

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

«На правах рукопису»
УДК 620.98: 658.24

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.І.Дешко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та інжиніринг
теплоенергетичних систем»

на тему: «Комплексна термомодернізація будівлі з урахуванням зміни категорії щодо
забезпечення комфортних умов»

Виконала: студентка VI курсу, групи ОТ – 81мп
(шифр групи)

Бессальнова Олена Русланівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник _____ ас. каф., к.т.н., Буяк Н.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:

Електротехнічна частина к.т.н., доцент Замулко А.І. _____

Стартап-проект к.т.н., доцент Шевчук Н.А. _____

Моделювання енергетичних

процесів і систем к.т.н., доцент Суходуб І.О. _____

Нормоконтроль

к.т.н., доцент Шкляр В.І. _____

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студентка _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра Теплотехніки та енергозбереження
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.І. Дешко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ **2019 р.**

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Бессальновій Олені Руслівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Комплексна термомодернізація будівлі з урахуванням зміни категорії щодо забезпечення комфортних умов»,

науковий керівник дисертації Буяк Надія Андріївна, к.т.н, ас. каф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «04» 11 2019 р. № 3814-с

2. Термін подання студентом дисертації 9 грудня 2019 р.

3. Об'єкт дослідження навчальний заклад, спеціалізована школа №64

4. Вихідні дані до магістерської дисертації об'єктом є навчальний заклад, який знаходиться в м. Києві. Для даного закладу вихідними даними є геометричні та теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій та дані по зміні параметрів довкілля.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Огляд міжнародних та вітчизняних стандартів щодо забезпечення комфортних умов та ефективного використання енергії; 2) Огляд методик для визначення параметрів комфортних умов; 3) Розрахунок енергоспоживання та енергопотреб:

4) Динамічне моделювання і визначення динамічної зміни параметрів теплового комфорту та зміну категорії.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу до пояснювальної записки додається презентація виконана в PowerPoint, креслення: 1-4 (Поверховий план будівлі, Схема тепловпункту, Електротехнічна схема, Плакат присвячений спецпитанню).

7. Орієнтовний перелік публікацій тези доповідей на 1 конференції, 2 публікації у фахових виданнях

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Електротехнічна частина	доцент Замулко А.І.		
Стартап-проект	доцент Шевчук Н.А.		
Моделювання енергетичних процесів і систем	доцент Суходуб І.О.		
Нормоконтроль	доцент Шкляр В.І.		

9. Дата видачі завдання 02.09. 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Загальні відомості про об'єкт дослідження	28.10.2019 - 11.11.2019	
2	Інжиніринг енергетичних систем	28.10.2019 - 07.12.2019	
3	Техніко-економічне обґрунтування комплексної термомодернізації та забезпечення комфортних умов	28.10.2019 - 07.12.2019	
4	Енергоменеджмент та моніторинг	28.10.2019 - 11.11.2019	
5	Стартап-проект	11.11.2019 - 07.12.2019	
6	Нормативне оформлення магістерської дисертації	11.11.2019-07.12.2019	
7	Попередній захист	09.12.2019-13.12.2019	

Студентка

_____ (підпис)

О.Р.Бессальнова
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Н.А.Буяк
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація «Комплексна термомодернізація будівлі з урахуванням зміни категорії щодо забезпечення комфортних умов» складається з 125 сторінок, 22 рисунків, 69 таблиць, а також містить 54 джерел в переліку посилань.

Актуальність теми полягає в здобутку належного компромісу між зниженням енергопотреби та енергоспоживання будівель та задоволення належного рівня теплового комфорту.

Метою роботи є аналіз теплоспоживання будівлі з використанням моделювання, оцінка та аналіз комфортних умов у приміщеннях за умови проведення комплексної термомодернізації.

Завданням дослідження є виявлення впливу комплексної термомодернізації будівлі на енергоспоживання та енергопотребу будівлі та дослідити цей вплив на забезпечення належних комфортних умов.

Об'єкт дослідження – навчальний заклад, а саме спеціалізована школи №64.

Предмет дослідження – процеси перетворення енергії у будівлі та зміна комфортних умов при термомодернізації.

Наукова новизна розвинуто підходи щодо техніко-економічного обґрунтування термомодернізації будівлі із урахуванням показників комфортності.

Результати досліджень були апробовані та викладені на II науково-технічній конференції магістрів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрів), м. Київ, Національний технічний університет України «КПІ» 2019 рік.

Публікації.

Підготовлені тези на VIII міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет 2018 рік.

Ключові слова та словосполучення: енергопотреба, енергоспоживання, енергозбереження, тепловий комфорт, мікроклімат приміщення, динамічна модель.

ABSTRACT

Master's thesis "Complex thermo-modernization of the building, taking into account the change of category in terms of providing comfortable conditions" consists of 125 pages, 22 figures, 69 tables, and 54 sources containing a list of links.

Actuality is to find a proper compromise between reducing energy consumption and energy consumption of buildings and satisfying an adequate level of thermal comfort.

The aim is to analyze the heat consumption of the building using simulation, evaluation and analysis of comfortable conditions in the premises under the condition of complex thermal modernization.

Research objectives – to study is to identify the impact of complex thermo-modernization of the building on the energy consumption and energy consumption of the building and to investigate this impact on the provision of appropriate comfortable conditions.

The object of study – an educational institution, namely specialized school number 64.

Subject of research – the processes of energy conversion in a building and the change of comfortable conditions during thermal modernization.

Scientific novelty approaches to the feasibility study of thermo-modernization of the building with regard to comfort indices have been developed.

The research results were tested and presented at the II Scientific and Technical Conference of Masters of IEE (according to the results of the dissertations of masters), Kyiv, National Technical University of Ukraine "KPI" 2019.

Publications.

Prepared theses on VIII International Scientific and Practical Conference "Comprehensive Quality Assurance of Technological Processes and Systems", Chernihiv, Chernihiv National Technological University 2018.

