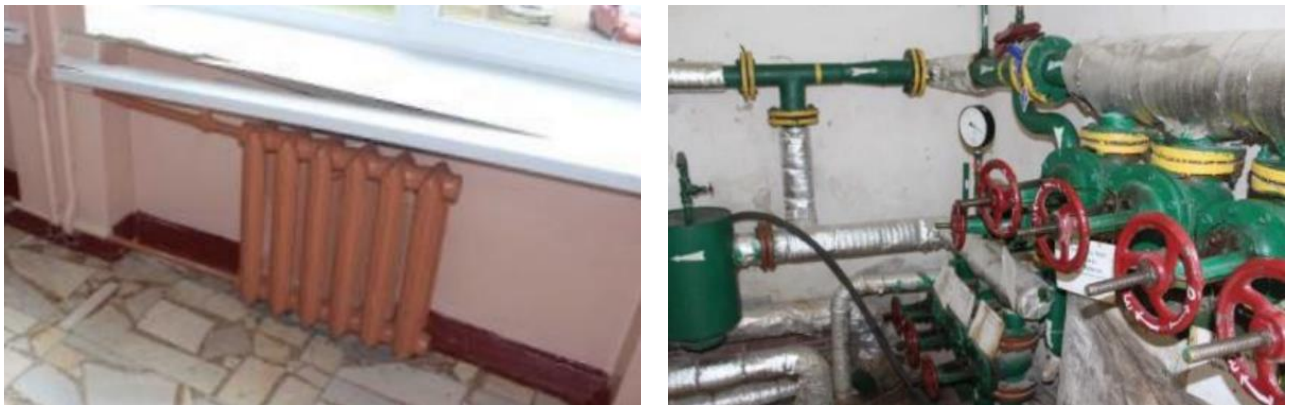


Рисунок 2.5 – Компоненти системи опалення

2.5 Система вентиляції

У будівлі навчального корпусу ЕТ встановлена механічна система вентиляції. Призначення даної системи це постачання свіжого повітря з навколишнього середовища до навчальних аудиторій та утилізація використаного повітря з будівлі.

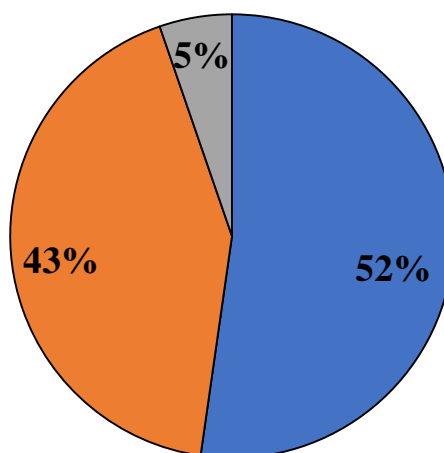
Повітропроводи виконані з бетону та мають незадовільний стан, так як система не експлуатувалася з самого початку. В санітарних приміщеннях (туалетах) – встановлена витяжна система вентиляції. На рисунку 2.6 зображено компоненти системи вентиляції.



Рисунок 2.6 – Компоненти системи вентиляції

2.6 Система освітлення

Система освітлення в будівлі представлена трьома типами освітлюваних приладів, а саме: лампи розжарювання, LED освітлення та флуоресцентні лампи. Найбільше в приміщеннях навчального корпусу встановлено флуоресцентних ламп, які мають загальну електричну потужність 103,8 кВт (52,28%), наступним за потужністю є лампи розжарювання – 84,3 кВт (42,46%), LED освітлення – 10,5 кВт (5,26%) (рис. 2.7). Зальна електрична потужність, яка витрачається на освітлення приміщень становить 198,6 кВт.



■ Флуоресцентні лампи ■ Лампи розжарювання ■ LED освітлення

Рисунок 2.7 – Встановлена потужність освітлювальних приладів

2.7 Поточне споживання енергоресурсів

Будівля приєднана до централізованої системи теплопостачання, де у якості теплоносія використовується вода. Теплова енергія використовується лише на потреби опалення (гаряче водопостачання відсутнє), застосовується температурний графік – 110/70. В навчальному корпусі ЕТ відсутній окремий лічильник тепла, тому для обліку спожитої теплової енергії використовується лічильник в корпусі «Ц».

Постачальником електричної енергії є ПАТ «Сумиобленерго», вона використовується на потреби освітлення приміщень та роботи різноманітних електроприладів, які використовуються в навчальному процесі.

Постачання води здійснює КП «Міськводоканал».

В таблиці 2.1 наведено інформацію, щодо фактичного та нормалізованого (середнього) енергоспоживання за останні роки (2017-2019 роки). На рисунку 2.8 зображено графічне порівняння споживання кількості теплової енергії на потреби опалення приміщень навчального корпусу, а також споживання електричної енергії.

Таблиця 2.1 – Річне споживання теплової енергії

Рік	Опалення приміщень, кВт · год	Електроенергія, кВт · год	Загальне енергоспоживання, кВт · год
2017	714517	114829	829346
2018	755555	96288	851843
2019	773822	104564	878386
Нормалізоване (середнє)	747964	105227	853191

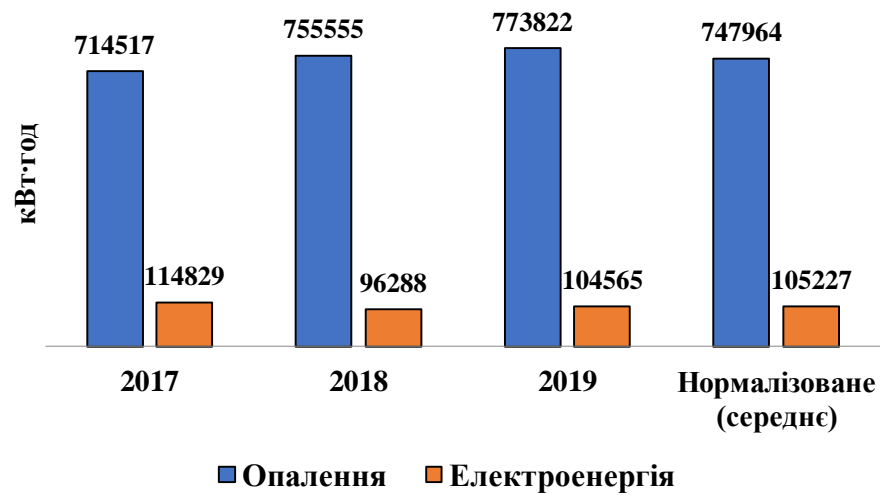


Рисунок 2.8 – Річне споживання теплової енергії

2.8 Розрахункові параметри

Згідно з [8] для навчальних закладів розрахункова температура внутрішнього повітря становить $t_b = + 20$ С, розрахункова температура зовнішнього повітря для умов м. Суми – $t_3 = - 22$ °С.

Кількість градусо-днів опалювального періоду для I температурної зони – $D_d = 3501$ градусо-днів [2]. Згідно з [7] тривалість опалювального періоду для міста Суми складає $z_{оп} = 187$ днів, а середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період становить $t_{опз} = - 1,4$ °С.

2.9 Розрахунок коефіцієнту теплопровідності зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі

Будова зовнішніх стін будівлі представлена на рисунку 2.9, а товщина та теплопровідність матеріалів стін приведено в таблицях 2.2.

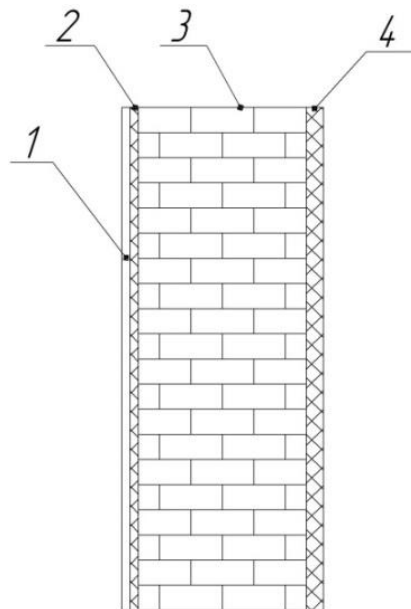


Рисунок 2.9 – Будова зовнішніх стін: 1–плитка керамічна; 2–цементно-піщана суміш; 3–силікатна цегла; 4–штукатурка.

Таблиця 2.2 – Матеріали горіщного перекриття та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/м ² · К
1	Плитка керамічна	0,005	0,95
2	Цементно-піщана суміш	0,005	0,76
3	Силікатна цегла	0,5	0,76
4	Цементно-піщана штукатурка	0,02	0,76

Визначаємо загальний термічний опір зовнішніх стін [7]:

$$R^{\text{стіна}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,95} + \frac{0,005}{0,76} + \frac{0,5}{0,76} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23} = 0,85 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Згідно з [6] мінімальне допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх стін для I-ої температурної зони становить $R^H = 3,3 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$.

Визначаємо значення коефіцієнту теплопровідності стін:

$$U_{\text{стіна}} = \frac{1}{0,85} = 1,17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Будова горищного перекриття будівлі представлена на рисунку 2.10, а товщина та теплопровідність матеріалів стін приведено в таблицях 2.3.

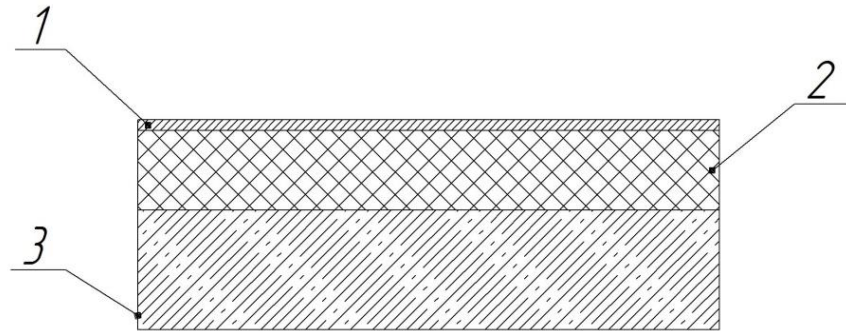


Рисунок 2.10 – Будова горищного перекриття:

1–руберойд; 2–керамзит; 3–монолітна залізобетонна плита.

Таблиця 2.3 – Матеріали горищного перекриття та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/м ² · К
1	Руберойд	0,004	0,17
2	Керамзит	0,11	0,11
3	Монолітна залізобетонна плита	0,22	1,92

Визначаємо загальний термічний опір горищного перекриття [7]:

$$R_{\text{горище}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,004}{0,17} + \frac{0,11}{0,11} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12} = 1,34 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Згідно з [6] мінімальне допустиме значення опору теплопередачі горищного перекриття для I-ої температурної зони становить $R^H = 6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$.

Визначаємо значення коефіцієнту теплопровідності горищного перекриття:

$$U_{\text{гор}} = \frac{1}{1,34} = 0,75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Будова підлоги будівлі представлена на рисунку 2.11, а товщина та теплопровідність матеріалів стін приведено в таблицях 2.4.

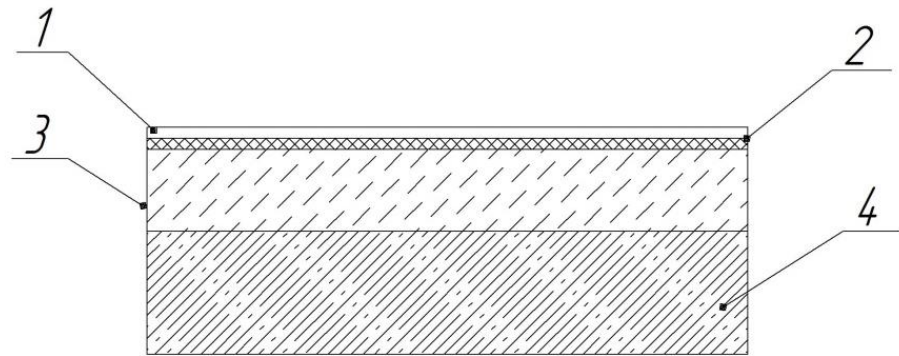


Рисунок 2.11 – Будова підлоги:

1–плитка; 2–цементно–піщана суміш; 3–бетонна стяжка;
4–монолітна залізобетонна плита.

Таблиця 2.4 – Матеріали підлоги та їх характеристика

№	Матеріал	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/м ² · К
1	Плитка керамічна	0,005	0,95
2	Цементно-піщана суміш	0,005	0,76
3	Бетонна стяжка	0,15	0,76
	Монолітна залізобетонна плита	0,22	1,92

Визначаємо загальний термічний опір підлоги [7]:

$$R^{\text{підлога}} = \frac{0,005}{0,95} + \frac{0,005}{0,76} + \frac{0,15}{0,76} + \frac{0,22}{1,92} = 0,32 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Розрахуємо значення коефіцієнту теплопровідності підлоги, яка розташована на ґрунті, приклад даного розміщення підлоги наведено на рисунок 2.12 [4].

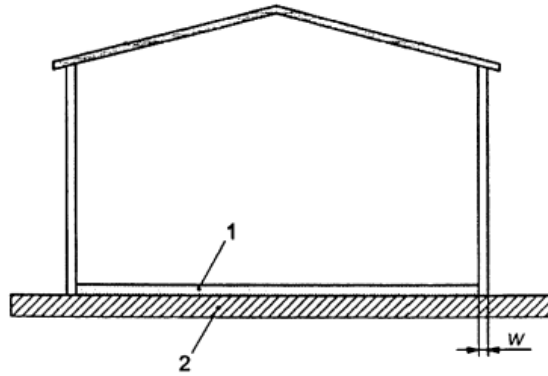


Рисунок 2.12 – Будинок з підлогою по ґрунту [8]: 1–шар підлоги; 2–ґрунт;
 w – товщина зовнішніх стін.

Коефіцієнт теплопровідності підлоги будівлі по ґрунту [4], $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$:

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B^i + d_t} \ln \left(\frac{\pi B^i}{d_t} + 1 \right), \quad (2.1)$$

де B^i – характерний розмір підлоги, що дорівнює відношенню площі підлоги на половину периметра підлоги за формулою [8]:

$$B^i = \frac{A}{0,5P} \quad (2.2)$$

d_t – еквівалентна товщина підлоги, яку розраховують за формулою [8]:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (2.3)$$

де A – площа підлоги, м^2 ;

P – зовнішній периметр підлоги, м;

w – загальна товщина зовнішньої стіни, включаючи всі шари, м;

λ – теплопровідність ґрунту, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$;

R_{si} – тепловий внутрішній поверхневий опір, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

R_f – термічний опір підлоги включаючи всі шари, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

Визначимо значення еквівалентної товщини підлоги:

$$d_t = 0,53 + 2 \cdot (0,17 + 0,043 + 0,32) = 1,6.$$

Знаходимо значення характерного розміру підлоги:

$$B^i = \frac{2669,1}{0,5 \cdot 428,2} = 12,47.$$

Коефіцієнт теплопровідності підлоги будівлі по ґрунту, Вт/м² · К:

$$U_{\text{підлога}} = \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 12,47 + 1,6} \cdot \ln \left(\frac{3,14 \cdot 12,47}{1,6} + 1 \right) = 0,32.$$

Світлопрозорі конструкції представлені вікнами та входними дверима виконаних з металопластикових профілів із заповненням двокамерними склопакетами з енергоефективним покриттям на зовнішньому та внутрішньому склі (4і-10-4-10-4і). Простір між склопакетів заповнено звичайним повітрям.

Опір теплопередачі вікон та дверей відповідають встановленим мінімальним нормам та становить, відповідно $R^{\text{вікно}} = 0,75 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ ($U_{\text{вікна}} = 1,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$) та $R^{\text{двері}} = 0,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ ($U_{\text{двері}} = 1,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$).

2.10 Висновки до розділу

В даному розділі було надано опис існуючої системи енергоспоживання (система опалення, система вентиляції та система освітлення) та наведено поточне та нормалізоване (середнє) енергоспоживання будівлі, останнє в свою чергу дорівнює 853191 кВт · год.

Також було наведено опис конструктивних рішень зовнішньої оболонки будівлі навчального корпусу ЕТ СумДУ, а саме: зовнішніх стін, горищного перекриття, підлоги, вікон та дверей. Розрахунок коефіцієнту теплопровідності зовнішніх огороджувальних конструкцій будівлі дав наступні результати:

– коефіцієнт теплопровідності стін $U_{\text{стіна}} = 1,17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

– коефіцієнт теплопровідності горищного перекриття $U_{\text{гор}} = 0,75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

– коефіцієнт теплопровідності підлоги $U_{\text{підлога}} = 0,32 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

– коефіцієнт теплопровідності вікон $U_{\text{вікна}} = 1,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

– коефіцієнт теплопровідності дверей $U_{\text{двері}} = 1,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

3.1 Розрахунок питомої енергопотреби на опалення та охолодження

3.1.1 Характеристика передачі трансмісією

Коефіцієнт теплопередачі трансмісією H_x [8], Вт/К, визначається за наступною формулою:

$$H_x = b_{tr,x} \sum A_i U_i, \quad (3.1)$$

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

U_i – приведений коефіцієнт теплопередачі i -го елемента оболонки будівлі, Вт/м² · К;

$b_{tr,x}$ – поправочний коефіцієнт.

Розраховуємо узагальнені коефіцієнти теплопередачі трансмісією зовнішніх огороджувальних конструкцій, та заносимо отримані значення до таблиці 3.1. На рисунку 3.1 наведено графічну інтерпретацію відношення втрат тепла через елементи огороджувальних конструкцій.

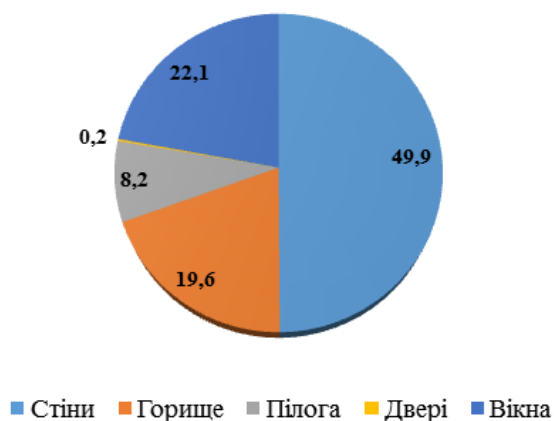


Рисунок 3.1 – Втрати тепла через огороджувальні конструкції

Таблиця 3.1 – Характеристики теплопередачі трансмісією

Огороджувальні конструкції	Площа, м ²	Термічний опір, м ² · К/Вт	Теплопровідність, Вт/м ² · К	b_o	b_{ox}	Нх, опалення Вт/К	Нх, охолодження Вт/К
Зовнішні стіни	4597	0,85	1,17	1	1	5379,92	5379,92
Горище	2844,00	1,34	0,75	0,9	0	2107,28	0,00
Підлога	2844,00	0,32	0,30	1	1	887,14	887,14
Вхідні двері	15,28	0,60	1,67	0,7	1	17,83	25,47
Світлопрозорі конструкції Тип А	1223,78	0,75	1,33	1	1	1631,70	1631,70
Світлопрозорі конструкції Тип В	124,20	0,75	1,33	1	1	165,60	165,60
Світлопрозорі конструкції Тип С	345,60	0,75	1,33	1	1	460,80	460,80
Світлопрозорі конструкції Тип D	11,04	0,75	1,33	1	1	14,72	14,72
Світлопрозорі конструкції Тип Е	82,80	0,75	1,33	1	1	110,40	110,40

З рисунку 3.1 видно, що основний відсоток втрат тепла зовнішніх огорожувальних конструкцій припадає на стіни, вікна та горище. Це пов'язано з тим що значення теплопровідності зовнішніх стін та горище не відповідають мінімально встановленим нормам. Суттєві втрати через вікна спричинені значною площею скління.

Значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією $H_{tr\ adj}$, Вт/К, повинно бути розраховане згідно з [8] за формулою:

$$H_{tr\ adj} = H_D + H_g + H_U + H_A, \quad (3.2)$$

де H_D – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

H_g – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К;

H_U – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К;

H_A – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К.

Тоді загальний коефіцієнт теплопередачі за допомогою трансмісії $H_{tr\ adj}$, Вт/К буде дорівнювати:

– для опалення, Вт/К:

$$H_{tr\ adj, \ 0} = 5379,2 + 2107,3 + 887,1 + 17,83 + 1631,7 + 165,6 + \\ + 460,8 + 14,7 + 110,4 = 10775,4.$$

– для охолодження, Вт/К:

$$H_{tr\ adj, \ 0X} = 5379,2 + 0 + 887,1 + 17,83 + 1631,7 + 165,6 + \\ + 460,80 + 14,7 + 110,4 = 8675,7.$$

Сумарна теплопередача трансмісією Q_{tr} [8], Вт · год:

– для опалення, кВт · год:

$$Q_{tr} = H_{tr\ adj, 0}(\theta_{int, set, H} - \theta_c)t. \quad (3.3)$$

– для охолодження, кВт · год:

$$Q_{tr} = H_{tr\ adj, 0}(\theta_{int, set, C} - \theta_c)t, \quad (3.4)$$

де $\theta_{int, set, H}$ – температура зони будівлі для опалення, $\theta_{int, set, H} = 20^\circ\text{C}$;

$\theta_{int, set, C}$ – температура зони будівлі для охолодження, $\theta_{int, set, C} = 24^\circ\text{C}$;

θ_c – середньомісячна температура зовнішнього середовища, $^\circ\text{C}$;

t – тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год.

Визначаємо сумарну теплопередачу трансмісією для опалення та охолодження, та заносимо отримані результати розрахунків до таблиці 3.9 та 3.10 відповідно.

3.1.2 Характеристики теплопередачі вентиляцією

Теплоутилізаційні установки в системі вентиляції будівлі навчального корпусу ЕТ відсутні.

Значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією $H_{ve, adj}$ [8], Вт/К, розраховують за формулою:

$$H_{ve, adj} = \rho_a c_a (\sum b_{ve, k} q_{ve, k, mn}), \quad (3.5)$$

де $\rho_a c_a$ – теплоємність повітря одиниці об'єму, $0,33 \text{ Вт} \cdot \text{год} / (\text{м}^3 \cdot \text{К})$;

$b_{ve,k}$ – температурний поправочний коефіцієнт для k -ю елемента повітряного потоку, приймаємо $b_{ve,k} = 1$;

$q_{ve,k,mn}$ – усереднена за часом витрата повітря від k -го елемента, м³/год, визначають за формулою згідно з [8]:

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} q_{ve,k}, \quad (3.6)$$

де $f_{ve,t,k}$ – частка роботи k -го елемента повітряного потоку, розрахована як частка від загальної кількості годин на добу;

$q_{ve,k}$ – витрата повітря k -го елемента повітряного потоку, м³/год, визначають згідно з [12] за формулою:

$$q_{ve,k} = n \cdot q_p + A \cdot q_b, \quad (3.7)$$

де n – проектне значення кількості людей;

q_p – норма вентиляції для мешканців, розрахована на особу, л/с;

A – загальна площа приміщення, м²;

q_b – норма вентиляції для викидів від будинку, л/с, м².

Розрахуємо витрату повітря повітряного потоку $q_{ve,k}$, м³/год:

$$q_{ve,k} = (853 \cdot 10,5 + 12127 \cdot 0,7)/3,6 = 62803,4.$$

Усереднена за часом витрата повітря $q_{ve,k,mn}$, м³/год:

$$q_{ve,k,mn} = 62803,4 \cdot 0,5 = 31401,7.$$

Загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією $H_{ve,adj}$, Вт/К:

$$H_{ve,adj} = 0,33 \cdot (1 \cdot 31401,7) = 9847,4.$$

Сумарну теплопередачу вентиляцією [8] Q_{ve} , Вт · год, розраховують для кожного місяця та для кожної z -ої зони за формулами:

– для опалення:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj}(\theta_{int,set,H} - \theta_c)t, \quad (3.8)$$

– для охолодження:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj}(\theta_{int,set,H} - \theta_c)t + \left(\sum f_{ve,extra,j,k} H_{ve,extra,j,k}(\theta_{int,set,H} - \theta_c)\right), \quad (3.9)$$

де $H_{ve,extra,j,k}$ – коефіцієнт теплопередачі додаткової вентиляції, Вт/К;

$f_{ve,extra,j,k}$ – частка роботи додаткової вентиляції ($f_{ve,extra,j,k} = 0$).

Розраховуємо значення сумарної теплопередачі вентиляцією для опалення та охолодження, та заносимо значення до таблиці 3.9 та 3.10 відповідно.

3.1.3 Характеристики внутрішніх теплонадходжень

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел Q_{int} [8], Вт · год, розраховуються за формулою:

$$Q_{int} = \left(\sum \Phi_{int,min,k} \cdot A_f\right) \cdot t, \quad (3.10)$$

де $\Phi_{int,min,k}$ – тепловий потік від k -го внутрішнього джерела, Вт/м;

A_f – кондиціонована площа зони будівлі, м²;

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

Для розрахунків використовуються теплонадходження від людей $\Phi_{int,oc}$, освітлення $\Phi_{int,L}$ та обладнання $\Phi_{int,A}$, їх значення наведено в таблиці 6 [8]. Для навчальних закладів згідно графіку використання теплонадходження становить по 50 год на тиждень, що є 30% від всього часу.

Розраховуємо теплонадходження від внутрішніх теплових джерел, та заносимо отримані значення до таблиці 3.8.

3.1.4 Сонячні теплонадходження

Загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини елемента g_{gl} визначається за формулою [8]:

$$g_{gl} = F_w \cdot g_n, \quad (3.11)$$

де F_w – поправочний коефіцієнт для нерозсіювального скління, приймають $F_w = 0,90$.

$$g_{gl} = 0,9 \cdot 0,7 = 0,63.$$

Понижувальний коефіцієнт затінення $F_{sh,gl}$ для засобів рухомого затінення визначають згідно з формулою [4]:

$$F_{sh,gl} = \frac{[(1-f_{sh,with}) \cdot g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh}]}{g_{gl}}, \quad (3.12)$$

де g_{gl} – загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії скління за відсутності сонячного затінення;

$f_{sh,with}$ – зважені інтервали часу, коли сонячне затінення використовується, наприклад, як функція інтенсивності падаючого сонячного випромінювання, визначається згідно таблиці 11 [8].

g_{gl+sh} – загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії скління за наявності сонячного затінення:

$$g_{gl+sh} = 0,63 \cdot 0,45 = 0,284.$$

Визначаємо понижувальний коефіцієнт затінення $F_{sh,gl}$ для літніх місяців та заносимо отримані результати розрахунків до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Понижувальний коефіцієнт засобів рухомого затінення

Місяць року	$F_{sh,gl}$			
	ПнСх	ПдСх	ПдЗ	ПнЗ
Червень	1	0,951	0,747	0,802
Липень	1	0,901	0,725	0,797
Серпень	1	0,874	0,698	0,808

Значення понижувального коефіцієнту затінення для решти місяців року становить $F_{sh,gl} = 1$.

Еквівалентну площу інсоляції застеленого елемента оболонки A_{sol} [8], м², розраховують за формулою:

$$A_{sol,k} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}, \quad (3.13)$$

де $F_{sh,gl}$ – понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів.;

g_{gl} – загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини елемента;

F_F – частка площі обрамлення, відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції застеленого елемента, приймаємо 0,3;

$A_{w,p}$ – загальна площа проекції застеленого елемента, м².

В таблиці 3.3 наведено площа зашкленних елементів будівлі по сторонам світу визначених згідно проектної документації.

Таблиця 3.3 – Площа зашкленних елементів будівлі

ПнСх	ПдСх	ПдЗ	ПнЗ
487,85 м ²	476,20 м ²	503,70 м ²	483,35 м ²

Розраховуємо еквівалентну площу інсоляції зашкленого елемента оболонки A_{sol} та заносимо отримані значення до таблиці 3.5.

Еквівалентна площа інсоляції непрозорих елементів в A_{sol} , м², розрахована за формулою [8]:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c, \quad (3.14)$$

де R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини, м² · К/Вт, приймають 0,043 м² · К/Вт;

U_c – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини, Вт/ м² · К;

A_c – площа проекції непрозорої частини, м²

$\alpha_{s,c}$ – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною, відрізняється в залежності від матеріалу зовнішніх огорожувальних конструкцій, приймаємо для зовнішніх стін $\alpha_{s,c} = 0,8$ (керамічна плитка) та для даху $\alpha_{s,c} = 0,9$ (руберойд).

В таблиці 3.4 наведено площа непрозорих елементів будівлі по сторонам світу визначених згідно проектної документації.

Таблиця 3.4 – Площа непрозорих елементів будівлі

ПнСх	ПдСх	ПдЗ	ПнЗ	Дах
1112,33 м ²	1171,40 м ²	1145,50 м ²	1164,3 м ²	2669,10 м ²

Розраховуємо еквівалентну площу інсоляції непрозорого елемента оболонки A_{sol} та заносимо отримані значення до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Еквівалентну площу інсоляції елементів оболонки

Місяць	Еквівалентна площа інсоляції закслених елементів $A_{sol}, \text{ м}^2$				Еквівалентна площа інсоляції непрозорих елементів $A_{sol}, \text{ м}^2$				
	ПнСх	ПдСх	ПдЗ	ПнЗ	ПнСх	ПдСх	ПдЗ	ПнЗ	Дах
Січень	211,2	210,0	222,1	213,2	44,8	47,42	46,1	46,9	82,4
Лютий	211,2	210,0	222,1	213,2					
Березень	211,2	210,0	222,1	213,2					
Квітень	211,2	210,0	222,1	213,2					
Травень	211,2	210,0	222,1	213,2					
Червень	211,2	199,6	165,9	171,0					
Липень	211,2	189,2	161,0	169,8					
Серпень	211,2	183,4	154,9	172,1					
Вересень	211,2	210,0	222,1	213,2					
Жовтень	211,2	210,0	222,1	213,2					
Листопад	211,2	210,0	222,1	213,2					
Грудень	211,2	210,0	222,1	213,2					

Додатковий тепловий потік за рахунок теплового випромінювання в атмосферу для відповідного елемента оболонки будівлі Φ_r , Вт, визначають за формулою [8]:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}, \quad (3.15)$$

де R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, приймають 0,043 $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

U_c – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$;

A_c – площа проекції елемента, м^2 ;

h_r – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням поверхні, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$;

$\Delta\theta_{er}$ – середня різниця між температурою зовнішнього повітря та уявною температурою атмосфери, $^{\circ}\text{C}$, для помірних широт приймають = 11 К.

Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні для першого наближення дорівнює $h_r = 5\varepsilon$, згідно з таблицею 10 [8], приймаємо розрахункові значення коефіцієнта теплового випромінювання для зовнішніх огорожувальних конструкцій: стін $\varepsilon = 0,93$ (керамічна плитка), даху $\varepsilon = 0,9$ (руберойд).

Розраховуємо та заносимо отримані значення додаткових теплових потоків до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Додаткових теплових потоків Φ_r

Елементи будівлі	Φ_r , Вт
Північно-східні стіни	2863,2
Південно-східні стіни	3015,2
Південно-західні стіни	2948,2
Північно-західні стіни	2996,9
Дах	4529,7

Сонячні теплонадходження через елемент будівлі $\Phi_{sol,k}$, Вт, визначають за формулою [8]:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}, \quad (3.16)$$

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

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції к-ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, м²;

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м²;

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

$\Phi_{r,k}$ – додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від елемента будівлі, Вт.

Розраховуємо значення сонячних теплонадходжень через елементи будівлі та заносимо отримані результати до таблиці 3.7.

Теплонадходження від сонця до зони будівлі, що розглядається, для кожного місяця Q_{sol} , Вт год. розраховують за формулою [8]:

$$Q_{sol} = (\sum_k \Phi_{sol,mn,k})t, \quad (3.17)$$

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

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

Розраховуємо та заносимо отримані значення теплонадходження від сонця до зони будівлі до таблиці 3.8.

Таблиця 3.7 – Сонячні теплонадходжень через елементи будівлі $\Phi_{sol,k}$

Місяць	Сонячні теплонадходження через засклені елементи				Сонячні теплонадходження через непрозорі елементи				
	$\Phi_{sol,k}$, Вт				$\Phi_{sol,k}$, Вт				
	ПнСх	ПдСх	ПдЗ	ПнЗ	ПнСх	ПдСх	ПдЗ	ПнЗ	Дах
Січень	2745,2	7350,1	8218,9	2771,0	-849,4	143,0	232,0	-889,1	-2141,3
Лютий	5068,1	12180,2	13550,0	5115,8	-356,8	1227,6	1338,8	-373,5	247,1
Березень	8446,9	17430,3	19325,5	8739,5	359,6	2406,6	2537,8	423,3	3870,8
Квітень	11403,3	20160,4	20214,0	11297,3	986,6	3019,7	2722,3	985,8	7988,8
Травень	16471,5	23310,5	23768,1	16200,0	2061,3	3727,0	3460,2	2063,9	12847,9
Червень	18583,2	23520,5	18086,6	14701,9	2509,1	3774,2	3552,4	2532,6	14412,7
Липень	17949,7	22755,4	17876,0	13921,9	2374,8	3868,5	3644,6	2345,1	13918,6
Серпень	14148,6	21191,9	17198,0	11188,1	1568,7	3774,2	3644,6	1548,3	11036,0
Вересень	8658,1	18160,4	21991,0	8739,5	404,4	3161,1	3091,2	423,3	6506,3
Жовтень	4434,6	13650,3	13994,3	4263,1	-491,2	1557,7	1431,0	-561,0	1235,4
Листопад	2111,7	6300,1	6886,1	2131,6	-983,8	-92,8	-44,7	-1029,7	-2141,3
Грудень	1689,4	5880,1	6441,8	1705,3	-1073,3	-187,2	-136,9	-1123,5	-2882,5

Таблиця 3.8 – Кліматичні дані та характеристики внутрішніх і сонячних теплонадходжень

Місяць року	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	t, год	$I_{sol,ПнСх}$ Вт/м ²	$I_{sol,ПдСх}$ Вт/м ²	$I_{sol,ПдЗ}$ Вт/м ²	$I_{sol,ПнЗ}$ Вт/м ²	$I_{sol,гор}$ Вт/м ²	Q_{sol} , кВт·год	Q_{int} , кВт·год
Січень	-6,6	744	13	35	37	13	29	13079,8	53705,3
Лютий	-5,8	672	24	58	61	24	58	25534,2	48508,0
Березень	-0,8	744	40	83	87	41	102	47274,1	53705,3
Квітень	8,1	720	54	96	91	53	152	56720,3	51972,9
Травень	14,6	744	78	111	107	76	211	77309,3	53705,3
Червень	17,9	720	88	112	109	86	230	73204,8	51972,9
Липень	19,5	744	85	114	111	82	224	73399,1	53705,3
Серпень	18,4	744	67	112	111	65	189	63462,1	53705,3
Вересень	13	720	41	99	99	41	134	51217,5	51972,9
Жовтень	6,7	744	21	65	63	20	70	29398,6	53705,3
Листопад	0,4	720	10	30	31	10	29	9458,74	51972,9
Грудень	-4,3	744	8	28	29	8	20	7672,97	53705,3

3.1.5 Динамічні параметри

Внутрішня теплоємність будівлі C_m , Вт · год/К, [8]:

$$C_m = C \cdot A_f, \quad (3.18)$$

де C – внутрішня теплоємність будівлі, приймаємо 80 Вт · год/ (м² · К);

A_f – кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м².

$$C_m = 80 \cdot 12127 = 970160.$$

Часова константа зони будівлі τ , год, розраховують за формулою [8]:

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (3.19)$$

де C_m – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт · год/К;

$H_{tr,adj}$ – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К;

$H_{ve,adj}$ – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$H_{ve,extra,adj}$ – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції, Вт/К, приймають $H_{ve,extra,adj} = 0$ – для режиму опалення та для режиму охолодження.

– для режиму опалення

$$\tau = \frac{970160}{10775,4 + 10362,6 + 0} = 45,90.$$

– для режиму охолодження

$$\tau = \frac{970160}{8675,7 + 10362,6 + 0} = 50,96.$$

Безрозмірний числовий параметр a_H для опалення знаходиться за формулою [8]:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad (3.20)$$

де $a_{H,0}$ – довідковий безрозмірний числовий параметр, який дорівнює 1,0;

τ – часова константа зони будівлі, год;

$\tau_{H,0}$ – довідкова часова константа, яку приймають 15 год.

$$a_H = 1 + \frac{45,9}{15} = 4,06.$$

Безрозмірний числовий параметр a_c для охолодження знаходиться за формулою [8]:

$$a_c = a_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}}, \quad (3.21)$$

де $a_{c,0}$ – довідковий безрозмірний числовий параметр, який дорівнює 1,0;

τ – часова константа зони будівлі, год;

$\tau_{c,0}$ – довідкова часова константа, яку приймають 15 год.

$$a_c = 1 + \frac{50,9}{15} = 4,40.$$

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень $\eta_{H,gn}$ та $\eta_{C,gn}$ для режимів опалення та охолодження відповідно, розраховується для кожного місяця за формулами наведеними в [8], розрахунок здійснюється на підставі співвідношення надходжень і втрат теплоти для опалення γ_H та охолодження γ_C .

Розрахунок безрозмірних коефіцієнт використання надходжень для опалення $\eta_{H,gn}$ та охолодження $\eta_{C,gn}$ наведено в таблиці 3.9 та 3.10.

3.1.6 Енергопотреба на опалення та охолодження

Енергопотребу для опалення $Q_{H,nd}$, кВт · год, за умови постійного опалення, розраховують за формулою [8]:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}, \quad (3.22)$$

де $Q_{H,nd,cont}$ – енергопотреба для постійного опалення будівлі, кВт · год;

$Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі опалення, кВт · год;

$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі опалення, кВт · год;

$\eta_{H,gn}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень.

Енергопотребу для охолодження $Q_{C,nd}$, кВт · год, за умови постійного охолодження, розраховують за формулою [8]:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,ht} - \eta_{C,gn} \cdot Q_{C,gn}, \quad (3.23)$$

де $Q_{C,nd,cont}$ – енергопотреба для постійного охолодження будівлі, кВт · год;

$Q_{C,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі охолодження, кВт · год;

$Q_{C,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі охолодження, кВт · год;

$\eta_{C,gn}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень.

Результати проведених розрахунків енергопотреби на опалення та охолодження для будівлі навчального корпусу ЕТ наведено в таблиці 3.9 та 3.10. На рисунку 3.2 наведено енергопотреба в опаленні та охолодженні для навчального корпусу ЕТ по місяцям року.

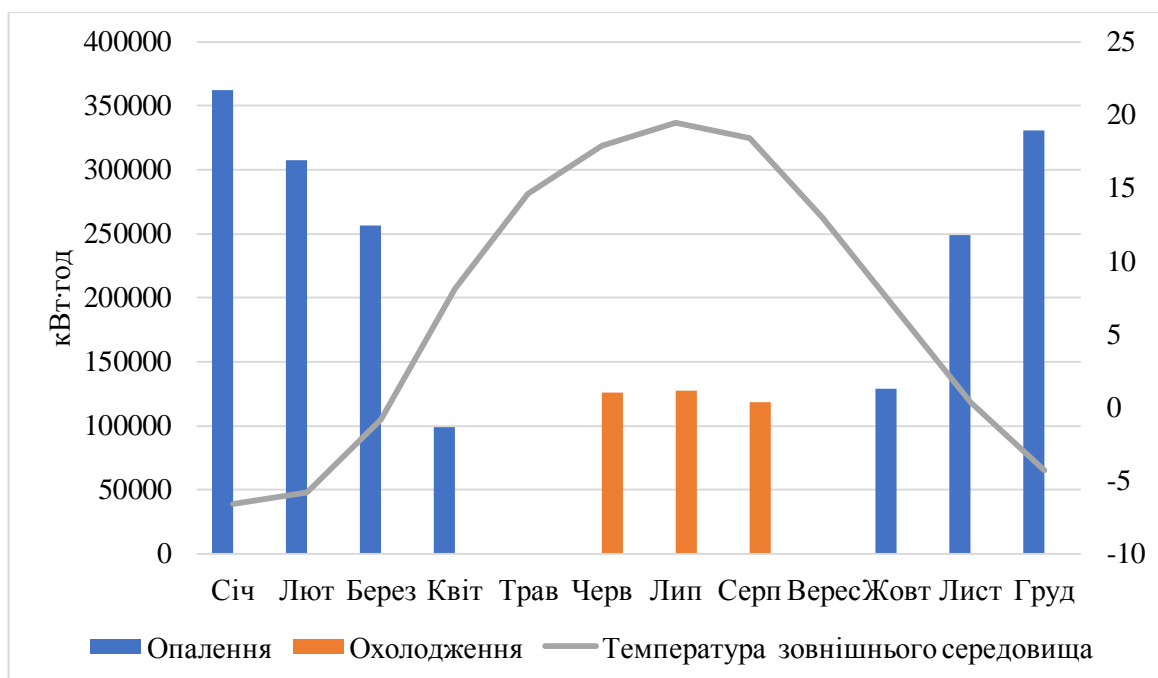


Рисунок 3.2 – Енергопотреба в опаленні та охолодженні

Таблиця 3.9 – Енергопотреба для опалення

Місяць	$Q_{H,tr}$, кВт·год	$Q_{H,ve}$, кВт·год	$Q_{H,ht}$, кВт·год	$Q_{H,int}$, кВт·год	$Q_{H,sol}$, кВт·год	$Q_{H,gn}$, кВт·год	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$, кВт·год
Січень	213 249,2	205 079	418 328,5	53 705,3	13 080	66 785,1	0,16	0,84	362172,8
Лютий	186 819,3	179 662	366 481,4	48 508,0	25 534	74 042,2	0,20	0,80	307308,7
Березень	166 751,2	160 363	327 114,0	53 705,3	47 274	100 979,4	0,31	0,70	256710,8
Квітень	46 161,8	88 786	134 948,2	51 972,9	56 720	108 693,1	0,81	0,33	98771,5
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	72 229,6	102 540	174 769,2	53 705,3	29 399	83 103,9	0,48	0,55	128940,7
Листопад	152 062,2	146 237	298 298,8	51 972,9	9 459	61 431,6	0,21	0,80	249438,44
Грудень	194 810,3	187 347	382 157,3	53 705,3	7 673	61 378,3	0,16	0,84	330606,23

Згідно результатів розрахунку річна енергопотреба на опалення складає $Q_{H,nd} = 1733949,14$ кВт·год.

Таблиця 3.10 – Енергопотреба для охолодження

Місяць	$Q_{H,tr}$, кВт·год	$Q_{H,ve}$, кВт·год	$Q_{H,ht}$, кВт·год	$Q_{H,int}$, кВт·год	$Q_{H,sol}$, кВт·год	$Q_{H,gn}$, кВт·год	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$, кВт·год
Січень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Лютий	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Березень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Квітень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	12 701,3	45 512	58 213,7	51 972,9	73 204,8	125 177,6	2,15	-0,02	126094,3
Липень	12 102,7	34 694	46 796,5	53 705,3	73 399,1	127 104,4	2,72	0,00	127315,6
Серпень	13 555,0	43 175	56 729,6	53 705,3	63 462,1	117 167,4	2,07	-0,02	118274,4
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Листопад	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Грудень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Згідно результатів розрахунку річна енергопотреба на охолодження складає $Q_{C,nd} = 371684,3$ кВт·год.