Keywords and phrases: energy consumption, energy consumption, energy saving, thermal comfort, room microclimate, dynamic model.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕН.....	9
ВСТУП.....	10
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	13
1.1 Характеристика об’єкта дослідження	13
1.2 Підходи щодо оцінки рівня теплового комфорту та категорії будівлі щодо забезпечення комфортних умов.....	15
1.3 Особливості техніко-економічного обґрунтування термомодернізації із врахуванням зміни вартості енергоносіїв в часі.....	17
Висновки до розділу	20
2 ІНЖИНІРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ШКОЛИ № 64.....	21
2.1 Дослідження огорожувальних конструкцій будівлі.....	21
2.1.1 Теплопередача трансмісією.....	21
2.1.2 Теплопередача вентиляцією.....	27
2.1.3 Загальні тепловтрати.....	29
2.1.4 Внутрішні теплонадходження.....	29
2.1.5 Сонячні теплонадходження	31
2.1.6 Розрахунок енергопотреби для опалення та охолодження.....	35
2.1.7 Розрахунок енергопотреби на ГВП.....	39
2.1.8 Визначення класу енергетичної ефективності за енергопотребою.....	39
2.1.9 Розрахунок енергоспоживання при опаленні.....	40
2.1.10 Розрахунок енергоспоживання при охолодженні.....	45
2.1.11 Розрахунок енергоспоживання при гарячому водопостачанні	47
2.1.12 Розрахунок енергоспоживання при освітленні.....	48
2.1.13 Шляхи підвищення енергоефективності.....	49
2.1.14 Пропозиції щодо модернізації.....	51
2.2 Дослідження джерел теплопостачання.....	62
2.2.1 Дослідження системи опалення.....	62
2.2.2 Аналіз щомісячного споживання теплової енергії.....	65

2.2.3 Тепловізійне обстеження будівлі.....	67
2.3 Дослідження системи водопостачання та водовідведення.....	69
2.4 Дослідження системи електропостачання.....	70
2.4.1 Аналіз сучасного стану постачання електроенергії.....	70
2.4.2 Аналіз поточного технічного стану системи	72
2.4.3 Шляхи підвищення ефективності.....	75
2.4.4 Пропозиції щодо модернізації системи.....	79
Висновки до розділу.....	83
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ КАТЕГОРІЇ БУДІВЛІ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТНИХ УМОВ.....	85
3.1 Техніко-економічне обґрунтування комплексної термомодернізації.....	85
3.2 Вплив термомодернізації на рівень теплового комфорту.....	91
3.2.1 Характеристика моделі дослідження	91
3.2.2 Зміна категорії щодо забезпечення комфортних умов.....	99
Висновки до розділу.....	100
4 Енергоменеджмент та моніторинг.....	101
Висновки до розділу.....	103
5 Розроблення стартап-проект.....	104
5.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту.....	104
5.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту	105
5.3 Аналіз конкурентного середовища.....	106
5.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту	108
5.5 Ключові види діяльності та ключові партнери.....	109
5.6 Фінансове обґрунтування стартап-проекту.....	109
5.6.1 Прямі матеріальні витрати.....	109
5.6.2 Витрата на оплату праці.....	110
5.6.3 Інші прямі витрати.....	111

5.6.4 Умовно-змінні витрати.....	111
5.6.5 Умовно-постійні витрати.....	112
5.6.6 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту...	112
5.7 Обґрунтування рівня рентабельності інноваційної ідеї.....	113
5.8 Обґрунтування вартості виробництва інноваційної техніки	114
5.9 Цільові групи потенційних споживачів.....	114
5.10 Канали збуту	115
5.11 Бізнес-модель проекту.....	116
Висновки до розділу.....	117
ВИСНОВКИ.....	118
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	120

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

EN – Європейські норми;

PMV – прогнозована середня оцінка тепловідчуттів людини;

ДСТУ – Державний стандарт України;

ГВП – гаряче водопостачання;

ЕЕ – енергоефективні заходи з енергозбереження;

МІТП – модульний індивідуальний тепловий пункт;

ДБН – Державні будівельні норми;

ТП – трансформаторна підстанція;

ВРП – ввідно-розподільчий пункт;

АСОЕ – автоматизована система обліку електроенергії;

ЛУЗОД – локальна установка збору і обробки даних;

АСЕМ – автоматизована система енергомоніторингу;

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси;

ПУП – постачальник універсальних послуг;

ТОВ – товариство з обмеженої відповідальності;

ПрАТ – приватне акціонерне товариство.

ВСТУП

Актуальність теми. Близько 40 % світового енергоспоживання та 1/3 викидів парникових газів припадає на будівлі [1]. Відповідно до цього адаптують українські стандарти до міжнародних і відповідно зростають вимоги щодо ефективного використання енергії будівлями [2–4]. Підвищення енергетичної ефективності будівель можливе за рахунок сукупності заходів, спрямованих на теплозахисну оболонку будівлі, систему опалення та джерело теплоти. Тому це питання вимагає загального комплексного підходу вирішення, враховуючи різні обмеження, спричинені вимогами до належної якості мікроклімату у приміщенні. Висока якість мікроклімату у приміщеннях представлена сучасними стандартами та показниками [5–8]. У даній ситуації важливим є здобуток належного компромісу між зниженням енергопотреби та енергоспоживання будівель та задоволення належного рівня теплового комфорту.

У міжнародній практиці значну долю уваги приділяють питанню енергоефективності будівель, на що вказують діючі нормативні документи. У Європейському Союзі розроблено багато відповідних стандартів. Їх перекладено та впроваджено в Україні, а саме такі як: EN ISO 13790: 2008 [2] – представлено методикку для розрахунку річної потреби та енергоспоживання для опалення та охолодження, запропоновано три варіанти розрахунку енергопотреби, а саме: простий погодинний, помісячний та динамічне моделювання; EN 15217: 2007 [3] – представлено методи для визначення енергетичної сертифікації будівель та їх енергоефективності; EN 15603:2008 [4] – цей стандарт об'єднав в собі всі результати, отримані за методиками інших стандартів, в яких наведено алгоритм розрахунку енергоспоживання, а також наводить енергетичні оцінки, які ґрунтуються на первинній енергії та викидах двооксиду вуглецю.

На даний час в Україні відбувається пристосування вітчизняних стандартів до європейських, а це в свою чергу приводить до підвищення вимог термічного опору огорожувальних конструкцій [9], а підвищення цін на теплову енергію та газ обумовило самостійне вирішення питання термомодернізації будівлі. На жаль,

зазначені заходи не призводять до омріяних та довгоочікуваних результатів у напрямку спрямованих на економію. Дану проблему може вирішити тільки комплексний підхід щодо удосконалення теплової ізоляції та до будівлі в цілому дозволить вирішити проблему підвищення енергоефективності будівель.

Ще одним не менш важливим питанням, яке буде розглядатися, є підвищення якості теплового комфорту в будівлях. А це пов'язане з визначеними показниками теплового комфорту, значення яких визначають відповідні стандарти. В основу сучасних стандартів покладена енергетична модель людини. Для оцінювання комфортних умов використовують такі показники, як: PMV (прогнозована середня оцінка тепловідчуттів людини) та PDD (прогнозований процент незадоволених) [7], за принципом яких відповідно визначаються три зони комфортності (А, В і С) [10].

Параметри мікроклімату у приміщеннях та комфортність умов в Україні визначають на основі таких документів, як: ДСТУ Б EN 15251:2011 – визначає параметри мікроклімату приміщення, що впливають на енергетичні характеристики будівель [5]. Цей стандарт визначає, як досягти заданих параметрів мікроклімату приміщення для проектування систем будинку та розрахунків енергетичних характеристик; ДСТУ Б EN 15261:2012 – наведено розрахунок параметрів мікроклімату [6]; ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 – цей стандарт представляє аналітичне визначення показників теплового комфорту, критеріїв локального теплового дискомфорту, охоплює оцінку допустимого теплового середовища.

Велика кількість стандартів щодо якості теплового клімату та підвищення енергоефективності будівель обумовлюють підвищення наукового інтересу до цієї проблематики. Тому закордонними дослідниками, а саме I. Budaiwi [11] – розглядається створення відповідних теплових умов для задоволення бажань людини до теплового комфорту. У своїй статті дослідник наводить спеціальну анкету за допомогою якої можна виявити проблеми з комфортним умовами та завчасно запобігти їм. Дослідники В. Simons, С. Koranteng, Е. Adinyira, J. Ayarkwa [12] – аналізують тепловий комфорт в багатоповерхових офісних будівлях, де дослідження було спрямоване на оцінку рівня теплового комфорту в кабінетах, що

провітрюються природним та механічним способом. Також дослідники M. La Gennusa, A. Nucarab, G. Rizzo, G Scaccianoce [13]– представили простий метод для оцінки середньої радіаційної температури для людського предмету розміщеного в обмеженому просторі.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Характеристика об'єкта дослідження

Об'єктом даного дослідження є спеціалізована школа №64 зображено на рисунку 1.1.

Адреса будівлі: м. Київ, вул. Ушинського, 32.



Рисунок 1.1 – Спеціалізована школа №64

Будівля навчального закладу має учбове призначення та була збудована в 1973 році.

У будівлі розміщені такі приміщення, як навчальні класи, комп'ютерні класи, кухня, столове приміщення, буфет, актова зала та спортивна зала.

Постійно присутні:

- учні – 765 осіб;
- працюючий персонал – 72 особи.

Режим роботи навчального закладу:

Навчання починається о 8.00 та закінчується о 15.55.

З 16.00 до 21.00 в закладі працюють різного виду гуртки.

Також в нічні години, а саме з 21.00 до 8.00, в будівлі знаходяться охоронці.

Будівля навчального закладу збудована в Н-подібній формі (рисунок 1.2).

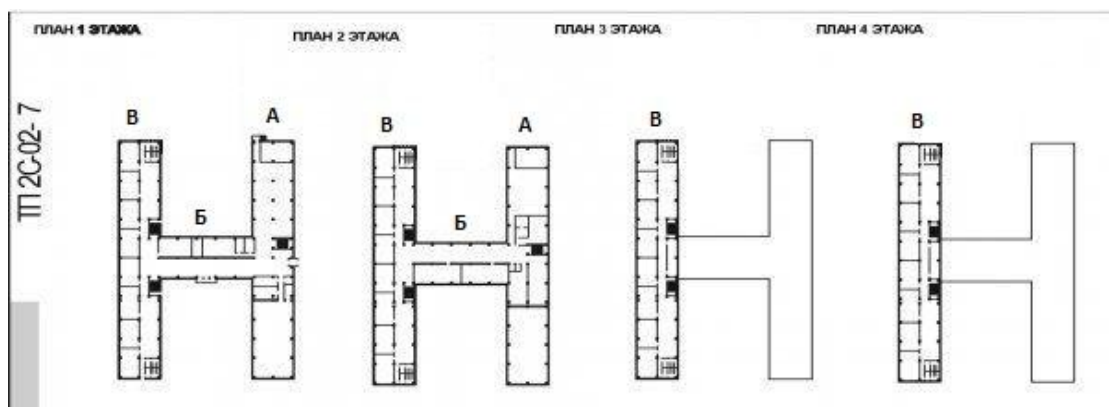


Рисунок 1.2 – Поверховий план навчального закладу

З поверхового плану школи можна умовно розбити будівлю на три блоки:

Блок А – складається з двох поверхів. На першому поверсі розміщена кухня і безпосередньо приміщення їдальні та спортивна зала. На другому поверсі знаходяться навчальні класи. Під всією площею розміщений неопалювальний підвал.

Блок Б – складається з двох поверхів. На першому розміщені роздягальні приміщення, а на другому безпосередньо знаходяться навчальні класи. Підлога розташована на ґрунті.

Блок В – складається з чотирьох поверхів на кожному з яких розміщені навчальні класи. Підлога розташована на ґрунті.

Основні розмірні параметри наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.– Основні розмірні параметри

Блок будівлі	Площа забудови, м ²	Об'єм забудови, м ³
Блок А	917,96	6 701,12
Блок Б	414,86	3 028, 48
Блок В	917,96	13 861,19
Разом	2250,78	23 590,79

Опис огорожувальних конструкцій наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Опис огорожувальних конструкцій будівлі

Огороджувальні конструкції	Конструктивний опис
Стіни	Силікатна цегла на цементно-піщаному розчині. Всередині оштукатурені
Підлога	Залізобетонні панелі на цементно-піщаному розчині. Підлога в приміщеннях з природнього каменю
Дах	Залізобетонні панелі на цементно-піщаному розчині, вкрито шаром гравію керамзитового та ззовні встелено руберойдом. Всередині стела поштукатурена
Вікна	Металопластикові з одинарним склопакетом
Двері	Дерев'яні з тамбуром, металопластикові та металеві