3.1.7 Визначення питомого енергоспоживання при опаленні

Розрахунок загальних тепловтрат підсистем тепловіддачі/виділення $Q_{H,em,is}$, кВт · год, визнається за формулою [13]:

$$Q_{H,em,is} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} \right) \cdot Q_{H,em,out}, \quad (3.24)$$

де $Q_{H,em,out}$ – енергія виходу від підсистеми тепловіддачі/виділення, дорівнює енергопотребі для опалення $Q_{H,em,out} = Q_{Hnd}$, кВт · год;
 f_{hydr} – коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи;
 f_{im} – коефіцієнт, що враховує застосування періодичного теплового режиму приміщення;
 f_{rad} – коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку;
 η_{em} – загальний рівень ефективності для тепловіддавальної складової системи у приміщенні, що визначають за формулою [13]:

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})]}, \quad (3.25)$$

де η_{str} – складова загального рівня ефективності, яка враховує вертикальний профіль температури повітря приміщення;
 η_{ctr} – складова загального рівня ефективності, яка враховує регулювання температури приміщення;
 η_{emb} – складова загального рівня ефективності, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень (для вбудованих систем).

Енергія входу, необхідна для підсистеми тепловіддачі впродовж місяця $Q_{H,em,in,i}$, кВт · год, розраховується за формулою [13]:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,is} + Q_{Hnd}, \quad (3.26)$$

Утилізовані тепловтрати $Q_{H,dis,ls,rvd,i}$, кВт · год, розраховується за формулою [13]:

$$Q_{H,dis,ls,rvd,i} = Q_{H,dis,ls,rbl,i} \cdot 0,9 \cdot \eta_{H,gn,i}, \quad (3.27)$$

$\eta_{H,gn,i}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення впродовж місяця.

Тепловтрати підсистем розподілення впродовж місяця $Q_{H,dis,ls,i}$, кВт · год, розраховують за формулою [13]:

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \Psi_{L,j} \cdot (\theta_{m,i} \cdot \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot t_{op,an,i}, \quad (3.28)$$

де $\Psi_{L,j}$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі j -то трубопроводу, Вт/(м · К), визначається відповідно до типових значень лінійного коефіцієнта теплопередачі;

$\theta_{m,i}$ – середня температура теплоносія в зоні упродовж місяця, °С, приймається згідно температурного графіку;

$\theta_{i,j}$ – температура навколишнього середовища, °С;

L_j – довжина j -то трубопроводу, м;

$t_{op,an,i}$ – години опалення упродовж місяця, год;

j – індекс, що позначає трубопроводи з однаковими граничними умовами.

Неутилізовані тепловтрати підсистеми розподілення упродовж місяця, $Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$, кВт · год, розраховується за формулою [13]:

$$Q_{H,dis,ls,nrvd,i} = Q_{H,dis,ls,nrbl,i} + (Q_{H,dis,ls,rbl,i} + Q_{H,dis,ls,rvd,i}), \quad (3.29)$$

де $Q_{H,dis,ls,nrbl,i}$ – неутилізаційні тепловтрати, кВт · год;

$Q_{H,dis,ls,rbl,i}$ – утилізаційні тепловтрати, кВт · год;

$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ – утилізовані тепловтрати, кВт · год.

Енергія входу в підсистему розподілення упродовж місяця $Q_{H,dis,in,i}$, кВт · год, розраховується за формулою [13]:

$$Q_{H,dis,in,i} = Q_{H,dis,ls,nrvd,i} + Q_{H,dis,out,ii}, \quad (3.30)$$

Загальні тепловтрати підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж місяця $Q_{Hgen,ls,i}$, кВт · год, розраховуються за допомогою формули [13]:

$$Q_{Hgen,ls,i} = Q_{H,gen,out,i} \cdot (1 - \eta_{H,gen}) / \eta_{H,gen}, \quad (3.31)$$

де $Q_{H,gen,out,i}$ – енергія входу в підсистему розподілення упродовж місяця $Q_{H,gen,out,i} = Q_{H,dis,in,i}$, кВт · год;

$\eta_{H,gen}$ – показники ефективності підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти, що приймаються згідно з даними значень сезонної ефективності виробництва/генерування теплоти.

Річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use}$, кВт · год, розраховується за формулою [13]:

$$Q_{H,use} = \sum Q_{H,gen,out,i} + \sum Q_{Hgen,ls,i}, \quad (3.32)$$

де $Q_{H,gen,out,i}$ – енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж місяця, кВт · год;

$Q_{Hgen,ls,i}$ – загальні тепловтрати підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж місяця, кВт · год.

Результати розрахунків річного енергоспоживання при опаленні наведено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Річне енергоспоживання при опаленні

Місяць	$Q_{H,em,is}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvbl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ln,i}$ кВт·год	$Q_{Hgen,ls,i}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
Січень	94798,7	456971,6	67710,0	1028594,9	778397,2	317907,7	774879,2	474926,0	1249805,2
Лютий	80438,1	387746,8	59609,1	902603,5	649204,1	313008,5	700755,2	429495,1	1130250,4
Березень	67194,1	323904,9	55282,2	816287,0	512206,8	359362,4	683267,3	418776,8	1102044,1
Квітень	25853,4	124624,9	16588,8	221400,0	66320,5	171668,3	296293,1	181599,0	477892,2
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	33750,2	162690,9	25329,0	345915,4	171683,0	199561,4	362252,3	222025,6	584277,9
Листопад	65290,5	314728,9	50595,8	740361,6	529969,8	260987,6	575716,5	352858,5	928575,1
Грудень	86536,2	417142,4	62781,7	944403,8	713876,7	293308,8	710451,2	435437,8	1145889,1

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use} = 6618734$ кВт·год.

Питоме енергоспоживання при опаленні $EP_{H,use}$, кВт · год/м³, [13]:

$$EP_{H,use} = Q_{H,use}/V, \quad (3.33)$$

де $Q_{H,use}$ – річне енергоспоживання будівлі на опалення, кВт · год;

V – кондиціонований (опалювальний) об'єм будівлі, м³.

Питоме енергоспоживання при опаленні $EP_{H,use}$, кВт · год/м³:

$$EP_{H,use} = \frac{6618734}{40021} = 165,38.$$

3.1.8 Визначення питомого енергоспоживання при охолодженні

Річні тепловтрати підсистемою розподілення охолодження $Q_{C,dis,ls}$, кВт · год, визначають за формулою [13]:

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} \cdot \left((1 - \eta_{C,ce}) + (1 - \eta_{C,ce,sens}) + (1 - \eta_{C,d}) \right), \quad (3.34)$$

де $Q_{C,nd}$ – річні енергопотреби для охолодження, кВт · год;

$\eta_{C,ce}$ – ступінь утилізації теплообміну системі охолодження;

$\eta_{C,ce,sens}$ – ступінь явної утилізації теплообміну при охолодженні в системі охолодження;

$\eta_{C,d}$ – ступінь утилізації підсистеми розподілення.

Енергію входу $Q_{C,dis,in}$, кВт · год, яка необхідна для підсистеми розподілення визначають за формулою [13]:

$$Q_{C,dis,in} = Q_{C,dis,out,i} + Q_{C,dis,ls}, \quad (3.35)$$

де $Q_{C,dis,out,i}$ – енергію виходу для підсистеми розподілення, приймають рівною енергопотребі для охолодження у даному місяці $Q_{C,nd}$, кВт · год;
 $Q_{C,dis,ls}$ – річні тепловтрати підсистемою розподілення охолодженого повітря, кВт · год.

Загальна енергія виходу з підсистем виробництва та акумулювання при охолодженні $Q_{C,gen,out}$, кВт · год, знаходимо за формулою [13]:

$$Q_{C,gen,out} = Q_{C,dis,in} / \eta_{C,oc} \quad (3.36)$$

$\eta_{C,oc}$ – ефективність автоматичного управління/регулювання, залежно від класу ефективності системи управління/регулювання, приймається 0,82.

Загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання $Q_{C,gen,ls}$, кВт · год, розраховуються за формулою [13]:

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} \cdot (1 - \eta_{C,gen}) / \eta_{C,gen} \quad (3.37)$$

$\eta_{C,gen}$ – показник ефективності підсистеми виробництва/генерування та акумулювання, приймається 2,25.

Річне енергоспоживання при охолодженні $Q_{C,use}$, кВт · год, [13]:

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,ls} + Q_{C,gen,out} \quad (3.38)$$

де $Q_{C,gen,ls}$ – загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання, кВт · год;

$Q_{C,gen,out}$ – енергія виходу від підсистем виробництва/генерування та акумулювання, кВт · год.

Результати розрахунків річного енергоспоживання при охолодженні наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Річне енергоспоживання при охолодженні

Місяць	$Q_{c,nd}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{c,dis,in}$ кВт·год	$Q_{c,gen,out}$ кВт·год	$Q_{c,gen,is}$ кВт·год	$Q_{c,use}$ кВт·год
Січень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Лютий	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Березень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Квітень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	126094,3	29001,6	155095,9	189141,4	-105078,5	84062,8
Липень	127315,6	29282,5	156598,2	190973,4	-106096,3	84877,1
Серпень	118274,4	27203,1	145477,5	177411,6	-98562,1	78849,6
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Листопад	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Грудень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при охолодженні $Q_{c,use} = 247789,6$ кВт·год.

Питоме енергоспоживання при охолодженні $EP_{C,use}$, кВт · год/м³, розраховується за формулами [13]:

$$EP_{C,use} = Q_{C,use}/V, \quad (3.39)$$

де $Q_{C,use}$ – річне енергоспоживання при охолодженні, кВт · год;

V – кондиціонований (опалювальний) об'єм будівлі, м³.

$$EP_{H,use} = \frac{247789,6}{40021} = 6,19.$$

3.1.9 Визначення класу енергетичної ефективності будівлі

Загальний показник питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води EP , кВт · год/м³, розраховується за формулою [13]:

$$EP = EP_{H,use} + EP_{C,use} + EP_{DHW,use}, \quad (3.40)$$

де $EP_{H,use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні, кВт · год/м³;

$EP_{C,use}$ – питоме енергоспоживання при охолодженні, кВт · год/м³;

$EP_{DHW,use}$ – питоме енергоспоживання гарячого водопостачання, кВт · год/м³.

$$EP = 165,38 + 6,19 = 171,57.$$

Тобто, відповідно до таблиці 4 [13] та отриманих результатів розрахунків клас енергоефективності будівлі навчального корпусу ЕТ СумДУ становить «G». Енергетичний сертифікат наведено в додатку Г.

3.1.10 Енергоспоживання системи вентиляції

Електрична потужність вентиляторів P_{el} , кВт[13]:

$$P_{el} = SFP \cdot V_l / 3600, \quad (3.41)$$

де SFP – питома потужність вентилятора системи механічної вентиляції, кВт/(м³/с), приймається 1;

V_l – об'ємна витрата повітря в системі механічної вентиляції, м³/год.

$$P_{el} = 1 \cdot 32016,8 / 3600 = 8,89.$$

Енергоспоживання припливного та витяжного вентиляторів системи вентиляції $Q_{V,sys,fan}$, кВт · год, розраховується за формулою [13]:

$$Q_{V,sys,fan} = P_{el} \cdot t_v, \quad (3.42)$$

t_v – час роботи системи вентиляції, год.

$$Q_{V,sys,fan} = 8,89 \cdot 8760 = 77907,55.$$

Питоме енергоспоживання при охолодженні $EP_{C,use}$, кВт · год/м³, розраховується за формулами [13]:

$$EP_{V,use} = Q_{V,sys,fan} / V, \quad (3.43)$$

де V – кондиціонований (опалювальний) об'єм будівлі, м³.

$$EP_{V,use} = \frac{77907,55}{40021} = 1,95.$$

3.1.11 Розрахунок питомого енергоспоживання при освітленні

Енергія, необхідна для забезпечення заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення, та енергія для управління/регулювання освітленням в будівлі W_P , кВт · год, розраховуються за формулою [13]:

$$W_P = (P_{em} + P_{pc}) \cdot A_f, \quad (3.44)$$

де P_{em} – загальна встановлена питома потужність заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення, кВт · год/м²;

P_{pc} – загальна встановлена питома потужність систем управління освітлення зони в час, коли лампи не використовують, кВт · год/м²;

A_f – кондиціонована (опалювана) площа будівлі, м².

$$W_P = (1 + 5) \cdot 12127 = 72762.$$

Обсяг енергії, необхідної для виконання функції штучного освітлення в будівлі W_L , кВт · год, розраховується за формулою [13]:

$$W_L = (P_N \cdot F_C) \cdot ([t_D \cdot F_0 \cdot F_D + t_N \cdot F_0]) \cdot A_f / 1000, \quad (3.45)$$

де P_N – питома потужність встановленого штучного освітлення в будівлі, Вт/м;

F_C – постійний коефіцієнт яскравості, що відноситься до використання встановлення освітлення при функціонуєчому контролі сталої освітленості зони;

F_0 – коефіцієнт використання освітлення, який є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення до періоду використання зони;

F_D – коефіцієнт природного освітлення, який є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення до наявного природного освітлення зони;

t_D – час використання природного освітлення протягом року, год;

t_N – час використання природного освітлення протягом року, год;

A_f – кондиціонована (опалювана) площа будівлі, м.

$$W_L = (16,37 \cdot 1) \cdot ((1800 \cdot 1 \cdot 1) + (200 \cdot 1)) \cdot 12127/1000 = 397037,9.$$

Річний обсяг енергоспоживання при освітленні (W_{use}), кВт · год [13]:

$$W_{use} = W_L + W_P, \quad (3.46)$$

де W_L – енергія, необхідна для виконання штучного освітлення, кВт · год;

W_P – енергія, необхідна для забезпечення заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення, та енергія для управління/регулювання освітленням в будівлі, кВт · год.

$$W_{use} = 397037,9 + 72762 = 469799,9.$$

Питоме енергоспоживання при освітленні ($EP_{W,use}$), кВт · год/м² [13]:

$$EP_{W,use} = W_{use}/A_f, \quad (3.47)$$

де W_{use} – річний обсяг енергоспоживання при освітленні кВт · год;

A_f – кондиціонована (опалювана) площа будівлі, м.

$$EP_{W,use} = \frac{469799,9}{12127} = 38,7.$$

3.1.12 Проведення розрахунків первинної енергії та викидів парникових газів

Первинна енергія E_p , кВт · год, обчислюється для кожного енергоносія та розраховується за формулою [13]:

$$E_p = \sum(E_{del,I} \cdot f_{p,del}), \quad (3.48)$$

де $E_{del,I}$ – поставлена енергія, кВт · год;

$f_{p,del}$ – фактор первинної енергії для і-го поставленого енергоносія.

$$E_p = 77907 \cdot 2,3 + 469799 \cdot 2,3 + 6618734 \cdot 1,3 + 247789 \cdot 1,3 = 10186208.$$

Питомий показник споживання первинної енергії e_p , кВт · год/м², розраховується за формулою [13]:

$$e_p = E_p/A_f, \quad (3.49)$$

$$e_p = \frac{10186208}{12127} = 839,9.$$

Маса викидів парникових газів m_{CO_2} , кг, розраховується з поставленої та експортованої енергії для кожного енергоносія за формулою [13]:

$$m_{CO_2} = \sum(E_{del,I} \cdot K_{del,I})/1000, \quad (3.50)$$

де $E_{del,I}$ – поставлена енергія і-го енергоносія, кВт · год;

$K_{del,I}$ – коефіцієнт викидів CO₂, г/кВт · год.

$$m_{CO_2} = \frac{77907 \cdot 420 + 469799 \cdot 420 + 6618734 \cdot 260 + 247789 \cdot 260}{1000} = 2015333.$$

Питомий показник викидів парникових газів M_{CO_2} , кг/м², розраховується за формулою [13]:

$$M_{CO_2} = m_{CO_2}/A_f, \quad (3.51)$$

де m_{CO_2} – маса викидів парникових газів, кг;

A_f – кондиціонована (опалювана) площа будівлі, м².

Тоді питомий показник викидів парникових газів буде дорівнювати:

$$M_{CO_2} = \frac{2015333}{12127} = 166,2.$$

3.2 Заходи з підвищення енергетичної ефективності

В таблиці 3.13 наведено перелік рекомендованих для впровадження в навчальному корпусі ЕТ СумДУ енергозберігаючих заходів.

Таблиця 3.13 – Енергозберігаючі заходи

Захід	Пакет А	Пакет Б
Теплоізоляція зовнішніх стін (100 мм)	•	
Теплоізоляція зовнішніх стін (150 мм)		•
Теплоізоляція даху (250 мм)	•	
Теплоізоляція даху (300 мм)		•
Встановлення індивідуального теплового пункту з модернізацією системи опалення	•	•
Вентиляція з рекуперацією тепла	•	•
Заміна існуючого освітлення світлодіодним освітленням	•	•

Розрахунки проводяться з прив'язкою до діючих тарифів на енергоносії, щоб визначити загальну суму витрат на них та знаходження економії коштів від застосування енергозберігаючих заходів. В таблиці 3.14 наведено діючі тарифи на енергоносії для університету.

Таблиця 3.14 – Тарифи на енергоносії

Енергоносій	Сума, грн
Електроенергії, кВт · год	2,83
Централізоване тепlopостачання на опалення, кВт · год	1,09

3.2.1 Теплоізоляція зовнішніх стін

Стіни будівлі знаходяться в задовільному стані, але їх теплозахисні властивості не відповідають сьгоднішнім мінімально встановленим нормам. Осереднений за всією площею коефіцієнт теплопередачі стін становить $U_{\text{стіна}} = 1,17 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, а згідно з [6] має дорівнювати $U_{\text{стіна}}^{\text{макс}} = 0,30 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Пропонується провести заходи по теплоізоляції зовнішніх стін будівлі з використанням мінеральної вати. Для пакету А пропонується використовувати ізоляцію товщиною 100 мм, а для пакету Б – 150 мм.

Теплопровідність мінеральної вати становить $0,045 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Монтаж теплоізоляції здійснюється після попереднього очищення та підготовки поверхонь.

Згідно з [14] вартість проведення утеплення 1 м^2 фасаду будівлі мінеральною ватою, з урахуванням усіх необхідних матеріалів (утеплювач, клейова суміш, дюбелі, сітка та інше) та оплати праці, для теплоізоляції товщиною 100 мм становить 1300 грн, а для 150 мм – 1450 грн.

В таблиці 3.15 наведено техніко-економічний аналіз запропонованих заходів, розрахунок економії наведено в таблицях В.1 та В.2 додатку В.

Таблиця 3.15 – Техніко-економічний аналіз заходів з утеплення стін

Параметр	Величина	Значення	
		Пакет А	Пакет Б
U-значення до	Вт/м ² · К	1,17	
U-значення після	Вт/м ² · К	0,3	0,24
Енергоспоживання до	кВт · год	6618734	
Економія	кВт · год	343925	362569
Економія	%	5,20	5,48
Інвестиційні параметри			
Кількість	м ²	4594	
Інвестиції	грн	5972200	6661300

3.2.2 Теплоізоляція перекриття горища

Заходи з утеплення частини горища раніше уже проводилися, але навіть після утеплення його теплозахисні властивості не відповідають мінімально встановленим нормам. Коефіцієнт теплопередачі горища будівлі становить $U_{\text{горище}} = 0,75 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, а згідно з [6] повинен дорівнювати $U_{\text{горище}}^{\text{макс}} = 0,17 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Пропонується провести заходи по теплоізоляції горища з використанням мінеральної вати. Для пакету А пропонується використовувати ізоляцію товщиною 250 мм, а для пакету Б – 300 мм.

Теплопровідність мінеральної вати становить $0,045 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Монтаж теплоізоляції здійснюється після попереднього очищення та підготовки поверхонь.

Згідно з [14] вартість робіт з утеплення 1 м² горища мінеральною ватою, з урахуванням усіх необхідних матеріалів та оплати праці, для теплоізоляції товщиною 250 мм становить 650 грн, а для 300 мм – 720 грн.

В таблиці 3.16 наведено техніко-економічний аналіз запропонованих заходів з утеплення суміщеного перекриття, розрахунок економії наведено в таблицях В.3 та В.4 додатку В.

Таблиця 3.16 – Техніко-економічний аналіз заходів з утеплення перекриття горища

Параметр	Величина	Значення	
		Пакет А	Пакет Б
U-значення до	Вт/м ² · К	0,75	
U-значення після	Вт/м ² · К	0,17	0,14
Енергоспоживання до	кВт · год	6618734	
Економія	кВт · год	146305	152634
Економія	%	2,21	2,31
Інвестиційні параметри			
Кількість	м ²	2844	
Інвестиції	грн	1848600	2047680

3.2.3 Встановлення індивідуального теплового пункту з модернізацією системи опалення

В будівлі рекомендується встановити новий індивідуальний тепловий пункт та здійснити модернізацію системи опалення. Встановлення індивідуальної теплової підстанції з автоматичним регулюванням температури є одним з основних заходів з підвищення енергоефективності. Ця система дозволяє адаптувати споживання тепла будівлею до її поточного фактичного рівня споживання залежно від зовнішньої температури.

Тепловий пункт повинен включати: циркуляційні насоси з частотним регулюванням; датчики температури подавального та зворотного трубопроводів; датчик та контролер зовнішньої температури; датчики тисків та контролер об'ємного потоку; клапани, необхідні для нормальної роботи (закриваючі, запобіжні); фільтри та сепаратори бруду (де це можливо).

Стан труб та радіаторів опалення в будівлі є незадовільний, вони зношені, відсутня теплоізоляція, пошкодженні корозією та мають накип, що запобігає нормальній роботі системи. Трапляються витoki води з системи, що призводить до падіння тиску в ній. Рекомендовано здійснити заміну старої системи опалення на нову та модернізовану. Для цього необхідно:

здійснити заміну та ізоляцію труб розподілення опалення; виконати гідравлічне балансування системи; замінити радіатори; встановлення термостатичних регуляторів.

В таблиці 3.16 наведено техніко-економічний аналіз заходу з встановлення індивідуального теплового заходу з модернізацією системи опалення, вартість взята відповідно до [15]. Розрахунок очікуваної економії від впровадження даного заходу наведено в таблиці В.5 додатку В.

Таблиця 3.16 – Техніко-економічний аналіз заходу з модернізації системи опалення

Параметр	Величина	Значення	
Енергоспоживання до	кВт · год	6618734	
Економія	кВт · год	4523426	
Економія	%	68,34	
Інвестиційні параметри			
Обладнання	Ціна за одиницю, грн	Кількість одиниць	Загалом, грн
Встановлення індивідуального теплового пункту	1135000	1	1135000
Алюмінієві радіатори опалення	3300	1040	3428700
Демонтаж старої системи опалення (робота)	868000	1	868000
Встановлення нової системи опалення (робота)	2674300	1	2674300
Трубопровідна арматура та трубопровід	580	4580	2656400
Балансування системи	350000	1	350000
Утеплення трубопроводів	300	4580	1374000
Всього			12486400

3.2.4 Встановлення рекуператорів тепла

Даний захід передбачає реконструкцію та очищення витяжних вентиляційних каналів, встановлення в будівлі вентиляційного обладнання,

яке буде здійснювати рекуперацію тепла. Це сприятиме подачі до будівлі свіжого тепла та призведе до зменшення втрат тепла через систему вентиляції.

В таблиці 3.17 наведено техніко-економічний аналіз заходу з встановлення вентиляційних установок з рекуперацією повітря, необхідних для проведення заходу, їх вартість взята відповідно до [16]. Розрахунок економії від даного заходу наведено в таблиці В.6 додатку В.

Таблиця 3.17 – Техніко-економічний аналіз заходу з встановлення рекуператорів тепла

Параметр	Величина	Значення	
Енергоспоживання до	кВт · год	6618734	
Економія	кВт · год	420466	
Економія	%	6,38	
Інвестиційні параметри			
Обладнання	Ціна за одиницю, грн	Кількість, шт.	Інвестиції, грн
Вентиляційна установка з рекуперацією тепла, 3000 м ³ /год	144445	4	577780
Вентиляційна установка з рекуперацією тепла, 2000 м ³ /год	107000	1	107000
Реконструкція і прочищення витяжних вентиляційних каналів	1650000	1	1650000
Витяжний вентилятор 100 м ³ /год	980	8	7840
Всього			2334850

3.2.5 Модернізація системи освітлення

Даний захід передбачає заміну неефективних ламп розжарювання та флуоресцентних ламп, на які припадає основне навантаження системи освітлення, на нове та більш ефективне світлодіодні панельні засоби освітлення. Нове освітлення повинно зменшити встановлену потужність та

водночас забезпечити необхідний рівень освітлення в навчальних приміщеннях.

Місця встановлення нових засобів освітлення визначаються на етапі проектування, це необхідно для того, щоб система освітлення відповідала всім діючим вимогам. В таблиці 3.18 наведено параметри існуючої системи освітлення та системи після її модернізації.

Таблиця 3.18 – Параметри системи освітлення

Тип ламп	До		Після	
	Кількість, шт.	Потужність, кВт · год	Кількість, шт.	Потужність, кВт · год
Лампи розжарювання	1405	84,3	-	-
Флуоресцентні лампи	5767	103,8	-	-
LED освітлення	1045	10,5	3235	38,8
Навантаження	8217	198,6	3235	38,8
Системні показники та параметри				
Навантаження від освітлення, Вт/м ²			16,37	3,2
Споживання електроенергії, кВт/м ²			7,85	1,53
Загальне споживання, кВт			95147	18599
Витрати на освітлення, грн			256897	50217

В таблиці 3.19 наведено техніко-економічний аналіз заходу з модернізації системи освітлення та її інвестиційні параметри. Вартість обладнання взята з [17].

Таблиця 3.19 – Система освітлення

Параметр	Величина	Значення
Споживання електроенергії до	кВт · год	95147
Економія	кВт · год	76548
Економія	%	80,50
Інвестиційні параметри		
Обладнання	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн
Компактні LED світильники	3234	260
		Інвестиції, грн
		840840

3.2.6 Результати розрахунків ефекту від впровадження заходів

В таблиці 3.20 наведено результати розрахунку економії енергоносіїв, коштів та терміну окупності пакету А. На рисунку 3.3 наведено відношення , а на 3.4 рисунку зображено отриманий від них ефект.

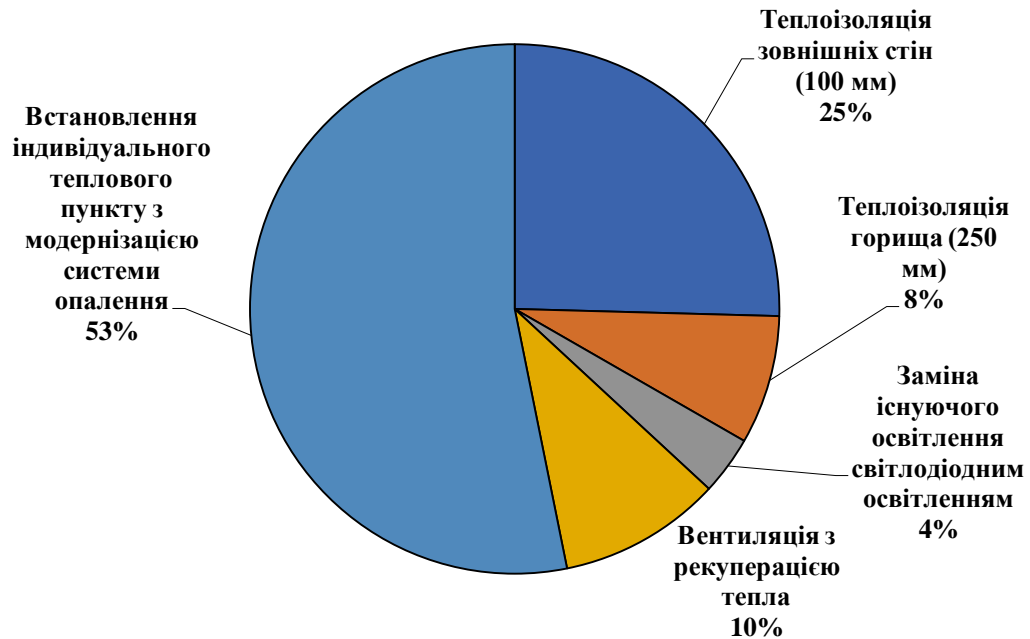


Рисунок 3.3 – Інвестиції пакету А

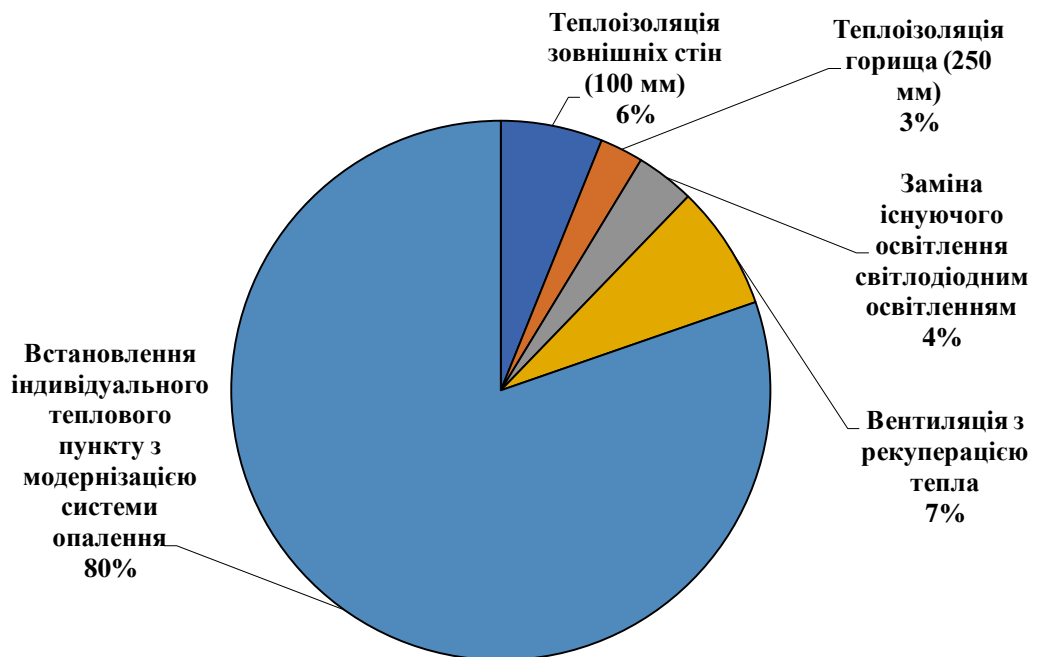


Рисунок 3.4 – Економія пакету А

Таблиця 3.20 – Енергоефективні заходи пакету А

Захід з енергозбереження	Загальні інвестиції, грн	Економія енергії		Економія коштів, грн	Термін окупності, роки
		Теплової, кВт · год	Електричної, кВт · год		
Теплоізоляція зовнішніх стін (100 мм)	5972200	343925	-	375478	15,9
Теплоізоляція горища (250 мм)	1848600	146305	-	159728	11,6
Встановлення індивідуального теплого пункту з модернізацією системи опалення	12486400	4523426	-	4938419	2,5
Вентиляція з рекуперацією тепла	2334850	420466	-	459041	5,1
Заміна існуючого освітлення світлодіодним освітленням	840840	-	76548	216631	3,9
Всього	23482890	5434122	76548	6149295	3,8

Загальні сума інвестицій пакету А складає 23482890 грн, а термін окупності становить 3,8 роки. Розрахунок енергозбереження від даного пакету заходів наведено в таблиці В.7 додатку В.

В таблиці 3.21 наведено результати розрахунку економії енергоносіїв, коштів та терміну окупності пакету Б. На рисунку 3.5 наведено відношення , а на 3.6 рисунку зображено отриманий від них ефект.

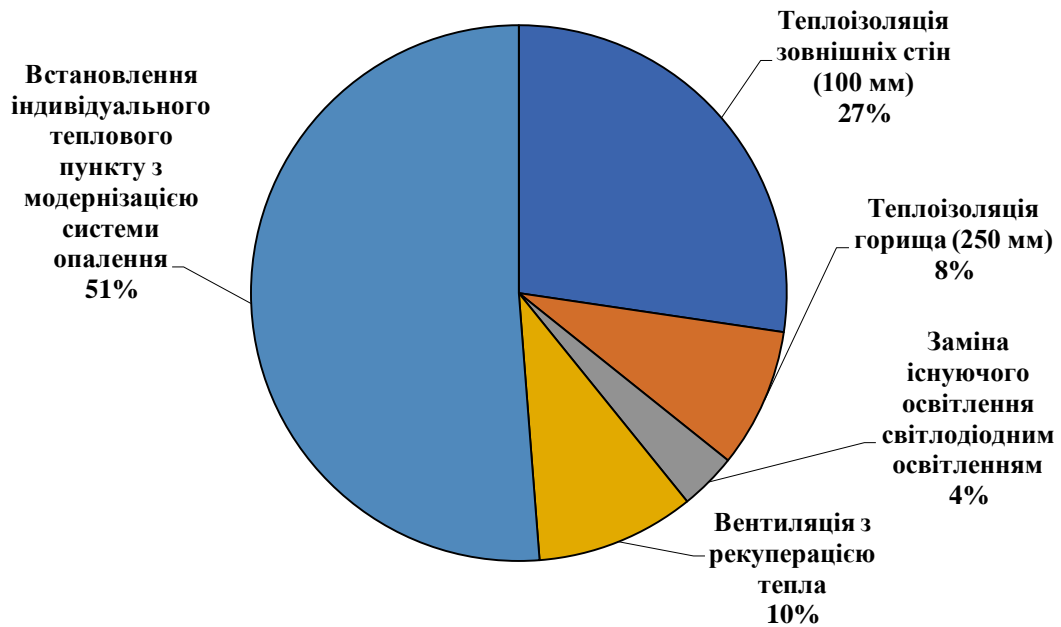


Рисунок 3.5 – Інвестиції пакету Б

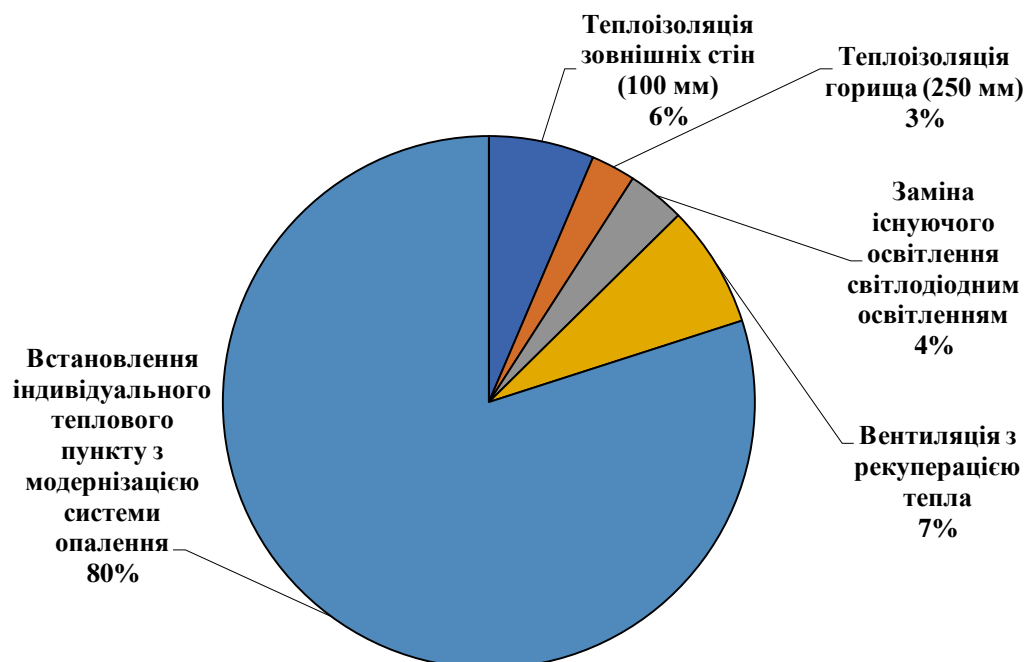


Рисунок 3.6 – Економія пакету Б

Таблиця 3.21 – Енергоефективні заходи пакету Б

Захід з енергозбереження	Загальні інвестиції, грн	Економія енергії		Економія коштів, грн	Термін окупності, роки
		Теплової, кВт · год	Електричної, кВт · год		
Теплоізоляція зовнішніх стін (150 мм)	6661300	362569	-	395832	16,8
Теплоізоляція горища (300 мм)	2047680	152634	-	166637	12,3
Встановлення індивідуального теплого пункту з модернізацією системи опалення	12486400	4523426	-	4938419	2,5
Вентиляція з рекуперацією тепла	2334850	420466	-	459041	5,1
Заміна існуючого освітлення світлодіодним освітленням	840840	-	76548	216631	3,9
Всього	24371070	5459095	76548	6176559	3,9

Загальні сума інвестицій пакету Б складає 24371070 грн, а термін окупності становить 3,9 роки. Розрахунок енергозбереження від даного пакету заходів наведено в таблиці В.8 додатку В.

Заходи з підвищення енергоефективності в цілому сприяють зменшенню споживання енергії та витрат на енергію, а також зменшенню викидів CO_2 .

В таблиці 3.22 наведено дані щодо рівня викидів парникових газів до та після впровадження заходів з пакету А.

Таблиця 3.22 – Викиди парникових газів – пакет А

Паливо	Початкові викиди CO_2 , кг/ м ²	Кінцеві викиди CO_2 , кг/ м ²	Скорочення викидів CO_2 , кг/ м ²
Електроенергія	18,9	7,9	11
Централізоване опалення	141,9	23,6	118,3
Всього	160,8	31,5	129,3

На рисунку 3.7 наведено ефект зменшення викидів парникових газів від впровадження енергозберігаючих заходів пакету А.

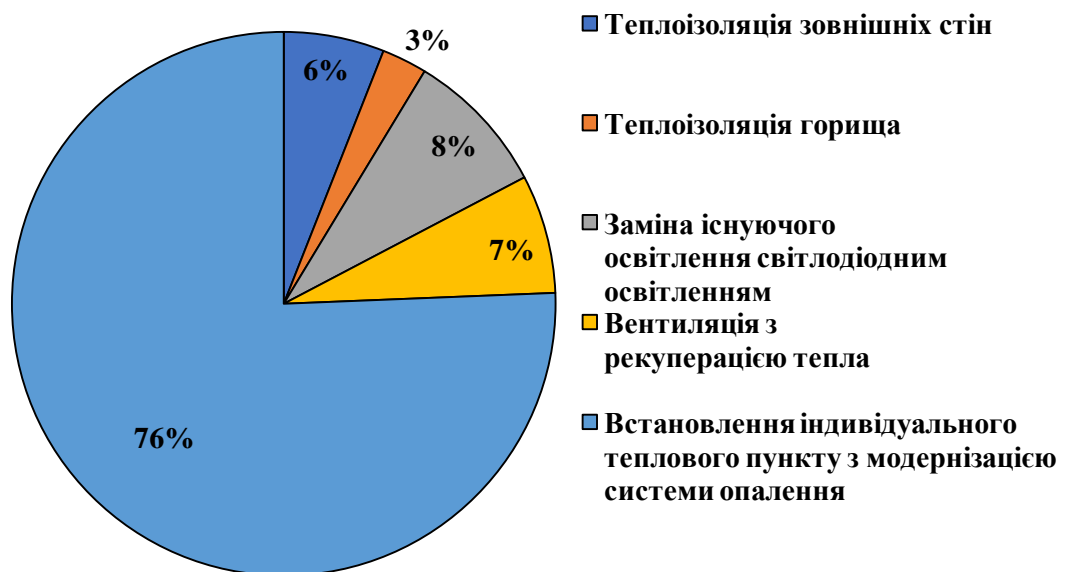


Рисунок 3.7 – Викиди парникових газів – пакет А

В таблиці 3.23 наведено дані щодо рівня викидів парникових газів до та після впровадження заходів з пакету Б.

Таблиця 3.23 – Викиди парникових газів – пакет Б

Паливо	Початкові викиди CO_2 , кг/ м ²	Кінцеві викиди CO_2 , кг/ м ²	Скорочення викидів CO_2 , кг/ м ²
Електроенергія	18,9	7,9	11,0
Централізоване опалення	141,9	23,2	118,7
Всього	160,8	31,1	129,7

На рисунку 3.8 наведено ефект зменшення викидів парникових газів від впровадження енергозберігаючих заходів пакету Б.

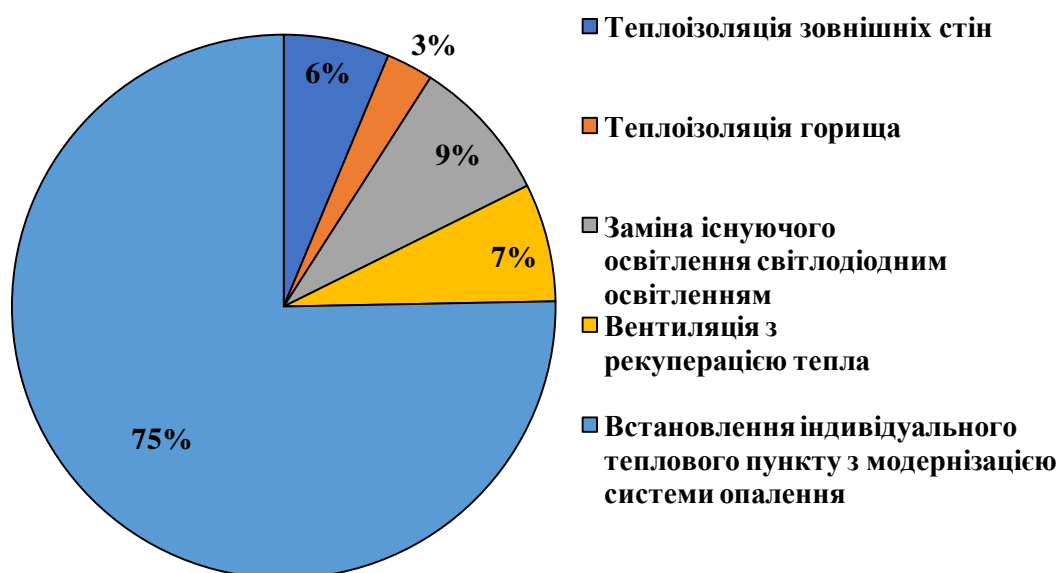


Рисунок 3.7 – Викиди парникових газів – пакет А

3.2.7 Оцінка ефективності інвестицій

Дана оцінка є одним з підходів до аналізу інвестиційних проектів. Вона дозволить зробити висновки, щодо інвестицій, порівняти їх і відсіяти недостатньо ефективні на основі розрахунку дисконтованого терміну окупності

DPP, чистої приведеної вартості NPV, внутрішньої норми рентабельності IRR та індексу прибутковості PI.

Проведемо оцінку ефективності інвестицій пакетів А та Б:

1) Пакет А. В таблиці 3.24 приведено розрахунок значення чистої приведеної вартості NPV для пакету А.

Таблиця 3.24 – Чиста приведена вартість пакету А

Рік	Інвестиція	Економія	Коефіцієнт дисконтування	Дисконтовані грошові потоки	Дисконтоване сальдо
1	-23482890	6149295	1,000	-23482890	-23482890
2	0	6149295	0,909	5590268	-17892622
3	0	6149295	0,826	5082062	-12810560
4	0	6149295	0,751	4620056	-8190503
5	0	6149295	0,683	4200051	-3990452
6	0	6149295	0,621	3818228	-172224
7	0	6149295	0,564	3471117	3298893

З таблиця 3.24 видно, що дисконтований термін окупності NPV пакету А складає 6,5 років.