1.2 Підходи щодо оцінки рівня теплового комфорту та категорії будівлі щодо забезпечення комфортних умов

Оскільки вимоги до енергозбереження зростають, то забезпечення комфортних умов мікроклімату є обмежувальним фактором. Отже існує декілька математичних моделей тепловідчуттів людини за різних параметрів навколишнього середовища і їх розвиток почався ще з 1970 року [35]. Однією з таких моделей є модель А. Р. Gagga [36] – дана модель представляє зв'язок між тепловими відчуттями людини та умов довкілля і базується на емпіричній моделі [37]. Далі модель [38] визначає залежність для зимового періоду між температурою повітря в приміщенні та середньою радіаційною температурою. Модель Ван – Зулена [39] також пов'язує між собою такі параметри як середню радіаційну температуру, температуру в приміщенні, швидкість руху та тиск повітря:

$$S = 7,83 - 0,1 \cdot t_{\text{в}} - 0,0968 \cdot t_{\text{р}} - 0,0372 \cdot p_{\text{п}} + 0,0367 \cdot v^{0,5} (37,8 - t_{\text{в}}) \quad (1.1)$$

де S – показник теплового відчуття людини: 1 – жарко; 2 – тепло; 3 – приємно тепло; 4 – комфортно; 5 – приємно прохолодно; 6 – холодно; 7 – дуже холодно;

$t_{\text{в}}$ – температура повітря у кімнаті, °С;

t_p – середня радіаційна температура повітря, °С;

p_n – парціальний тиск, бар;

v – швидкість руху повітря у кімнаті, м/с.

На таких же параметрах заснована модель Уінслоу С.Є та Гейджа А.П. [39]:

$$S = 11,16 - 0,0556 \cdot t_e - 0,0538 \cdot t_p - 0,0372 \cdot p_n + 0,014 \cdot v^{0,5} (37,8 - t_e) \quad (1.2)$$

Наявна ще адаптивна модель теплового комфорту, яка розуміє під собою, що людина може самостійно адаптуватися до змінних умов у приміщенні. Дана модель представляє залежність між середньомісячною температурою повітря та операційною температурою. Ця модель розвинена у вітчизняному та європейському стандарті ДСТУ EN 15251 [5] та в американському ASHRAE 55: 2004 [40].

На мою думку найбільш впливовою є модель Фангера [37] тому що вона заснована на великій кількості досліджень і на об'єктивності отриманих результатів. Дана модель заснована на індексі PMV. Вона заснована на теоріях терморегуляції та теплового балансу. Відповідно до цих теорій, людський організм використовує фізіологічні процеси, щоб підтримувати баланс між теплом, що виробляється метаболізмом і теплом, втраченим в організмі. І саме цим методом будемо користуватися в даній роботі.

Відповідно до ДСТУ Б EN 15251:2011 [5] різні категорії внутрішнього середовища встановлюються виходячи з різних критеріїв для PMV та PPD, які визначаються відповідно [7], представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Приклади рекомендованих категорій для проектування будівель із механічним опаленням та охолодженням

Категорія	Тепловий стан будівлі в цілому	
	<i>PPD</i> %	Очікувана середня оцінка ступеня комфорту (індекс комфортності) Predicted Mean Vote
I	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
II	<10	$-0,5 < PMV < +0,5$
III	<15	$-0,7 < PMV < +0,7$
IV	>15	$PMV < -0,7$; або (or) $+0,7 < PMV$

Та в таблиці 1.4 зазначимо сфери застосування даних категорій.

Таблиця 1.4 – Сфери застосування категорій

Категорії	Пояснення
I	Високий рівень очікувань, рекомендований для приміщень, що займають дуже чутливі та слабкі люди з особливими потребами, такі як інваліди, хворі, маленькі діти та люди похилого віку
II	Нормальний рівень очікувань має виконуватися для нових будівель та реновації
III	Допустимий середній рівень очікувань може бути використаний для існуючих будівель
IV	Значення поза межами критеріїв вищезгаданих категорій. Ця категорія має прийматися для обмеженого періоду року

1.3 Особливості техніко-економічного обґрунтування термомодернізації із врахуванням зміни вартості енергоносіїв в часі

На даний час в Україні присутня така проблема, як низькоефективне використання теплової енергії для підтримання та забезпечення належного мікроклімату в приміщеннях. Насамперед, питання яке пов'язане з тепловою ефективністю будівель залежить від вибору джерела теплоти та зовнішньої оболонки будівлі. Дане питання вимагає значних початкових інвестицій, які не

завжди так просто знайти, тому виходячи з цього виникає проблема і для її вирішення необхідний техніко-економічний аналіз різних джерел теплоти [54].

Виходячи з теперішньої ситуації нашої країни ціни на газ приблизно однакові і змінюються не часто. І спираючись на це необхідно оцінювати терміни окупності для теплового обладнання, яке споживає інші ресурси для створення належних умов мікроклімату у приміщенні.

Дослідивши дані ТОВ ЕСКО «Екологічні Системи» [52] щодо зміни вартості енергоносіїв в часі для газу представлено на рисунку 1.3 та для електричної енергії на рисунку 1.4.