Індекс прибутковості PI пакету А дорівнює:

$$PI_A = \frac{23482890 + 3298893}{23482890} = 1,14$$

Внутрішня норма рентабельності IRR пакету А становить 14,67 %.

2) Пакет Б. В таблиці 3.25 приведено розрахунок значення чистої приведеної вартості NPV для пакету Б.

Таблиця 3.24 – Чиста приведена вартість пакету Б

Рік	Інвестиція	Економія	Коефіцієнт дисконтування	Дисконтовані грошові потоки	Дисконтоване сальдо
1	-24371070	6176559	1,000	-24371070	-24371070
2	0	6176559	0,909	5615054	-18756016

Продовження таблиці 3.25

3	0	6176559	0,826	5104594	-13651422
4	0	6176559	0,751	4640540	-9010882
5	0	6176559	0,683	4218673	-4792209
6	0	6176559	0,621	3835157	-957052
7	0	6176559	0,564	3486507	2529455

З таблиця 3.24 видно, що дисконтований термін окупності NPV пакету Б складає 6,3 роки.

Індекс прибутковості PI пакету Б дорівнює:

$$PI_B = \frac{24371070 + 2529455}{24371070} = 1,10$$

Внутрішня норма рентабельності IRR пакету Б становить 13,47%.

3.4 Висновки до розділу

В даному розділі однією з поставлених та виконаних задач було проведення розрахунку річної енергопотреби будівлі на опалення $Q_{H,nd} = 1733949$ кВт · год та охолодження $Q_{C,nd} = 371684$ кВт · год. Також було визначено значення загального показника питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, що склав $EP = 171,57$ кВт · год/м³. Згідно з [13] отримане значення відповідає класу «G» енергоефективності будівлі. Енергетичний сертифікат наведено в додатку Д.

Розроблено пакети енергозберігаючих заходів, основна задача яких підвищити клас енергоефективності будівлі. Пакет А включає в себе: теплоізоляцію зовнішніх стін мінеральною ватою 100 мм, теплоізоляцію горища мінеральною ватою 250 мм, встановлення індивідуального теплового пункту з модернізацією системи опалення, встановлення рекуператорів тепла,

заміна існуючого освітлення світлодіодним освітленням. Загальна сума інвестицій становить 23482890 грн, простий термін окупності становить 3,8 роки.

До пакету Б входять заходи: теплоізоляція зовнішніх стін мінеральною ватою 150 мм, теплоізоляція горища мінеральною ватою 300 мм, встановлення індивідуального теплового пункту з модернізацією системи опалення, встановлення рекуператорів тепла, заміна існуючого освітлення світлодіодним освітленням. Загальна сума інвестицій становить 24371070 грн, простий термін окупності становить 3,9 роки.

РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНИХ ТОЧКОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ

Згідно [6] теплопровідне включення – елемент огорожувальної конструкції, що розташований в її об'ємі паралельно напрямку теплового потоку, який має термічний опір, менший від термічного опору основного поля більш ніж на 20 %.

Розрізняють теплопровідні включення матеріальні та геометричні. Матеріальні теплопровідні включення обумовлені різною теплопровідністю будівельних елементів. Відносяться до відповідного типу непрозорі огорожувальної конструкції [18]:

- з'єднувальні елементи;
- дюбелі;
- кронштейни;
- закладні деталі;
- арматурні сітки;
- віконні відкоси;
- стики між елементами непрозорі огорожувальної конструкції;
- елементи жорсткості.

Геометричні теплопровідні включення визначаються конструктивними особливостями будівлі, до них відносяться міжповерхові перекриття, колони, пілони, кутові примикання, конструктивне поєднання парапету та покриття, перекриття над неопалюваними підвалами в цокольній частині [18].

4.1 Створення тривимірної моделі

Для проведення моделювання теплових включень, за допомогою програмного продукту SolidWorks була створена тривимірна модель вузла

улаштування дюбелю для кріплення теплоізоляційного шару на фасадній системі. Модель приведено на рисунку 4.1.

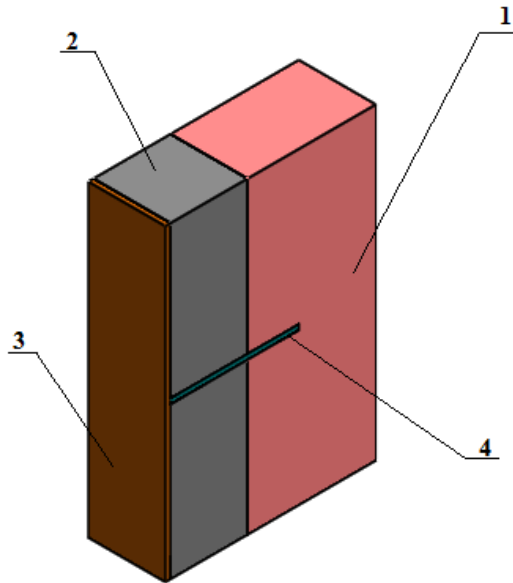


Рисунок 4.1 – Тривимірна модель вузла улаштування дюбелю для кріплення теплоізоляції: 1–цегляна кладка; 2–теплоізоляції; 3–штукатурка; 4–дюбель.

Габаритні розміри моделі наближені до реальних: шар штукатурки становить 10 мм, теплоізоляції (мінеральна вата) – 150 мм, цегляна кладка – 250 мм. Також в даній конструкції присутній дюбель кріплення довжиною в 250 мм та діаметром в 10 мм. Для спрощення тривимірної моделі товщиною шапки дюбеля було знехтувано.

Необхідна довжина дюбеля L , мм, призначеного для кріплення теплоізоляції розраховується за наступною формулою [19]:

$$L = H + I + K + W, \quad (4.1)$$

де H – товщина теплоізоляційного шару, мм;

I – заглиблення дюбеля в стіну (не менше 50 мм), мм;

K – товщина шару клею, на який кріпиться утеплювач, мм

W – запас на кривизну стіни, мм.

Приймаємо, що стіна є абсолютно рівною та кривизна зовсім відсутня, також відсутній шар клею. Тоді необхідна довжина дюбеля L , мм, буде дорівнювати:

$$L = 150 + 60 = 210$$

4.2 Побудова розрахункової сітки

Для виконання чисельного дослідження за допомогою програмного продукту ANSYS, а саме модулю Steade-State Thermal була побудована розрахункова сітка. Для цього раніше отримана тривимірна модель була імпортована в даний програмний модуль (рис 4.2).

Для проведення повноцінного розрахунку необхідно здійснити побудову сітки з можливістю її подальшого налаштування. Існують декілька різновидів розрахункової сітки, а саме структурована та неструктурована [20].

Розрахунковий модуль Steade-State Thermal дозволяє створювати елементи сітки різних типів, такі як: вузлові елементи, лінії, та оболонки. Зазвичай в якості комірки на поверхні виступають два типа елементів – трикутник та чотирикутник, а для об'ємної геометрії притаманні багатогранники різної форми: гексаедр, тетраедр, призма, піраміда [21].

Розрахункові сітки можуть бути гібридними і включати одночасно елементи різних типів. Для правильної оцінки розрахунку потрібна комфортна сітка, тобто потрібно впорядкувати її так, що б у місцях переміщення (деформації) сітка була дрібніше і правильно орієнтована. Для побудови сітки на поверхнях моделей існує три різні методи [18]:

1) Quadrilateral Dominant. В даному методі будуються переважно чотирикутники, приклад наведено на рисунку 4.3 [18]. Форма елементів

визначається опцією Free Face Mesh Type, яка має два режими. При виборі режиму All Quad сітковий препроцесор примусово розбиває область на чотирикутні елементи незалежно від якості окремих елементів. При виборі режиму Quad / Tri будується сітка переважно з чотирикутних елементів, проте в областях де не можливе використання елементів такої форми, здійснюється заміна на елементи трикутної форми з більш високою якістю.

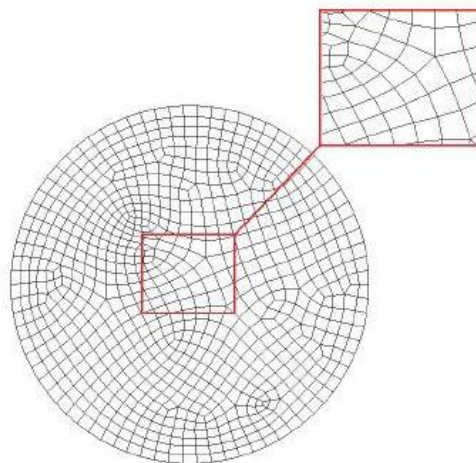


Рисунок 2.3 – Метод Quadrilateral Dominant [14]

2) Метод Triangle Meshing дозволяє розбивати область неструктурованої розрахункової сітки на елементами, які мають трикутну форму, приклад наведено на рисунку 4.4 [18].

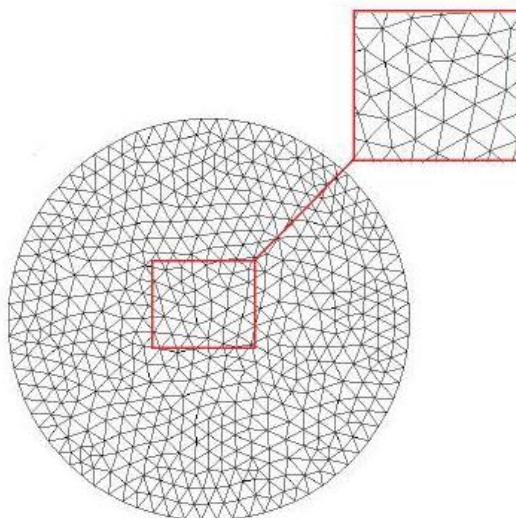


Рисунок 4.4 – Метод Triangle Meshing [14]

3) Метод MultiZone Quad/Tri, дозволяє проводити автоматичну декомпозицію складної геометрії на окремі блоки з наступною побудовою на кожному блоці структурованої (там де можливо) або неструктурованої сітки в залежності від обраних налаштувань, приклад побудови наведено на рисунку 4.5 [18]. Форма елементів сітки визначається опцією Free Face Mesh Type з трьома режимами: All Quad, Quad/Tri і All Tri (аналог методу Triangle Meshing).

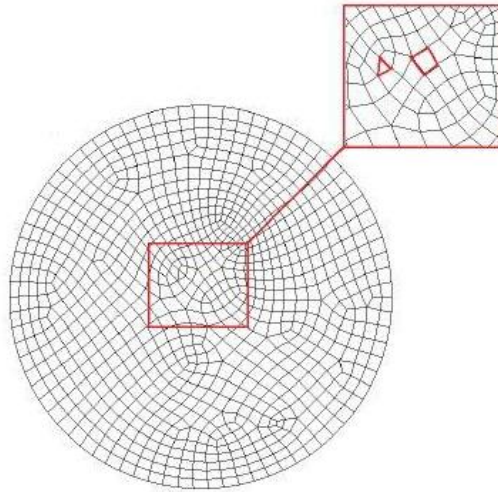


Рисунок 4.5 – Метод MultiZone Quad / Tri [14]

Так як геометрія даної моделі є поєднання декількох елементів, то побудова сітки здійснюється автоматично з використанням методу MultiZone Quad / Tri, необхідно лише задати розміри елементів. Для даної моделі розмір елементів становить 3 мм, він був підібраний експериментально.

Основні параметри даної розрахункової сітки:

- кількість елементів $N_{ел.} = 154208$ шт;
- кількість вузлів $N_{в.} = 568181$ шт.

В результаті отримуємо структуровану сітку в процесі побудови якої була проведена автоматична декомпозиція геометрії на характерні блоки, що дозволяє побудувати структуровану сітку з прямокутних елементів для однієї частини і залишити неструктуровану сітку для іншої частини моделі.

На рисунку 4.6 представлений вигляд розрахункової сітки отриманий після її автоматичного генерування в модулі Steade-State Thermal.

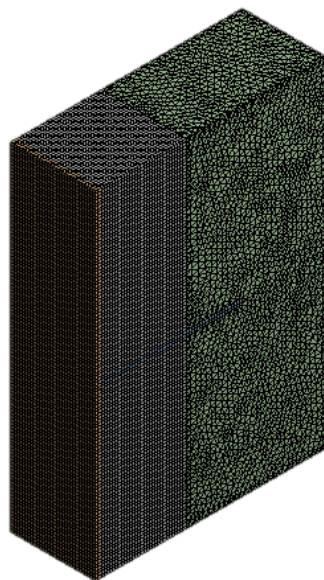


Рисунок 4.6 – Розрахункова сітки теплопровідного точкового включення

4.3 Опис розрахункової моделі

Для проведення розрахунку необхідно створити розрахункову модель з заданими параметрами області. Для цього заходимо в розділ Engineering Data та обираємо потрібні нам матеріали, а при необхідності додаємо нові та вказуємо їх параметри. Для проведення подальшого аналізу було запропоновано розглянути декілька різних матеріалів з різними значеннями коефіцієнта теплопровідності. Обрані найбільш розповсюджені матеріали з яких виготовляють дюбелі, а саме: пластик (поліетилен, нейлон, поліпропілен) та метал. Матеріали та їх параметри наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри матеріалів

№	Назва матеріалу	Теплопровідність λ , Вт/м ² · К
1	Цегляна кладка	0,7
2	Теплоізоляція (мінеральна вата)	0,045
3	Штукатурка	0,9

Продовження таблиці 4.1

4	Поліетилен	0,42
5	Поліаміди (нейлон)	0,25
5	Полістирол	0,028
7	Сталь	58

Наступним кроком задаємо граничні умови для елементів розрахункової моделі. В даному модулі є дві основні теплові граничні умови: температура та тепловий потік. На зовнішній поверхні стіни даної розрахункової стіни задається температура зовнішнього середовища зі значенням $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Далі задаємо тепловий потік, значення якого підбираємо експериментально, так щоб температура внутрішньої поверхні стіни була в діапазоні від 18 до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. В даному випадку величина теплового потоку становить $2e - 0,006\text{ Вт/мм}^2$. На рисунку 4.7 наведено застосовані до розрахункової моделі граничні умови.

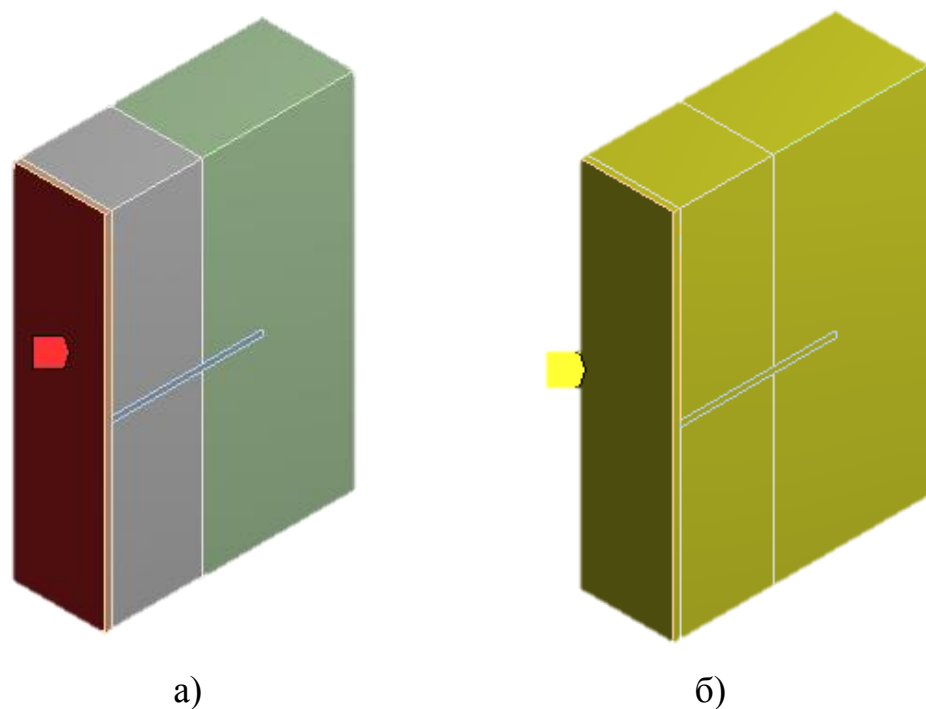


Рисунок 4.7 – Граничні умови: а–температура зовнішньої поверхні стіни; б–тепловий потік

Після того як розрахункова модель була повністю створена та задані всі необхідні параметри здійснюється її розрахунок.

4.4 Результати розрахунку моделей в модулі Steade-State Thermal

В результаті обчислень в модулі Steade-State Thermal були отримано розподіл температури по об'єму розрахункової моделі з різними матеріалами дюбелів, а саме: метал, поліетилен, нейлон та полістирол (рис. 4.9–4.13).

Для порівняння та проведення аналізу наступних результатів розрахунків було проведено обчислення моделі стіни без утеплювачу. На рисунку 4.8 наведено розподіл температури на даній розрахунковій моделі.

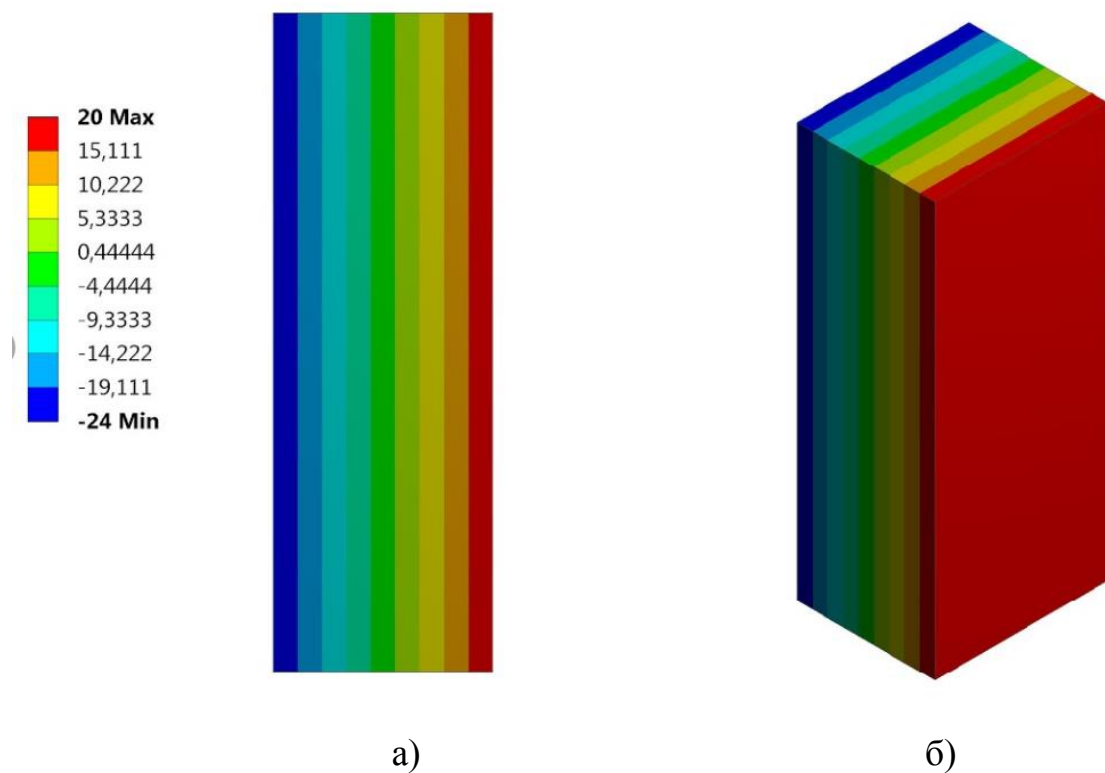


Рисунок 4.8 – Розподіл температури по стіни без теплоізоляції:

а) по площині моделі; б) по об'єму моделі.

За результатами проведеного розрахунку та рисунка 4.8 видно, що при встановленій температурі в середині приміщення 20°C та температурі зовнішнього середовища -24°C на стіні в якій відсутня теплоізоляція відбувається рівномірне розподілення температури по всьому її об'єму, що в

свою чергу призводить до промерзань та може викликати погіршення технічного стану огорожувальних конструкцій.

На рисунку 4.9 приведено розподіл температури по об'єму та площині моделі утепленої стіни з металевим дюбелем.

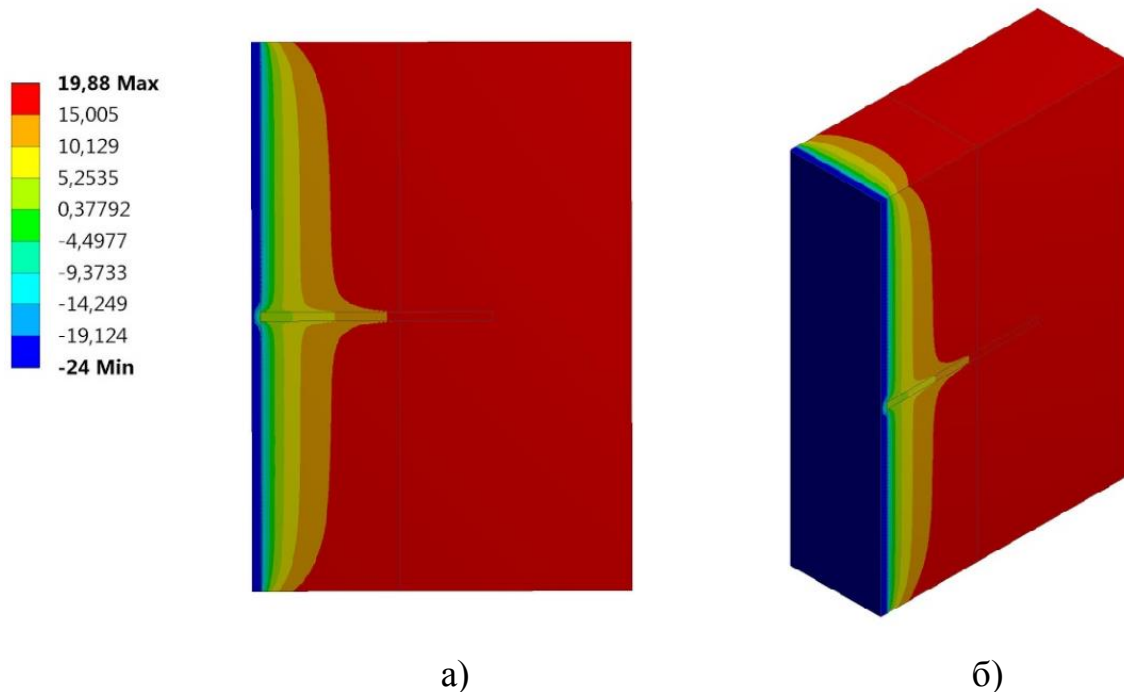


Рисунок 4.9 – Розподіл температури по утепленій стіни з металевим дюбелем: а) по площині моделі; б) по об'єму моделі.

Аналіз рисунка 4.9 показує, що при заданій температурі зовнішнього середовища -24°C , температурі в середині приміщення, яка дорівнює приблизно 20°C та наявній теплоізоляції на огорожувальних конструкції в порівняння з рисунком 4.8 температурний розподіл змінився та став більш плавний. Тепловий потік ззовні проникає лише до середини утеплюючого матеріала та ефекту промирзання не відбувається, втрати тепла значно зменшилися. Стержень металевого дюбеля виступає містком холоду та проводить тепловий потік ззовні в середину конструкції, це пов'язано з тим, що метал гарно проводить тепло.

На рисунку 4.10 приведено розподіл температури по об'єму та площині моделі стіни з пластиковим (поліетиленовим) дюбелем.

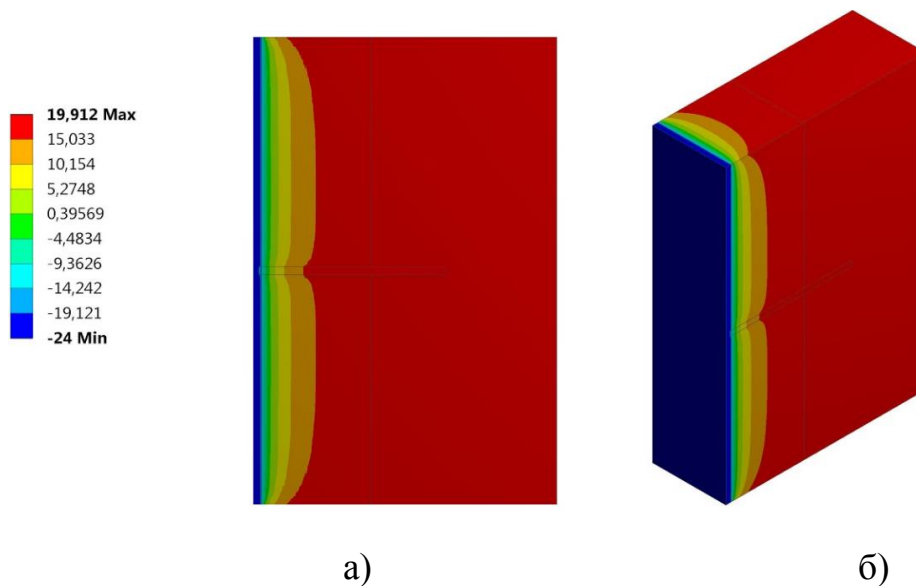


Рисунок 4.10 – Розподіл температури по утепленій стіні з поліетиленовим дюбелем: а) по площині моделі; б) по об’єму моделі.

З рисунка 4.10 видно, що при зовнішній температурі в $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ температурний розподіл дещо змінився, а тепловий потік ззовні не проникає в глибину утепленої стіни по поліетиленовому дюбелю в порівнянні з дюпелем виготовленого з металу.

На рисунку 4.11 приведено розподіл температури по об’єму та площині моделі стіни з поліамідним (нейлоновим) дюбелем.

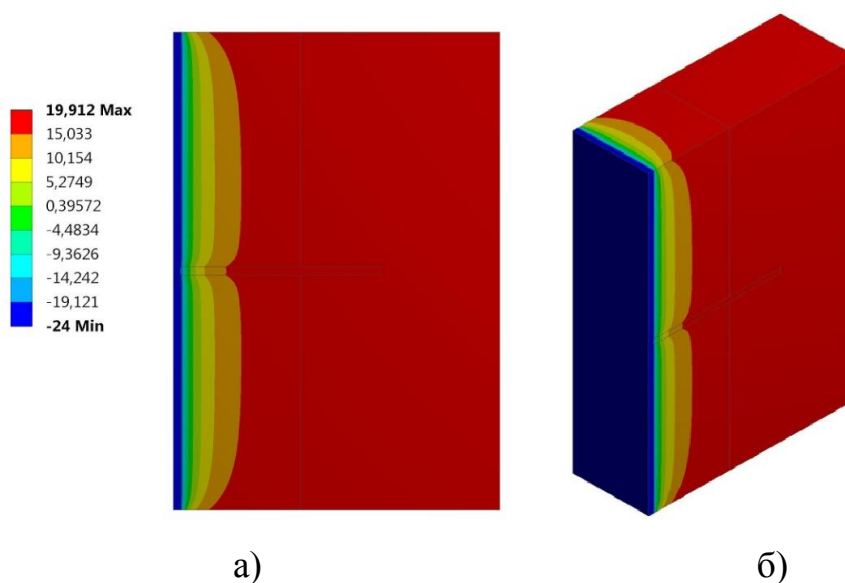


Рисунок 4.11 – Розподіл температури по утепленій стіні з нейлоновим дюбелем: а) по площині моделі; б) по об’єму моделі.

Як бачимо з рисунку 4.11 отримані результати температурного розподілу моделі де встановлено нейлоновий дюбель є досить схожими з попередньою розрахунковою моделлю, де застосовується поліетиленового дюбеля. Це пов'язано з тим, що дані матеріали мають схожі властивості .

На рисунку 4.12 приведено розподіл температури по об'єму та площині моделі стіни з дюбелем зробленого з полістиролу.

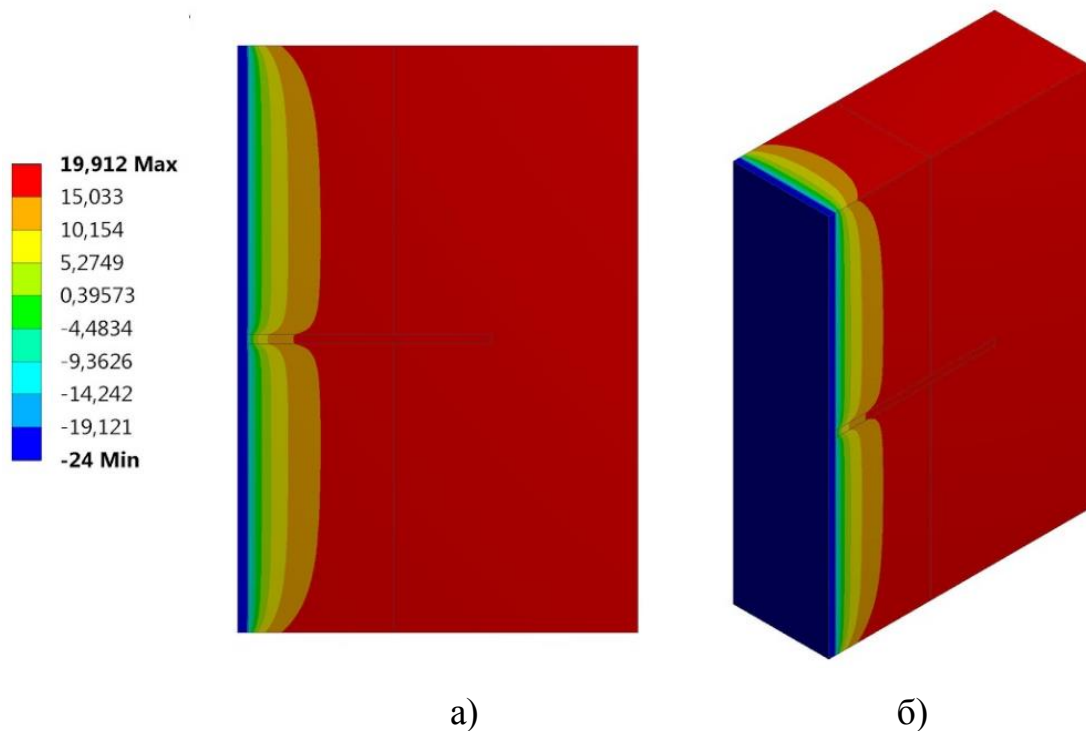


Рисунок 4.12 – Розподіл температури по утепленій стіни з полістироловим дюбелем: а) по площині моделі; б) по об'єму моделі.

З рисунку 4.2 видно, що температурний розподіл зазнав змін в порівнянні з попередніми розрахунками, тепловий потік ззовні в даному випадку проникає в середину конструкції найгірше, це пов'язано з гарними тепло ізолюючими властивостями полістиролу.

Візуально проаналізувавши отримані результати розрахунків можна стверджувати, що металевий дюбель показав найгірші результати, тому що метал добре проводить тепло і тому сприяє утворенню містків холоду в огорожувальних конструкціях. Найкращий результат був отриманий в моделі де дюбель виготовлений із полістиролу.

Тепловтрати через стіни будівлі $Q_{\text{стн}}$, кВт, розраховуються за наступною формулою [6]:

$$Q_{\text{стн}} = \frac{F_{\text{стн}}}{R_{\Sigma \text{пр}}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н.с.}}) \cdot 10^{-3}, \quad (4.2)$$

де $F_{\text{стн}}$ – площа стіни, м²;

$R_{\Sigma \text{пр}}$ – коефіцієнт теплопередачі стінки, °С ;

$t_{\text{в}}$ – внутрішня температура, °С ;

$t_{\text{н.с.}}$ – внутрішня температура, °С ;

Будова стіни зображена на рисунку 4.13, а товщина та теплопровідність матеріалів приведено в таблиці 4.2.

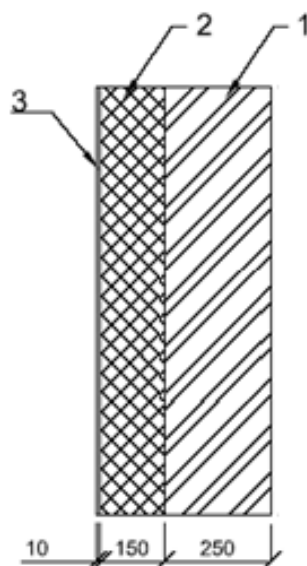


Рисунок 4.13 – Будова стіни: 1 – цегляна кладка; 2 – шар теплоізоляції; 3 – опоряджувальна штукатурка.

Таблиця 4.2 – Матеріали шарів стіни та їх характеристика

№	Назва матеріалу	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/м ² · К
1	Цегляна кладка	0,25	0,7
2	Теплоізоляція (мінеральна вата)	0,15	0,045
3	Штукатурка	0,01	0,9

Коефіцієнт теплопередачі стінки без утеплювача R_n , Вт/м² · К [6]:

$$R_n = \frac{1}{8,7} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{1}{23} = 0,52.$$

Отримане значення коефіцієнта теплопередачі відповідно до [6] не відповідає мінімально встановленим нормам.

Коефіцієнт теплопередачі стінки з утеплювачем R_y , Вт/м² · К [6]:

$$R_y = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,9} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{1}{23} = 3,86.$$

Отримане значення коефіцієнта теплопередачі відповідно до [6] відповідає мінімально встановленим нормам.

В якості розмірів стіни $F_{стн.}$, приймаємо значення розміри нашої розрахункової моделі. Внутрішню температуру t_b приймаємо рівну 20 °С. Тоді знайдемо значення тепловтрат через стіни будівлі до утеплення $Q_{стн.н}$, кВт буде дорівнювати:

$$Q_{стн.н} = \frac{0,09}{0,52} \cdot (20 - (-24)) \cdot 10^{-3} = 0,0076 \text{ кВт}$$

Далі розраховуємо значення тепловтрат через стіни будівлі після утеплення $Q_{стн.у}$:

$$Q_{стн.у} = \frac{0,09}{3,86} \cdot (20 - (-24)) \cdot 10^{-3} = 0,001 \text{ кВт}$$

Проаналізувавши отримані данні ми бачимо, що тепловтрати через стіну де відсутнє утеплення в понад 7,6 разів більші ніж тепловтрати через утеплену стіну.

4.5 Висновки до розділу

В даному розділу було проведено побудову та розрахунок моделі теплопровідних теплових включень, з використанням дюбелів виконаних з різних матеріалів, а саме: метал, поліетилен, нейлон та поліпропілен.

Проаналізувавши отримані результати розрахунків можна стверджувати, що використання металевого дюбеля призводить до утворення містків холоду в огорожувальних конструкціях. Розрахунки пластикових дюбелів показали дещо схожі результати температурного розподілу по площині розрахункової моделі. Найкращий результат був отриманий в моделі де дюбель виготовлений із полістиролу, це пов'язано з гарними теплоізолюючими властивостями даного матеріалу.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час роботи енергоменеджера під час роботи на об'єкті

5.1.1 Характеристика досліджуваного об'єкту:

В даній роботі в якості досліджуваного об'єкту розглядається корпус ЕТ СумДУ, будівля розташована за адресою вул. Римського-Корсакова, 2. Будівля була споруджена у 1971 році. Для неї є характерним масивна конструкція, яка займає 5 поверхів. Загальна площа забудови 2,844 м², враховуючи загальну кількість поверхів дає загальну площу 12,127 м².

Електроенергія в будівлі використовується для потреб освітлення, роботи електроприладів. Основне обладнання, яке використовується в даній будівлі та основні його параметри наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика електрообладнання

Назва	Кількість, шт.	Одинична потужність, Вт	Загальна потужність, Вт	Коефіцієнт використання
Комп'ютер	51	300	15300	0,5
Кондиціонер	8	400	3200	0,3
ВУП–5М	4	5 000	20 000	0,5
Холодильник	1	400	400	1
Ксерокс	2	650	1300	0,2
Принтер	15	440	6600	0,08
Кавовий автомат	2	1700	3400	0,04

Для навчального корпусу ЕТ Сумського державного університету притаманні наступні небезпечні та шкідливих фактори, які були визначені згідно з [22]:

Фізичні небезпечні та шкідливих фактори:

- рухомі машини та механізми;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищене значення напруги в електричному колі;
- підвищене електромагнітне випромінювання.

Хімічні небезпечні та шкідливих фактори:

- вплив подразнюючих;
- вплив загально токсичних речовин.

Біологічні небезпечні та шкідливих фактори:

- вплив патогенних мікроорганізмів (бактерії, віруси та інше);
- вплив мікроорганізмів.

Психофізіологічні небезпечні та шкідливих фактори:

- фізичні перенавантаження;
- нервово-психічні перенавантаження.

Поблизу навчального корпусу ЕТ Сумського державного університету розташовано об'єкт, який несе потенціальну небезпеку для відвідувачі навчального закладу, а саме хімічно-промисловий комплекс «Сумхімпром».

5.1.2 Опис, аналіз і порівняння з нормативними показниками всіх виявлених небезпечних та шкідливих факторів

5.1.2.1 Небезпечні фактори

Механічна небезпека в навчальному корпусі ЕТ представлена рухомими машинами та механізмами, а саме лабораторними стендами, які застосовуються при проведенні занять з студентами, також сюди відносить робота технічного

персоналу з газонокосаркою, шурупвертом та іншим обладнанням, яке застосовується для проведення технічного обслуговування установи.

Електрична небезпека в даній будівлі надходить від електроприладів, які використовуються в освітньому процесі, список використаних приладів та їх характеристика наведено в таблиці 4.1.

Приміщення будівлі корпусу ЕТ згідно з [23], відносяться до приміщень без підвищеної небезпеки ураженням струму, так як для них характерне сухість, не запиленість та нормальна температура з відносною вологістю, також підлога не є струмопровідною.

Для захисту відвідувачів від дії електричного струму в корпусі ЕТ застосовуються такі засоби:

- захисне заземлення [24] – свідоме електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих частин електроустаткування;

- захисне занулення [24] – відоме електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих струмонепровідних частин, які можуть виявитися під напругою;

- захисне відімкнення [24] – швидкодійний захист, що забезпечує автоматичне відключення електроустаткування, коли в ньому виникає небезпека ураження струмом;

- ізоляція струмопровідних частин – застосування ізоляції;

- забезпечення недоступності неізольованих струмовідних частин [24] – для випадкового дотику досягається ізоляцією їх струмонепровідними матеріалами.

5.1.2.2 Шкідливі фактори

1) Мікроклімат (метеорологічні умови) у приміщеннях навчального корпусу ЕТ. Для даного об'єкту згідно з [25] характерна категорія робіт – легка

фізична робота. Для даною категорії притаманні наступні значення оптимальних та допустимих показників мікроклімату, які було наведено в таблиці 4.2 та 4.3 відповідно.

Таблиця 4.2 – Оптимальні величини

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

Таблиця 4.3– Допустимі величини

Період року	Температура повітря, °С	Відносна вологість	Швидкість руху, м/с
Холодний період року	18-21	75	Не більше 0,1
Теплий період року	22-28	55	0,2-0,1

Фактичні значення параметрів мікроклімату знаходяться на рівні допустимих величин, так середня температура повітря в середині приміщень в холодну пору року становила 18 °С.

Необхідний повітрообмін досягається встановленою в будівлі системою вентиляції, провітрюваннями приміщень, відчиненням дверей та вікон.

2) Повітря робочої зони. У будівлі навчального корпусу ЕТ встановлена механічна система вентиляції. Призначення даної системи це постачання свіжого повітря з навколишнього середовища до навчальних аудиторій та утилізація використаного повітря з будівлі.

Повітропроводи виконані з бетону та мають незадовільний стан, так як система не експлуатувалася з самого початку. В санітарних приміщеннях (туалетах) – встановлена витяжна система вентиляції.

3) Освітлення. Для приміщень даної будівлі характерний боковий (через вікно) вид природного освітлення. Розряд зорової роботи згідно з [26] становить А–2. Загальна площа приміщень складає 12,127 м². Площа та загальна кількість вікон наведено в додатку В.

Відповідно до [26] значення КПО (коефіцієнт природного освітлення) для аудиторій вищих навчальних закладів при суміщеному освітленні середнє значення дорівнює 2.1, а мінімальне 0.7.

Штучне освітлення представлено лампами розжарювання та люмінесцентними лампами. Характеристика встановлених джерел освітлення, які використовуються в будівлі навчального корпусу ЕТ наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристика джерел освітлення

Назва	Кількість, шт.	Одинична потужність, Вт	Загальна потужність, Вт	Коефіцієнт завантаження
Лампа розжарення	76	60	4560	0,5
Лампа розжарення	17	500	8500	
Люмінесцентна лампа 18 Вт	785	18	14130	
Люмінесцентна лампа 36 Вт	9	36	324	

Згідно з [26] нормоване значення освітленості робочих поверхонь для даного типу приміщень, відповідно до розряду робіт становить при загальному освітленні 400 лк. Фактичне значення освітленості відповідає встановленій нормі.

4) Шум. Основними джерелами шуму в навчальному корпусі ЕТ є лабораторні установки та комп'ютерна техніка, які застосовуються в навчальному процесі. Нормовані значення шуму [27], наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Нормативи шуму

Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц									Рівні шуму та еквівалентні рівні шуму, дБА, дБА _{екв} .
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

На даному об'єкті застосовується організаційний метод захисту від шуму, який передбачає розміщення обладнання за ступенем їх шумності в одному місці. Також застосовується акустичний метод, поверхні вкриваються матеріалами, які демпфують звук від працюючого обладнання.

5) Дія електромагнітних полів. Головними джерелами магнітних полів є комп'ютерне обладнання, можна виділити декілька типів створюваних полів:

- електростатичне поле;
- змінні низькочастотні електричні поля;
- змінні низькочастотні магнітні поля.

Згідно до [28] нормування електромагнітного випромінювання здійснюється в діапазоні від 50 кГц до 300кГц. В таблиці 4.6 наведено нормовані значення гранично допустимої напруженості електричного і магнітного полів.

Таблиця 4.6 – Гранично допустимі напруженості

Частота	Допустимі напруженості	
	Електричні поля, В/м	Магнітні поля А/м
60кГц...3МГц	50	5
3...30МГц	20	-
30...50МГц	10	0,3
50...300МГц	5	-

Основним методами захисту від електромагнітних полів, яким користуються на даному об'єкті є захист часом, тобто зменшують перебування персоналу поруч з технікою. Це пов'язано з тим, що вплив електромагнітних полів є порівняно не значним та не потребує додаткових заходів.

6) Пожежна небезпека. Найбільш пожежонебезпечними матеріалами в приміщенні навчального корпусу ЕТ є жалюзі, штори та меблі виготовлені з легкогорючих матеріалів, а пожежонебезпечні речовини – лаки та фарби, якими вкриті ці меблі.

Відповідно до [29] приміщення навчального корпусу відносяться до категорії Д за класифікацією приміщень з вибухової і пожежної небезпеки.

Заклад має в наявності наступні засоби пожежогасіння:

- вогнегасники;
- пожежні шланги;
- ящики з піском;
- пожежні відра;
- лопати.

На досліджуваному об'єкті застосовуються порошкові та газові вогнегасники. План евакуації першого поверху показано на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1- План евакуації 1 поверху

5.2 Правила виконання робіт на висоті

Роботи на висоті [30] – роботи, що виконуються на висоті 1,3 м і більше від поверхні ґрунту, перекриття або робочого настилу, у тому числі з робочих

платформ підйомників і механізмів, а також на відстані менше 2 м від неогороджених перепадів на висоті 1,3 м і більше.