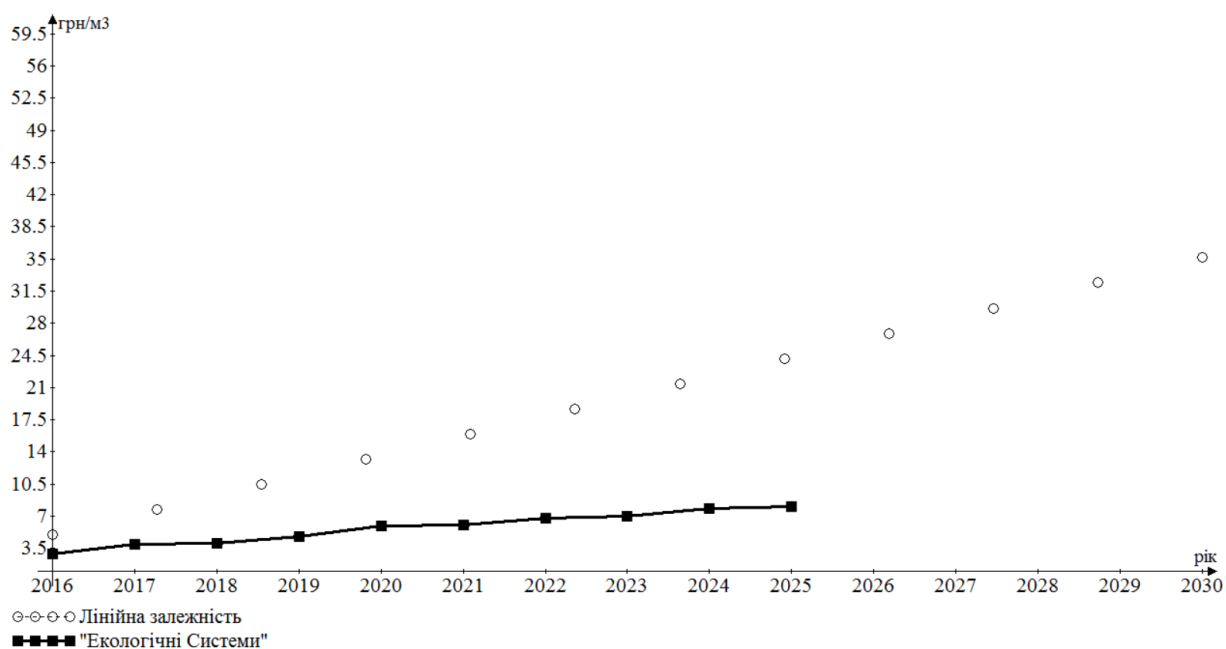


Рисунок 1.3 – Порівняння прогнозів щодо зміни тарифів на газ

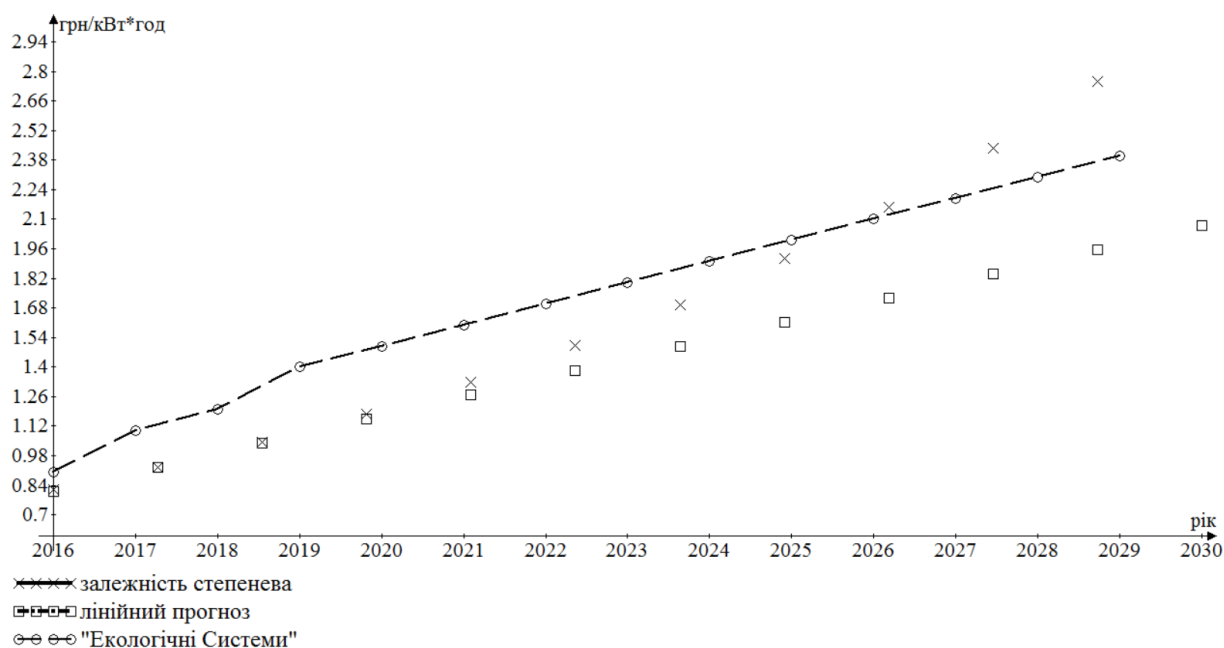


Рисунок 1.4 – Порівняння прогнозів щодо зміни тарифів на електричну енергію

Тому зважаючи на постійні зміни ціни на енергоносії в часі врахування вартісної сторони під час визначення найбільш оптимального джерела теплоти є достатньо актуальною.

У працях [31, 32] представлено та обґрунтовано вибір ставки дисконтування за різними методами для вибору джерела теплоти. Зважаючи на проведені дослідження ставку дисконтування можна розрахувати в залежності від способу фінансування та самого проекту [33, 34], враховуючи поправку на ризики:

- 1) для проектів комерційного призначення вільна від ризику ставка може дорівнювати середній процентній ставці за банківськими депозитами;
- 2) для проектів енергоефективних, що вводяться в дію комунальними підприємствами чи місцевою владою, беручи до уваги їх екологічний та соціальний ефект, вільна від ризику ставка може прирівнюється до рівня інфляції [53] плюс 1–2%;
- 3) у випадку коли проект розробляється під певного інвестора, необхідно застосовувати ті ставки дисконтування, які пропонує інвестор.

Ставку дисконтування обираємо відповідно до відсоткової ставки за банківськими депозитами.

Висновок до розділу

1. В цьому розділі було розглянуто об'єкт подальших досліджень, а саме спеціалізована школа №64. Було представлено кількість присутніх, режим роботи будівлі, схематичне зображення поверхового плану, пораховані загальні площі кожного блоку будівлі та зроблений опис огорожувальних конструкцій будівлі.
2. Проаналізовано різні міжнародні підходи щодо оцінки рівня теплового комфорту та категорії будівлі щодо забезпечення комфортних умов. Було обрано найбільш вдалий метод оцінки рівня теплового комфорту для подальших досліджень та було проаналізовано зміну вартості енергоносіїв в часі.

2 ІНЖИНІРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ШКОЛИ №64

2.1 Дослідження огорожувальних конструкцій будівлі

2.1.1 Теплопередача трансмісією

Розрахуємо площу першого поверху будівлі:

$$A_{1\text{пов}} = A_{\text{блокА}} + A_{\text{блокБ}} + A_{\text{блокВ}} = 917,96 + 414,86 + 917,96 = 2251 \text{ м}^2.$$

Кондиціонована площа навчального закладу:

$$A_f = A_{\text{блокА}} \cdot N + A_{\text{блокБ}} \cdot N + A_{\text{блокВ}} \cdot N = 917,96 \cdot 2 + 414,86 \cdot 2 + 917,96 \cdot 4 = 6337 \text{ м}^2,$$

де N – кількість поверхів школи.

Кондиціонований об'єм будівлі:

$$V = A_{\text{блокА}} \cdot h + A_{\text{блокБ}} \cdot h + A_{\text{блокВ}} \cdot h = 917,96 \cdot 7,3 + 414,86 \cdot 7,3 + 917,96 \cdot 15,1 = 23591 \text{ м}^3,$$

де h – висота блоку будівлі.

Об'єм вентиляції будівлі:

$$V_{ve} = 0,7 \cdot V = 0,7 \cdot 23591 = 16513,7 \text{ м}^3.$$

Визначення площ огорожувальних конструкцій занесемо до таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 – Площа огорожувальних конструкцій

№	Огороджувальні конструкції	Площа $A_i, \text{ м}^2$
1	Зовнішні стіни, в тому числі орієнтовані на:	
	- північ	431,2
	- схід	923,9
	- південь	434,0
	- захід	1024,5
2	Покриття	2251
3	Підлога	2251
4	Двері	35,88
5	Вікна в тому числі орієнтованих на:	
	- північ	91,88
	- схід	576,26
	- південь	100,7
	- захід	482,69

Коефіцієнт компактності:

$$L_{\text{буд}} = \frac{F_{\Sigma}}{V} = \frac{8602,6}{23591} = 0,36,$$

де F_{Σ} – площа всіх огорожувальних конструкцій.

Коефіцієнт скління:

$$m_{\text{ск}} = \frac{\sum A_{\text{вік}}}{\sum (A_{\text{вік}} + A_{\text{ст}} + A_{\text{дв}})} = \frac{1251,5}{1251,5 + 2813,6 + 35,88} = 0,31.$$

Розраховуємо опір теплопередачі для міста Київ та даної характеристики зовнішньої стіни.

Таблиця 2.2 – Розрахункові дані

№ шару	Найменування шару	Густина ρ_0 , кг/м ³	Товщина δ , м	Теплопровідність λ_{ip} , Вт/(м·К)
1	Розчин вапняно-піщаний	1600	0,01	0,81
2	Силікатна цегла	1800	0,51	0,87
3	Розчин цементно-піщаний	1800	0,01	0,93

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховують за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}}, \quad (2.1)$$

де $\alpha_{\text{в}}$ та $\alpha_{\text{з}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$, які приймаються згідно [14];

δ_i – товщина i -го шару конструкції, м;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (розрахункова теплопровідність), $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

n – кількість шарів огорожувальної конструкції.

Розрахункову теплопровідність матеріалів приймають згідно з [14].

Опір теплопередачі зовнішньої стіни розраховуємо відповідно до формули (2.1):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,51}{0,87} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 0,77 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огороджувальної конструкції розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j \cdot L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k \cdot N_k}, \quad (2.2)$$

де F_{Σ} – загальна площа конструкції, м²;

$R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі і-ої термічної однорідної частини конструкції, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$,

визначені згідно з формулою (2.1);

F_i – площа і-ої термічно однорідної частини конструкції, м²;

k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі j-го лінійного теплопровідного включення, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

L_j – лінійний розмір (проекція) j-го лінійного теплопровідного включення, м;

ψ_k – точковий коефіцієнт теплопередачі k-го точкового теплопровідного включення, $\frac{\text{Вт}}{\text{К}}$;

N_k – загальна кількість k-их точкових теплопровідних включень, шт.

Лінійні коефіцієнти теплопередачі поширених лінійних теплопровідних включень та точкові коефіцієнти теплопередачі наведені в [14].

За аналогією розраховуємо опір теплопередачі для вікон, покриття, підлоги, зовнішніх дверей. Продовження таблиці 2.3.

Результати розрахунку зведенні до таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Розрахунок опору теплопередачі огороджувальних конструкцій

Огородження	Шар	$\delta, \text{м}$	$\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\alpha_{\text{вн}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\alpha_{\text{з}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	Лінійні теплові включення	b_u	$R, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$R_{\text{пр}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
Зовнішня стіна	Розчин вапняно-піщаний	0,01	0,81	8,7	23	0	1	0,77	0,77
	Силікатна цегла	0,51	0,87						
	Розчин цементно-піщаний	0,01	0,93						
Вікна	Металопластикові з одинарним склопакетом					0	1	0,4	0,4

Продовження таблиці 2.3

Горищне перекриття	Розчин вапняно-піщаний	0,02	0,81	8,7	12	0,075	1	1,72	1,52
	Залізобетон	0,22	2,04						
	Гравій керамзитовий	0,15	0,12						
	Розчин цементно-піщаний	0,03	0,93						
	Руберойд	0,02	0,17						
Підлога над підвалом	Гравій керамзитовий	0,05	0,23	8,7	6	0	0,3	0,61	2,02
	Розчин цементно-піщаний	0,05	0,93						
	Залізобетон	0,22	2,04						
Підлога на ґрунті	Плити з природного каменю	0,03	3,49			0,15	1	2,86	2
	Розчин цементно-піщаний	0,05	0,93						
	Залізобетон	0,22	2,04						
Двері	Металеві, дерев'яна, металопластикові			8,7	23	0	1	0,45	0,45

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі, тобто U -фактор $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$, який в свою чергу розраховується за формулою :

$$U = \frac{1}{R}, \quad (2.3)$$

Розрахункові дані огорожувальних будівлі навчального закладу запишемо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахункові данні

№	Огороджувальні конструкції	Площа A_i, m^2	Приведений опір теплопередачі $R, (m^2 \cdot K)/Вт$	U -фактор, $Вт/(m^2 \cdot K)$	Коефіцієнти	
					$b_{tr,x,H}$	$b_{tr,x,C}$
1	Зовнішні стіни	2813,6	0,77	1,3	1	1
2	Вікна	1251,5	0,4	2,5	1	1
3	Покриття	2251	1,52	0,66	1	1
4	Підлога на ґрунті	1332,83	2	0,5	1	1
	Підлога над підвалом	917,96	2,02	0,49	0,3	0,3
5	Зовнішні двері	35,9	0,45	2,21	1	1

Сумарну теплопередачу трансмісією Q_{tr} , $Вт \cdot год$, розраховують для кожного місяця та для кожної зони за формулами:

– для опалення:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} (\theta_{int,set,H} - \theta_e) t ; \quad (2.4)$$

– для охолодження:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} (\theta_{int,set,C} - \theta_e) t , \quad (2.5)$$

де $H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією зони, $\frac{\text{Вт}}{\text{К}}$, встановлений для різниці температур всередині-ззовні [15];

$\theta_{int,set,H}$ – задана температура зони будівлі для опалення, °С[15];

$\theta_{int,set,C}$ – задана температура зони будівлі для охолодження, °С[15];

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С, визначається згідно [15];

t – тривалість місяцю для якого проводиться розрахунок, год, визначається згідно [15].