Згідно з [30], роботи, які проводяться на висоті відносяться до робіт з підвищеною небезпекою.

Основними засобами захисту під час проведення даного виду робіт, які запобігають працівника від падіння з висоти, є спеціальні запобіжні засоби, а саме запобіжний лямковий пояс (ЛП) або запобіжний безлямковий пояс (БП).

До самостійних робіт, які виконуються на висоті допускаються особи, яким виконалось 18 років. Також дані працівники повинні пройти:

- медичний огляд, який засвідчує відсутність протипоказань, щодо проведення даним працівником робіт на висоті;

- вступний та первинний інструктаж;

- навчання та стажування на робочому місці, під керівництвом особи з відповідною кваліфікацією на протязі 5 або більше змін;

- перевірку знань з охорони праці на робочому місці, у особи яка має стаж робіт на висоті не менше одного року, відповідно до вимог [31].

При роботі на висоті можливий вплив наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів [32]:

- робоче місце розташовується на досить великій висоті відносно поверхні землі (підлоги, перекриття) і це може викликати падіння працівника або падіння робочого інструменту;

- руйнування конструкцій призначених для роботи страхування та роботи на висоті, а саме: драбини, підмостки та ліси;

- обмерзання або зволоження робочих поверхонь;

- рухомі механізми та машини, що застосовуються в процесі виконання робіт;

- небезпечні швидкість вітру (при роботі на вулиці);

- підвищення значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини [32];

- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;

- погана освітленість робочої ділянки;
- фізичні перевантаження.

Для захисту від небезпечних та шкідливих факторів, які наступають під час проведення робіт, працівник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту, які включають в себе спецодяг, спецвзуття та інше.

Роботи на висоті у відкритих місцях забороняються:

- під час поганої погоди (грози, ожеледі, снігопаді або тумані);
- при температурі зовнішнього повітря, яка не відповідає мінімально встановленим нормам;
- при сильному вітрі, який перевищує швидкість в 10-12 м/сек;

Виняток допускається лише при проведенні заходів з ліквідації аварій та їх наслідків. У цьому випадку необхідно забезпечити прийнятні та безпечні умови праці для осіб, які здійснюють дані роботи.

Вимоги безпеки перед початком робіт [33]:

- перед початком робіт працівники, які будуть проводити роботи, повинні ознайомитися з документами в яких засвідчена технологія проведення робіт (проектна та технічна документація, тощо);
- огляд засобів захисту та страхування, які використовуються, а потім занести інформацію щодо здійсненого огляду до спеціального журналу;
- встановлення загороджувальних споруд та знаків, призначених попередити потрапляння сторонніх осіб на місце проведення робіт;
- роботи необхідно здійснювати лише у тому випадку, якщо на робочій ділянці в наявності є засоби пожежогасіння, медична аптечка та інші засоби індивідуального та колективного захисту. У тому випадку, якщо раніше перераховані засоби відсутні або знаходяться в не робочому стані на робочому об'єкті проведення робіт не дозволяється;
- перевірка наявності та працездатності засобів зв'язку;
- здійснюється укомплектування сумками та кріпленнями, основна задача яких попередження можливого падіння робочого приладдя та різноманітного обладнання з висоти;

- одягати каску на місці проведення висотних робіт та до кінця їх завершення;
- перевірка працездатності машин та механізмів, які використовуються працівниками під час роботи.

Вимоги безпеки під час виконання робіт [33]:

- працівники має виконувати лише поставлені перед ним задачі, та не відходити від раніше ухваленого плану виконання робіт, за які з ним було проведено інструктажі;

- необхідно дотримуватися всіх встановлених організаційних та технічних заходів з охорони праці, передбачених нарядом-допуском та проведеним інструктажем;

- роботи із стропування вантажів дозволяється виконувати особам, які пройшли відповідне навчання і мають посвідчення стропальника відповідно до вимог Типової інструкції з безпечного ведення робіт для стропальників, які обслуговують вантажопідіймальні крани [33];

- перед тим, як піднятися на місце проведення робіт або здійснити спуск з нього спочатку необхідно щоб керівник та його працівник виконали візуальний огляд об'єкта на наявність ті можливі маршрути підймання та спускання. Для цього застосовуються спеціалізовані технічні засоби, в саме телевізійні системи, біноклі тощо;

- керівник робіт перед початком процесу підймання працівником на висотну споруду або спусканням з висотної споруди повинен обов'язково здійснити перевірку стану елементів споруди, а також елементів які використовуються для страхування;

- пояс ПБ або ПЛ без амортизатора дозволяється застосовувати тільки для фіксації працівника на робочому місці в умовах, що унеможливають падіння працівника. Під час підймання на висотну споруду або спускання з висотної споруди, а також під час перебування на висоті місце закріплення пояса стропом за елементи конструкції повинно

виконуватись таким чином, щоб вільне падіння в екстреному випадку не перевищувало 0,5 м [33];

- спеціальна засоби призначені для страхування потрібно використовувати таким чином, щоб у будь-який момент можна було заблокувати переміщення працівника у випадку неконтрольованого руху;

- необхідність застосування спеціальних засобів призначених для страхування працюючого визначається керівником робіт з урахуванням технічного стану об'єкту, на якому здійснюється процес виконання робіт.

Вимоги безпеки після закінчення робіт [33]:

- працівникам необхідно після виконання поставлених задач прибрати робочий інструмент, матеріали та засоби індивідуального захисту;

- керівникові робіт необхідно здійснити перевірку робочих місць та вивести працівників поза зону проведення робіт;

- працюючий персонал повинен сповістити керівника робіт про помічені всі ним недоліки;

- працівникам необхідно здійснити технічне обслуговування засобів індивідуального та колективного страхування згідно до вимог встановленою технічною документації.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях [33]:

- при виникненні аварії, пожежі або нещасного випадку працівники повинні: негайно припинити роботу, сповістити керівника робіт або роботодавця, ужити (по можливості) заходів усунення небезпеки, що виникла, у разі нещасного випадку подати необхідну допомогу потерпілому та у всіх випадках викликати лікаря або відвезти потерпілих до лікарні [33];

- у разі необхідності при різкій зміні погодних умов та інших причин, які змушують внести зміни в умови виконання робіт, треба зупинити роботу. Працюючий персонал з його інструментами, матеріалами та обладнанням слід спустити з висоти та дочекатися покращення кліматичних умов;

- у тому разі, якщо працівник відчуває себе в незадовільному стані керівник робіт повинен відсторонити дану особу від процесу виконання роботи,

а якщо працівник, в момент перебування на висоті відчує себе незадовільно, керівнику робіт повинен ужити усіх заходів для того, щоб здійснити евакуацію його з висоти та надати все необхідну допомогу та при необхідності викликати швидку медичну допомогу;

– в ході проведення розслідування пов'язаних з нещасними випадками та аваріями, які виникли під проведення робіт на висоті необхідно притримуватися вимог зазначених в «Положення про порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві».

5.3 Порядок евакуації відвідувачів із освітнього закладу

В таблиці 4.7 наведено загальний план евакуації учнів, викладачів та інших працівників навчального закладу у випадку виникнення надзвичайної ситуації. Приклад порядку евакуації відвідувачів освітнього закладу наведено для пожежі.

Таблиця 4.7 – План евакуації

№	Назва дії	Порядок і послідовність дій
1.	Повідомлення про пожежу	При виявленні осередку пожежі необхідно повідомити аварійну-рятувальну службу по телефону «103». Потім відбувається застосування системи сповіщення, а також необхідно проінформувати керівника учбового закладу
2.	Евакуація відвідувачі освітнього закладу	Евакуацію відвідувачі освітнього закладу розпочинають з приміщення, де саме було виявлено осередок пожежі, а також приміщення, які знаходяться поблизу та яким загрожує розповсюдження вогню. Евакуацію здійснюють через коридори та запасні виходи
3.	Перевірка кількості евакуйованих	Здійснюється перевірка кількості евакуйованих осіб з навчального закладу

Продовження таблиці 4.7

4.	Повідомлення про пункт розміщення евакуйованих	Наступним кроком необхідно направити всіх відвідувачі освітнього закладу в безпечне місце, яке знаходиться на відстані висоті навчального закладу. Потім здійснюється ще одна перевірка кількості евакуйованих (при меншій кількості необхідно вжити заходів з пошуку загублених)
5.	Гасіння пожежі обслуговуючим персоналом д	Гасіння пожежі здійснюється одразу ж після виявлення осередку пожежі, для боротьби з нею використовуються засоби пожежогасіння, які є в навчальному закладі
6.	Участь в гасінні пожежі до прибуття пожежної частини	Надати всю необхідну інформацію пожежній бригаді, яка прибула на місце

Далі описано більш детальні дії всіх категорій відвідувачів освітнього закладу у випадку виникнення надзвичайної ситуації, на прикладі пожежі:

Кожен працівник навчального закладу, який виявив пожежу або її ознаки (задимлення, запах горіння або тління різних матеріалів тощо), зобов'язаний [34]:

- негайно повідомити про це за телефоном 101 до пожежної охорони (при цьому слід чітко назвати адресу навчального закладу, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, наявність людей у будівлі, а також свою посаду та прізвище);

- за потреби викликати інші аварійно-рятувальні служби (медичну, газорятувальну тощо);

- сповістити про пожежу керівника навчального закладу або працівника, що його заміщує;

- розпочати (якщо є можливість) ліквідацію осередку загоряння за допомогою первинних засобів пожежогасіння до прибуття пожежних підрозділів;

– розпочати евакуацію учнів з будівлі до безпечного місця згідно із затвердженим керівником навчального закладу планом евакуації і залучити до евакуації інших осіб;

– організувати зустріч пожежних підрозділів.

Керівник навчального закладу (призначена наказом відповідальна особа), який прибув на місце пожежі, зобов'язаний [34]:

– перевірити, чи повідомлено підрозділи пожежної охорони про виникнення пожежі (продублювати повідомлення);

– інформувати обласне, міське, районне управління освіти про виникнення пожежі;

– здійснювати керівництво евакуацією людей та гасінням пожежі до прибуття пожежних підрозділів; евакуацію людей слід починати з приміщення, у якому виникла пожежа, і суміжних з ним приміщень, яким загрожує небезпека поширення вогню і продуктів горіння;

– у разі загрози для життя людей негайно організувати їх рятування, використовуючи для цього всі наявні сили і засоби;

– за потреби викликати до місця пожежі медичну та інші служби;

– організувати виведення з небезпечної зони всіх учнів, а також працівників, які не задіяні в евакуації людей та ліквідації пожежі;

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

– виставити пости безпеки на входах у будівлю, де виникла пожежа, щоб унеможливити повернення учнів і працівників до цієї будівлі;

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

– виділити для зустрічі пожежних підрозділів особу, яка добре знає розміщення під'їзних шляхів та вододжерел (пожежних гідрантів, водойм);

– припинити всі роботи, не пов'язані із заходами щодо ліквідації пожежі;

- забезпечити безпеку людей, які беруть участь в евакуації та гасінні пожежі, від можливих обвалів конструкцій, дії токсичних продуктів горіння і підвищеної температури, ураження електрострумом тощо;
- організувати евакуацію матеріальних цінностей із небезпечної зони, визначити місця їх складування і забезпечити, за потреби, їх охорону;
- інформувати керівника пожежного підрозділу про наявність людей у будівлі.

Працівник охорони, який знаходиться момент виникнення пожежі на посту, зобов'язаний [34]:

- відчинити основний та запасні виходи з будівлі;
- надавати консультативну допомогу керівникові гасіння пожежі щодо місцезнаходження того чи того обладнання, кнопок вмикання насосів підвищувачів, запасних виходів, виходів на горище тощо.

Дії викладача після отримання сигналу про евакуацію [34]:

- припинити заняття;
- знеструмити електричні прилади та обладнання, вимкнути світло і зачинити вікна у приміщенні, де проводилося заняття;
- у разі значного задимлення видати учням наявні у кабінеті засоби індивідуального захисту — марлеві пов'язки;
- зберігати спокій, не спричинювати виникнення паніки;
- у найкоротший час вивести учнів найбезпечнішими евакуаційними шляхами і виходами з будівлі відповідно до плану евакуації, ретельно перевіривши кабінет, щоб унеможливити перебування учнів у небезпечній зоні.

5.4 Висновки до розділу

В даному розділі було проведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час роботи енергоменеджера на об'єкті, в даному випадку в освітньому закладі.

Також було наведено правила виконання робіт на висоті та порядок евакуації відвідувачів освітнього закладу у випадку виникнення пожежі.

ВИСНОВОК

В результаті виконання даної магістерської роботи буди отримані наступні результати:

1) Проведено аналіз енергетичного стану та описано конструктивні рішення зовнішньої оболонки будівлі навчального корпусу ЕТ СумДУ;

2) Визначено значення річної енергопотреби будівлі на опалення $Q_{H,nd} = 1733949$ кВт · год та $Q_{C,nd} = 371684$ кВт · год охолодження;

3) Розраховано загальний показник питомого енергоспоживання системами опалення, охолодження освітлення та вентиляцію, що в свою чергу склав $EP = 171,57$ кВт · год/м³;

4) Запропоновано та розроблено пакети енергозберігаючих заходів із їх техніко-економічним розрахунком:

– пакет А, який включає в себе проведення теплоізоляції зовнішніх стін мінеральною ватою 100 мм, теплоізоляцію горища мінеральною ватою 250 мм, встановлення індивідуального теплового пункту з модернізацією системи опалення, встановлення рекуператорів тепла, заміна існуючого освітлення світлодіодним освітленням, загальна сума інвестицій становить 23482890 грн, простий термін окупності становить 3,8 роки;

– до пакету Б входять заходи з проведення теплоізоляція зовнішніх стін мінеральною ватою 150 мм, теплоізоляція горища мінеральною ватою 300 мм, встановлення індивідуального теплового пункту з модернізацією системи опалення, встановлення рекуператорів тепла, заміна існуючого освітлення світлодіодним освітленням, загальна сума інвестицій становить 24371070 грн, простий термін окупності становить 3,9 роки.

7) Розроблено енергетичний сертифікат будівлі навчального корпусу ЕТ СумДУ;

б) Проведено розрахунки теплопровідних точкових включень які показали, що використання металевого дюбеля призводить до утворення

містків холоду в огороджувальних конструкціях. Найкращий результат був отриманий в розрахунковій моделі з полістироловим дюбелем, це пов'язано з гарними тепло ізолюючими властивостями даного матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Національний план дій з енергоефективності до 2020 року. Січень, 2013р., Держенергоефективності. 82 с. [Електронний інтернет-ресурс], режим доступу: https://euea-energyagency.org/wp-content/uploads/2014/05/NEEAP_2020_UA.pdf.
2. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 33, ст.359. [Електронний інтернет-ресурс], режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.
3. Енергосертифікація будівель [Електронний інтернет-ресурс], режим доступу: <https://energox.com.ua/energoaudyt/energetychnyj-sertyfikat-budivli>
4. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката» // Наказ 11.07.18 №172.
5. Порядок проведення сертифікації енергетичної ефективності, форми енергетичного сертифіката [Електронний інтернет-ресурс], режим доступу: http://www.niisk.com/images/novini/proekti-normativnikh-aktiv/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BE%D0%BA_%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97_27_03.pdf
6. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017.05.01] К.: Київ, Мінрегіонбуд України, 2017. 37 с.
7. ДСТУ–Н Б В.1.1-27. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011.11.01] К.: Київ, Мінрегіонбуд України, 2011. 130 с.
8. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Чинний від 2015.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.

9. ДБН В.2.2-9-2009. Громадські будинки та споруди. Основні положення. [Чинний від 2010.10.01] К.: Київ, Мінрегіонбуд України, 2010. 69 с.
10. Наказ від 11.07.2018 р. №172 «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката», [Електронний інтернет-ресурс], режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0825-18>.
11. ДСТУ Б В.2.6-189-2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [Чинний від 2014.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2014. 55 с.
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 (EN 15251:2007, IDT). [Чинний від 2013.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2012. 71 с.
13. Наказ від 11.07.2018 р. №169 «Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель», [Електронний інтернет-ресурс], режим доступу: <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18>.
14. Теплокомфорт [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://teplokomfort.kiev.ua>
15. Прозоро [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://prozorro.gov.ua>
16. Припливно-витяжні установки [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://vents-shop.com.ua>
17. Світлодіодне освітлення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ledstorm.ua/ua/osveshenie>
18. Ступінь застосування енергозберігаючих архітектурно-конструктивних рішень в житлових будівлях [Електронний ресурс]: - Режим доступу: http://www.zgia.zp.ua/gazeta/MNPKB117_133.pdf.
19. 3D Моделирование [Електронний ресурс]: - Режим доступу: <https://3dtoday.ru/blogs/dagov/ansys-mechanical-interface>.

20. Богданюк О. С., Хованський С. О., Павленко І. В., Балог М. Моделювання теплового стану пасажирського вагону моделі 48-060 з комбінованою системою опалення. Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.) : тези доповідей . Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 319.
21. Khovanskyi S., Pavlenko I., Pitel J., Bogdaniuk O., Ivanov V. Parameter Identification of the Heat Supply System in a Coach. 2nd Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes, Odessa, Ukraine, September 8-11, 2020 : тези доповідей . Суми : IATDI, 2020. С. 110.
22. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Система стандартов безопасности труда [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/41/41131.shtml>.
23. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dnop.com.ua>
24. Методи і засоби захисту від ураження електричним струмом [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://buklib.net/books/35195/>
25. ДНАОП 0.03-3.15-86. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень (СН4088-86) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>
26. ДБН В.2.5-28:2018 Природне та штучне освітлення [Чинний від 2019.03.01] К.: Київ, Мінрегіонбуд України, 2018. 137 с.
27. ДНС 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку МОЗ України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://arm.te.ua/docs/DSN-3.3.6.037-99.pdf>
28. ГОСТ 12.1.006-84 Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования до введения в действие.

- 29.НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою : Затвердж. наказом МНС від 03.12.2007 № 833.
- 30.НПАОП 0.00-1.15-07 «Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті»
- 31.НПАОП 0.00-4.12-2005 «Перелік робіт з підвищеною безпекою»
- 32.НПАОП 0.00-4.36-05 «Про затвердження типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці та переліку робіт з підвищеною безпекою»
- 33.Інструкція з охорони праці №4. При роботі на висоті [Електронний інтернет-ресурс], режим доступу: <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2000/01/instructOP04.pdf>
- 34.Рекомендації щодо забезпечення безпечної та швидкої евакуації, здійснення заходів евакуації на об'єктах з масовим перебуванням людей, які є навчальними (у тому числі дошкільними) закладами, закладами охорони здоров'я із стаціонаром, будинками для людей похилого віку та інвалідів, санаторіями і закладами відпочинку. К.: Одеса, 2017, 28 с.

ДОДАТОК А
АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕННЯ СЕРТИФІКАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ



ДОДАТОК Б
Площа віконних отворів начального корпусу ЕТ СумДУ

Таблиця Б.1 – Характеристика вікон

Назва конструкції	Ширина, м	Висота, м	Кількість, шт.	Площа елемента, м ²
Світлопрозорі конструкції Тип А	1,75	2,1	333	3,68
Світлопрозорі конструкції Тип В	2,3	1,8	30	4,14
Світлопрозорі конструкції Тип С	3,6	4,8	20	17,28
Світлопрозорі конструкції Тип D	0,8	2,3	6	1,84
Світлопрозорі конструкції Тип Е	2,3	3,6	10	8,28

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Річне енергоспоживання при опаленні (Пакет А – теплоізоляція зовнішніх стін 100 мм)

Місяць	$Q_{H,em,is}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvbl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ln,i}$ кВт·год	$Q_{Hgen,ls,i}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
Січень	74619,7	359699,9	67710,0	1028594,9	741749,2	354555,6	714255,5	437769,5	1152024,9
Лютий	63331,4	305285,0	59609,1	902603,5	613187,3	349025,3	654310,3	401028,9	1055339,2
Березень	53123,8	256080,3	55282,2	816287,0	467696,2	403873,0	659953,2	404487,5	1064440,7
Квітень	23750,2	114486,6	16588,8	221400,0	51598,3	186390,5	300877,1	184408,6	485285,7
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	28552,9	137637,5	25329,0	345915,4	147548,7	223695,7	361333,2	221462,3	582795,5
Листопад	51148,4	246557,7	50595,8	740361,6	494709,2	296248,2	542805,9	332687,5	875493,3
Грудень	67999,5	327787,5	62781,7	944403,8	678126,7	329058,9	656846,3	402583,2	1059429,6

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use} = 6274809$ кВт·год.

Таблиця В.2 – Річне енергоспоживання при опаленні (Пакет Б – теплоізоляція зовнішніх стін 150 мм)

Місяць	$Q_{H,em,ls}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvbl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ln,i}$ кВт·год	$Q_{Hgen,ls,i}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
Січень	73098,4	352366,6	67710,0	1028594,9	738253,6	358051,2	710417,8	435417,4	1145835,2
Лютий	62044,8	299083,4	59609,1	902603,5	609749,4	352463,2	651546,6	399335,0	1050881,6
Березень	52078,0	251038,8	55282,2	816287,0	463455,0	408114,2	659153,0	403997,0	1063150,1
Квітень	23600,8	113766,0	16588,8	221400,0	50350,6	187638,2	301404,2	184731,6	486135,8
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	28178,9	135834,6	25329,0	345915,4	145371,7	225872,7	361707,3	221691,6	583398,8
Листопад	50090,4	241457,9	50595,8	740361,6	491348,4	299609,1	541067,0	331621,7	872688,6
Грудень	66603,8	321059,6	62781,7	944403,8	674718,5	332467,0	653526,6	400548,5	1054075,1

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use} = 6256165$ кВт·год.

Таблиця В.3 – Річне енергоспоживання при опаленні (Пакет А – теплоізоляція горища 250 мм)

Місяць	$Q_{H,em,is}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvbl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ln,i}$ кВт·год	$Q_{Hgen,ls,i}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
Січень	87127,4	419992,2	67710,0	1028594,9	764309,3	331995,5	751987,7	460895,7	1212883,4
Лютий	74033,5	356874,1	59609,1	902603,5	637067,2	325145,4	682019,5	418012,0	1100031,5
Березень	62025,4	298989,5	55282,2	816287,0	500170,7	371398,5	670388,0	410883,0	1081271,0
Квітень	24958,5	120311,1	16588,8	221400,0	63558,5	174430,3	294741,4	180648,0	475389,4
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	31780,5	153196,2	25329,0	345915,4	164089,0	207155,4	360351,6	220860,7	581212,3
Листопад	59896,9	288729,2	50595,8	740361,6	516772,6	274184,8	562914,0	345011,8	907925,9
Грудень	79440,5	382938,1	62781,7	944403,8	699619,9	307565,6	690503,7	423212,0	1113715,7

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use} = 6472429$ кВт·год.

Таблиця В.4 – Річне енергоспоживання при опаленні (Пакет Б – теплоізоляція горища 300 мм)

Місяць	$Q_{H,em,ls}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvbl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ln,i}$ кВт·год	$Q_{Hgen,ls,i}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
Січень	86771,5	418277,0	67710,0	1028594,9	764309,3	331995,5	751987,7	460895,7	1212883,4
Лютий	73736,5	355442,1	59609,1	902603,5	637067,2	325145,4	682019,5	418012,0	1100031,5
Березень	61785,8	297834,8	55282,2	816287,0	500170,7	371398,5	670388,0	410883,0	1081271,0
Квітень	24916,6	120108,8	16588,8	221400,0	63558,5	174430,3	294741,4	180648,0	475389,4
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	31690,1	152760,2	25329,0	345915,4	164089,0	207155,4	360351,6	220860,7	581212,3
Листопад	59647,3	287526,3	50595,8	740361,6	516772,6	274184,8	562914,0	345011,8	907925,9
Грудень	79111,6	381352,7	62781,7	944403,8	699619,9	307565,6	690503,7	423212,0	1113715,7

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use} = 6466100$ кВт·год.

Таблиця В.5 – Річне енергоспоживання при опаленні (встановлення індивідуального теплового пункту з модернізацією системи опалення)

Місяць	$Q_{H,em,is}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvbl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ln,i}$ кВт·год	$Q_{Hgen,ls,i}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
Січень	14815,4	376988,2	4514,0	120002,7	90813,0	33703,7	410692,0	17112,2	427804,1
Лютий	12571,1	319879,8	3973,9	105303,7	75740,5	33537,2	353417,0	14725,7	368142,7
Березень	10501,3	267212,1	3685,5	95233,5	59757,5	39161,5	306373,6	12765,6	319139,2
Квітень	4040,4	102811,9	1105,9	25830,0	7737,4	19198,5	122010,4	5083,8	127094,2
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	5274,6	134215,2	1688,6	40356,8	20029,7	22015,7	156230,9	6509,6	162740,6
Листопад	10203,8	259642,2	3373,1	86375,5	61829,8	27918,8	287561,0	11981,7	299542,7
Грудень	13524,1	344130,3	4185,4	110180,4	83285,6	31080,3	375210,6	15633,8	390844,4

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use} = 2095307$ кВт·год.

Таблиця В.6 – Річне енергоспоживання при опаленні (вентиляція з рекуперацією тепла)

Місяць	$Q_{H,em,ls}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvbl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ln,i}$ кВт·год	$Q_{Hgen,ls,i}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
Січень	58685,3	282888,7	67710,0	1028594,9	700964,6	395340,3	678229,0	415688,7	1093917,7
Лютий	49571,6	238956,9	59609,1	902603,5	563188,8	399023,8	637980,7	391020,4	1029001,1
Березень	42032,3	202613,9	55282,2	816287,0	394893,4	476675,8	679289,8	416338,9	1095628,7
Квітень	17435,1	84044,9	16588,8	221400,0	11343,9	226644,9	310689,8	190422,8	501112,5
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	20983,1	101147,7	25329,0	345915,4	85513,9	285730,5	386878,2	237118,9	623997,0
Листопад	40231,7	193934,6	50595,8	740361,6	458056,9	332900,6	526835,1	322898,9	849734,1
Грудень	53561,5	258189,9	62781,7	944403,8	642351,8	364833,7	623023,6	381853,2	1004876,7

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use} = 6198267$ кВт·год.

Таблиця В.7 – Річне енергоспоживання при опаленні – Пакет А

Місяць	$Q_{H,em,ls}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvbl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ln,i}$ кВт·год	$Q_{Hgen,ls,i}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
Січень	5153,3	131128,9	4514,0	120002,7	63379,2	61137,5	192266,4	8011,1	200277,5
Лютий	4466,9	113664,3	3973,9	105303,7	47410,1	61867,6	175531,9	7313,8	182845,7
Березень	4207,7	107068,3	3685,5	95233,5	24388,6	74530,4	181598,6	7566,6	189165,2
Квітень	2008,7	51113,1	1105,9	25830,0	50,8	26885,1	77998,2	3249,9	81248,2
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	2557,4	65074,2	1688,6	40356,8	1672,2	40373,2	105447,4	4393,6	109841,0
Листопад	3640,2	92628,6	3373,1	86375,5	36105,0	53643,5	146272,1	6094,7	152366,8
Грудень	4696,9	119514,9	4185,4	110180,4	57151,6	57214,3	176729,3	7363,7	184093,0

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use} = 1099837$ кВт·год.

Таблиця В.8 – Річне енергоспоживання при опаленні – Пакет Б

Місяць	$Q_{H,em,ls}$ кВт·год	$Q_{H,em,in,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvbl,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ кВт·год	$Q_{H,dis,ln,i}$ кВт·год	$Q_{Hgen,ls,i}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
Січень	4904,5	124798,3	4514,0	120002,7	61229,4	63287,3	188085,7	7836,9	195922,6
Лютий	4271,2	108683,5	3973,9	105303,7	45267,6	64010,1	172693,7	7195,6	179889,2
Березень	4084,1	103923,1	3685,5	95233,5	21997,4	76921,5	180844,7	7535,2	188379,9
Квітень	1946,6	49532,4	1105,9	25830,0	32,3	26903,6	76436,0	3184,8	79620,8
Травень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Червень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Липень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Серпень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вересень	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Жовтень	2493,7	63453,0	1688,6	40356,8	1252,2	40793,2	104246,2	4343,6	108589,8
Листопад	3489,8	88799,9	3373,1	86375,5	34092,7	55655,8	144455,8	6019,0	150474,7
Грудень	4471,9	113789,4	4185,4	110180,4	55077,4	59288,5	173077,9	7211,6	180289,5

Згідно отриманих результатів розрахунку річне енергоспоживання при опаленні $Q_{H,use} = 1099837$ кВт·год

ДОДАТОК Г

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СЕРТИФІКАТ БУДІВЛІ

Адреса (місцезнаходження) будівлі: м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Функціональне призначення та назва: Навчальний корпус ЕТ СумДУ

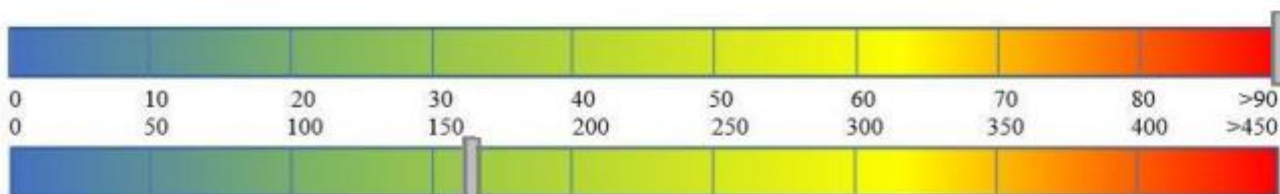
Відомості про конструкцію будівлі

Загальна площа, м²: 12127
 Загальний об'єм, м³: 40021
 Опалювальна площа, м²: 12127
 Опалювальний об'єм, м³: 40021
 Кількість поверхів: 5
 Рік введення в експлуатацію: 1971
 Кількість під'їздів або входів: 3



Шкала класів енергетичної ефективності		Клас енергетичної ефективності
Високий рівень енергоефективності		
A	< 17 кВт×год/м ³	< G
B	< 30 кВт×год/м ³	
C	< 33 кВт×год/м ³	
D	< 42 кВт×год/м ³	
E	< 50 кВт×год/м ³	
F	≤ 58 кВт×год/м ³	
G	> 58 кВт×год/м ³	
Низький рівень енергоефективності		
Питоме споживання на опалення, гаряче водопостачання, охолодження		171,6 кВт×год/м ³

Питоме споживання первинної енергії, кВт×год/м² за рік: 8399



Питомі викиди парникових газів, кг/м² за рік: 166,2

Серія та номер кваліфікаційного атестата енергоаудитора: _____

I. Фактичні або проектні характеристики огорожувальних конструкцій

Вид огорожувальних конструкцій	Значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$		Площа А, m^2
	існуюче приведене	мінімальні вимоги	
Зовнішні стіни	0,85	3,3	4597
Суміщені перекриття	1,34	6,0	2844
Покриття опалювальних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу	-	-	-
Горищні перекриття неопалювальних горищ	-	-	-
Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	-	-	-
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,75	444
Зовнішні двері	0,6	0,6	11,74

Опис технічного стану огорожувальних конструкцій

<p>Зовнішні стіни</p> <p>Зовнішні стіни будівлі виконано з силікатної цегли на цементно-піщаному розчині та вкриті керамічною плиткою, оштукатурені всередині, загальна товщина становить 530 мм. За результатом обстежень на зовнішніх стінах не було виявлені явних пошкоджень.</p> <p>Приведений опір теплопередачі зовнішніх стін не відповідає нормативним вимогам.</p> <p>Вікна та двері</p> <p>Вікна та двері виконані з метало-пластикового профілю із двокамерними склопакетами з енергоефективним покриттям на зовнішньому та внутрішньому склі (4i-10-4-10-4i). Заходи спрямовані на підвищення енергоефективності (заміна вікон дверей) проводилися раніше в 2014-2016. За результатом обстежень на вікнах та дверях не було виявлені явних пошкоджень.</p> <p>Приведений опір теплопередачі вікон та дверей відповідає нормативним вимогам.</p> <p>Суміщене перекриття</p> <p>Частина покрівлі даної будівлі є плоскою, вона виконана із монолітної залізобетонної плити товщиною 220 мм та утеплена шаром керамзитового гравію 110 мм. Інша частина даху є скатною, зовні вкрито шаром азбоцементних листів, та розміщена над неопалюваним горищем. За результатом обстежень на поверхні даху не було виявлені явних пошкоджень.</p> <p>Приведений опір теплопередачі даху не відповідає нормативним вимогам.</p> <p>Підлога</p> <p>Підлоги будівлі роташована на ґрунті та виконана у вигляді монолітної залізобетонної плити товщиною 220 мм, з бетонною стяжкою товщиною 150 мм та вкрита керамічною плиткою. За результатом обстежень підлоги не було виявлені явних пошкоджень.</p> <p>Приведений опір теплопередачі підлоги відповідає нормативним вимогам.</p>

II. Показники енергетичної ефективності та фактичне питоме енергоспоживання будівлі

Показники енергетичної ефективності будівлі

Назва показу	Існуюче значення (кВт·год)/м ³ за рік	Мінімальні вимоги (кВт·год)/м ³ за рік
Питома енергопотреба на опалення, охолодження, гаряче водопостачання	171,6	<[33]
Питоме енергоспоживання при опаленні	165,4	-
Питоме енергоспоживання при охолодженні	6,2	-
Питоме енергоспоживання при гарячому водопостачанні	н/д	-
Питоме енергоспоживання систем вентиляції	1,9	-
Питоме енергоспоживання при освітленні	38,7	-
Питоме споживання первинної енергії, (кВт·год)/м ² за рік	839,9	-
Питомі викиди парникових газів, кг/м ² за рік	166,2	-

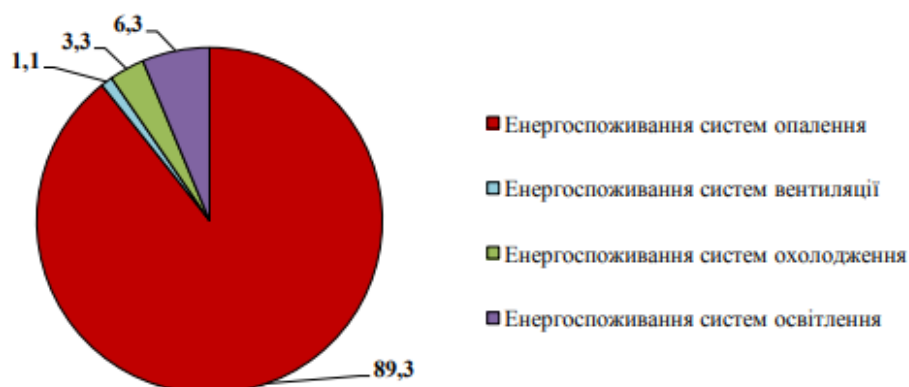
Енергоспоживання будівлі

Вид	Фактичний обсяг споживання за рік		Розрахунковий обсяг споживання за рік	
	Тис. (кВт·год)	(кВт·год)/м ² [(кВт·год)/м ³]	Тис. (кВт·год)	(кВт·год)/м ² [(кВт·год)/м ³]
Енергоспоживання систем опалення	747,9	18,7	6618,7	165,4
Енергоспоживання систем вентиляції	н/д	н/д	77,9	1,9
Енергоспоживання систем гарячого водопостачання	-	-	-	-
Енергоспоживання систем охолодження	н/д	н/д	247,8	6,2
Енергоспоживання систем освітлення	105,2	8,7	469,8	38,7
УСЬОГО:	853,1	27,4	7414,2	212,2

Причини відхилення розрахункових обсягів споживання від фактичних

Недотримання нормативної температури внутрішнього повітря.
 Невідповідність тривалості опалювального періоду розрахунковому його значенню.
 Недостатня вентиляція приміщень, що призводить до не дотримання необхідного рівня повітрообміну.
 Відсутність систем примусової вентиляції, охолодження і кондиціонування повітря в будівлі.
 Освітлення працює менше часу, ніж необхідно.

Річне енергоспоживання будівлі, %



III. Фактичні проектні характеристики інженерних систем будівлі

Система опалення

В будівлі централізована система тепlopостачання. Теплова потужність усіх будівель університету складає 7.602 кВт. Обсяг споживання теплової енергії в Сумському державному університеті вимірюється за допомогою 1 лічильником, який розташований в центральному корпусі.

Система опалення є двотрубною вертикальною з верхнім розведенням, з комунікаціями виготовленими переважно із сталі з частковою ізоляцією в тепловому пункті. Радіатори опалення переважно чавунні, на опалювальних приладах відсутні термостатичні чи механічні вентиляції. Опалювальні прилади розміщено біля зовнішніх стін під вікнами без радіаційного захисту.

Оглядом та аналізом встановлено, що система опалення є морально і технічно застаріла, що не відповідає сучасним вимогам. Розбалансованість та відсутність місцевої регулювальної радіаторної арматури не дозволяє забезпечити підтримання в приміщеннях достатнього теплового комфорту при мінімальних потребах споживання енергоресурсів.



Система вентиляції

Згідно проекту існуюча вентиляційна система закладу припливно-витяжна з природнім та механічним спонуканням. Всі вище описані вентиляційні системи з механічним спонуканням є в не робочому стані. Притік повітря здійснюється за рахунок інфільтрації повітря через огорожувальні конструкції (вікон, дверей, зовнішніх стін) та природньої вентиляції зокрема відкривання стулок вікон і дверей для провітрювання приміщень. Відпрацьоване повітря виводиться через витяжні вентиляційні канали. Повітрообмін неконтрольований. Повітропроводи виконані з бетону та мають незадовільний стан, так як система не експлуатувалася з самого початку. В санітарних приміщеннях (туалетах) - встановлена витяжна система вентиляції. Якість повітря у приміщеннях є в задовільному стані.



Система освітлення

Система освітлення в будівлі представлена трьома типами освітлення, а саме: лампи розжарювання, LED освітлення та флуоресцентні лампи. Найбільше в приміщеннях навчального корпусу встановлено флуоресцентних ламп, які мають загальну електричну потужність 103,8 кВт (52,28%), наступним за потужністю є лампи розжарювання - 84,3 кВт (42,46%), LED освітлення - 10,5 кВт (5,26%). Зальна електрична потужність, яка витрачається на освітлення приміщень становить 198,6 кВт.



IV. Рекомендації щодо забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності

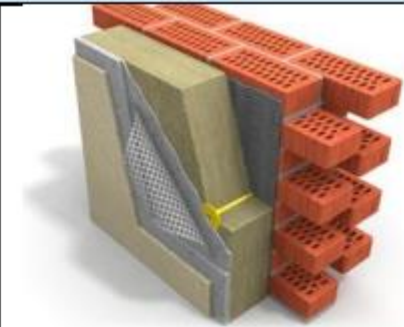
Захід №1. Комплекс робіт з теплоізоляції та улаштування зовнішніх стін

Стіни будівлі знаходяться в задовільному стані, але їх теплозахисні властивості не відповідають сьогодишнім мінімально встановленим нормам. Осереднений за всією площею коефіцієнт теплопередачі стін становить $U_{\text{стіна}} = 1,17 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, а згідно вимог ДБН В.2.6-31:2016, має дорівнювати $U_{\text{стіна}}^{\text{макс}} = 0,30 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Пропонується провести заходи по теплоізоляції зовнішніх стін будівлі з використанням мінеральної вати. Для пакету А пропонується використовувати ізоляцію товщиною 100 мм, а для пакету Б – 150 мм.

Теплопровідність мінеральної вати становить $0,045 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Монтаж теплоізоляції здійснюється після попереднього очищення та підготовки поверхонь.



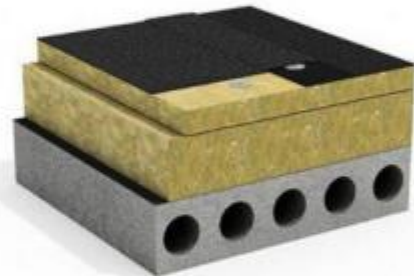
Пакет	Інвестиції, грн	Економія		Окупність
		кВт·год/рік	грн/рік	роки
А	5972200	343925	375478	15,9
Б	6661300	362569	395832	16,8

Захід №2 Теплоізоляція перекриття горища

Коефіцієнт теплопередачі суміщеного перекриття будівлі становить $U_{\text{горище}} = 0,75 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, а згідно вимог ДБН В.2.6-31:2016 повинен дорівнювати $U_{\text{горище}}^{\text{макс}} = 0,17 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Пропонується провести заходи по теплоізоляції горища з використанням мінеральної вати. Використання у якості теплоізоляційних матеріалів пінополіуретану або пінополістиролу заборонене в зв'язку з їхньою горючістю. Інші теплоізоляційні матеріали мають вищу теплопровідність та густину, тому їхнє використання призведе до збільшення навантаження на горищне перекриття.

Для пакету А пропонується використовувати ізоляцію товщиною 250 мм, а для пакету Б – 300 мм. Теплопровідність мінеральної вати становить $0,045 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Монтаж теплоізоляції здійснюється після попереднього очищення та підготовки поверхонь.



Пакет	Інвестиції, грн	Економія		Окупність
		кВт·год/рік	грн/рік	роки
А	1848600	146305	159728	11,6
Б	2047680	152634	166637	12,3

Захід №3 Встановлення індивідуального теплового пункту з модернізацією системи опалення

В будівлі рекомендується встановити новий індивідуальний тепловий пункт та здійснити модернізацію системи опалення. Встановлення індивідуальної теплової підстанції з автоматичним регулюванням температури є одним з основних заходів з підвищення енергоефективності. Ця система дозволяє адаптувати споживання тепла будівлею до її поточного фактичного рівня споживання залежно від зовнішньої температури.

Стан труб та радіаторів опалення в будівлі є незадовільний, вони зношені, відсутня теплоізоляція, пошкодженні корозією та мають накип, що запобігає нормальній роботі системи. Трапляються витоки води з системи, що призводить до падіння тиску в ній. Рекомендовано здійснити заміну старої системи опалення на нову та модернізовану.



Інвестиції, грн	Економія		Окупність
	кВт·год/рік	грн/рік	роки
124486400	4523426	4938419	2,5

Захід №4 Вентиляція з рекуперацією тепла			
<p>Даний захід передбачає реконструкцію та прочищення витяжних вентиляційних каналів, встановлення в будівлі вентиляційного обладнання, яке буде здійснювати рекуперацію тепла. Це сприятиме постачанню свіжого повітря до приміщень будівлі та зменшенню втрат тепла через систему вентиляції.</p> <p>Також, робота механічної системи вентиляції призведе до збільшення споживання електричної енергії будівлею відносно до фактичного енергоспоживання. Проте, даний захід є необхідним для покращення мікроклімату в приміщеннях.</p>			
	Інвестиції, грн	Економія	
	кВт·г/рік	грн/рік	роки
2334850	420466	459041	5,1
Захід №5 Модернізація системи освітлення			
<p>Даний передбачає заміну неефективних ламп розжарювання та флуоресцентних ламп на нове та ефективне LED освітлення. Освітлювальні прилади повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», ПКМУ від 15 жовтня 2012 року № 992 «Про затвердження вимог до світлодіодних світлотехнічних пристроїв та електричних ламп, що використовуються в мережах змінного струму з метою освітлення».</p> <p>Нове освітлення повинно зменшити навантаження на систему освітлення, зменшивши встановлену потужність та водночас забезпечити необхідний рівень освітлення в навчальних аудиторіях.</p>			
	Інвестиції, грн	Економія	
	кВт·г/рік	грн/рік	роки
840840	76548	216631	3,9