Обрахунки ведуться для всіх місяців опалювального періоду.

На прикладі представимо розрахунки для місяця січень, за формулою (2.4). Всі інші місяці рахуємо аналогічно. Результати зведемо до таблиці 2.6.

$$Q_{tr} = 9474,46 \cdot (20 + 4,7) \cdot 744 = 174110 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією $H_{tr,adj}$, $\frac{\text{Вт}}{\text{К}}$, повинно бути розраховане за формулою:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A , \quad (2.6)$$

де H_D – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, $\frac{\text{Вт}}{\text{К}}$;

H_g – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією по ґрунту, $\frac{\text{Вт}}{\text{К}}$;

H_U – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через не кондиціоновані об'єми, $\frac{\text{Вт}}{\text{К}}$;

H_A – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, $\frac{\text{Вт}}{\text{К}}$.

В загальному випадку H_x , що відображає H_D , H_g , H_U або H_A , складається з трьох доданків та розраховується за формулою:

$$H_x = b_{tr,x} [\sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j] \quad (2.7)$$

де A_i – площа i -го елемента оболонки будівлі, m^2 ;

U_i – коефіцієнт теплопередачі i -го елемента оболонки будівлі, $\frac{Вт}{m^2 \cdot K}$, що становить $U_i = 1/R_{\Sigma i}$;

$R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі i -го елемента оболонки будівлі, $\frac{m^2 \cdot K}{Вт}$, що для непрозорих елементів;

ψ_k – лінійний коефіцієнт теплопередачі k -го лінійного теплопровідного включення, $\frac{Вт}{K}$;

l_k – довжина k -го лінійного теплопровідного включення, m ;

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі j -го точкового теплопровідного включення, $\frac{Вт}{K}$;

$b_{tr,x}$ – поправочний коефіцієнт.

Таблиця 2.5 – Розрахунок трансмісійних тепловтрат через огорожувальні конструкції

№	Огороджувальні конструкції	Площа A_i , m^2	R , $\frac{m^2 \cdot K}{Вт}$	U -фактор, $\frac{Вт}{m^2 \cdot K}$	Коефіцієнти		$H_{tr,H}$, $\frac{Вт}{K}$	$H_{tr,C}$, $\frac{Вт}{K}$
					$b_{tr,x,H}$	$b_{tr,x,C}$		
1	Зовнішні стіни	2813,6	0,77	1,3	1	1	3664,84	3664,84
2	Вікна	1251,53	0,4	2,5	1	1	3134,1	3134,1
3	Покриття	2251	1,72	0,58	1	1	1499,95	1499,95
4	Підлога на ґрунті	1332,83	2,86	0,35	0,3	0,3	665,32	665,32
	Підлога над підвалом	917,96	0,61	1,65	1	1	477,05	477,05
5	Зовнішні двері	35,88	0,45	2,21	1	1	79,45	79,45

Відсоткові трансмісійні втрати представлені на рисунку 2.1.

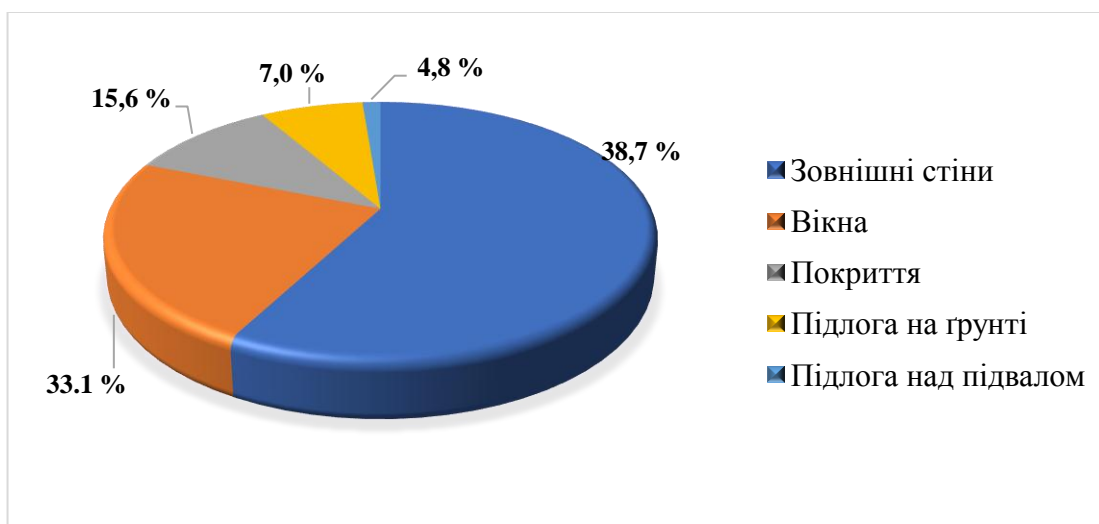


Рисунок 2.1 – Трансмійні втрати через огорожувальні конструкції

Таблиця 2.6 – Розрахунок трансмісійних тепловтрат при опаленні та охолодженні

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	$t_H,$ дні	$t_C,$ дні	$H_{tr.H},$ Вт/К	$H_{tr.C},$ Вт/К	$Q_{tr.H}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$Q_{tr.C}, \text{кВт}\cdot\text{год}$
1	-4,7	744	154	9520,72	9520,72	174960	45096
2	-3,6	672	180			150991	50726
3	1	744	199			134585	47343
4	9	240	193			25135	31214
5	15,2	0	199			0	20491
6	18,3	0	0			0	0
7	19,8	0	0			0	0
8	19	0	6			0	428
9	13,9	0	193			0	22217
10	8,1	360	199			40787	33962
11	1,9	720	193			124074	44251
12	-2,5	744	154			159377	41864
ΣQ_{tr}						809909	337684

2.1.2 Теплопередача вентиляцією

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

$$Q_{ve} = H_{ve} (\theta_{int} - \theta_e) t, \quad (2.8)$$

$\theta_{int} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура внутрішнього повітря для періоду опалення,

$\theta_{int} = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$ – для періоду охолодження;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С,

t – тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год,

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

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot (\sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn}), \quad (2.9)$$

де $\rho_a \cdot c_a$ – теплоємність повітря одиниці об'єму, дорівнює $0,33 \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^3\cdot\text{К}}$;

$q_{ve,k,mn}$ – усереднена за часом витрата повітря від k -го елемента, $\frac{\text{м}^3}{\text{год}}$;

$b_{ve,k}$ – температурний поправочний коефіцієнт для k -го елемента повітряного потоку, зі значенням $b_{ve,k} \neq 1$, якщо температура припливного повітря $\theta_{sup,k}$ не дорівнює температурі зовнішнього середовища, [15];

k – представляє кожен із відповідних елементів повітряного потоку, таких як інфільтрація, природна вентиляція, механічна вентиляція тощо.

Усереднену за часом витрату повітря k -го елемента повітряного потоку $q_{ve,k,mn}$, $\text{м}^3/\text{год}$, розраховують за формулою:

$$q_{ve,inf,mn} = n_{inf,mn} V, \quad (2.10)$$

де $n_{inf,mn}$ – кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації, враховуючи вплив механічної вентиляції, год^{-1} ;

V – кондиціонований об'єм зони/будівлі, м^3 ;

Таблиця 2.7 – Теплопередача природною вентиляцією при опаленні та охолодженні

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	$t_H,$ дні	$t_C,$ дні	$H_{ve,H},$ $\frac{\text{Вт}}{\text{К}}$	$H_{ve,C},$ $\frac{\text{Вт}}{\text{К}}$	$Q_{ve,H},$ кВт·год	$Q_{ve,C},$ кВт·год
1	-4,7	744	154	2343,88	8750,49	48967	108507
2	-3,6	672	180			49623	98853
3	1	744	199			42598	88271
4	9	240	193			7610	53000
5	15,2	0	199			0	29702
6	18,3	0	0			0	0
7	19,8	0	0			0	0
8	19	0	6			0	14910
9	13,9	0	193			0	35345
10	8,1	360	199			12348	60142
11	1,9	720	193			39271	83623
12	-2,5	744	154			43904	100015
$\Sigma Q_{ve} =$						244321	672369

2.1.3 Загальні тепловтрати

Загальні тепловтрати складаються з суми трансмісійних на вентиляційних витрат.

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (2.11)$$

До таблиці 2.8 занесемо загальні тепловтрати по кожному місяцю.

Таблиця 2.8 – Загальні тепловтрати на період опалення та охолодження

Міс.	$Q_{h,ht}$, кВт·год	$Q_{c,ht}$, кВт·год
1	223927	153603
2	200614	149579
3	177183	135704
4	32744	84215
5	0	50193
6	0	0
7	0	0
8	0	15339
9	0	57562
10	53135	94105
11	163345	127874
12	203281	141879
Σ	1054229	1010053

2.1.4 Внутрішні теплонадходження

Внутрішні теплонадходження, теплонадходження від внутрішніх теплових джерел, включаючи від'ємні теплонадходження (розсіяна теплота від внутрішнього середовища до холодних джерел або «стоки»), складаються з будь-якої теплоти, що створюється в кондиціонованому об'ємі внутрішніми джерелами, крім тої, що навмисно використовується для опалення, охолодження або ГВП [15].

Внутрішні теплонадходження включають:

- метаболічну теплоту від людей та розсіяну теплоту від обладнання;
- теплоту, розсіяну від освітлювальних приладів;
- теплоту, розсіяну від або поглинуту системами гарячої і водопровідної води та каналізації;

- теплоту, розсіяну від або поглинуту системами опалення, охолодження та вентиляції;
- теплоту від або до процесів та продукції.

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

$$Q_{int} = (\sum_k \Phi_{int,mn,k} A_f) t, \quad (2.12)$$

де $\Phi_{int,mn,k}$ – усереднений за часом тепловий потік від k -го внутрішнього джерела, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

A_f – кондиціонована площа зони будівлі, м^2 ;

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

Таблиця 2.9 – Система освітлення

Освітлювальні прилади	Потужність ламп, Вт	К-сть ламп на світильнику, шт	Потужність світильника, Вт	К-сть світильників, шт	Всього спожито, кВт	Період роботи, год/тиждень
Лампи розжарювання	60	1	60	145	8,7	28
Лампи люмінесцентні	36	4	144	396	14,26	28
Зовнішнє освітлення	100	1	100	10	1	16
Всього				641	32,96	
Всього середня питома потужність, $\text{Вт}/\text{м}^2$	1,9	Період роботи, год/тиждень				27
Внутрішній тепловий потік від освітлення, $\text{Вт}/\text{м}^2$	3,8	Період роботи, тиждень/рік				36

Таблиця 2.10 – Електрообладнання

Інше впливове	К-сть, шт	Потужність одиниці, кВт	Загальна потужність, кВт	Питома потужність, $\text{Вт}/\text{м}^2$	Період роботи, год/тиждень
Комп'ютерне обладнання	64	1,1	70,4	11,11	14
Чайник	20	2	40	6,31	1,5
Електроплита з духовкою	2	17,5	35	5,52	21
Електроплита	2	15	30	4,73	21
Холодильна камера	1	0,6	0,6	0,09	168

Продовження таблиці 2.10.

Холодильник	2	0,85	1,7	0,27	168
Електромясорубка	1	1,5	1,5	0,24	1
Картопличистка	1	0,6	0,6	0,09	1
Тістомішалка	1	4,5	4,5	0,71	1
Водяний фільтр	2	0,008	0,016	0,0001	14
Витяжка	4	0,6	2,4	0,38	14
Кулер	2	0,5	1	0,16	7
Всього			188	30	

Внутрішній тепловий потік від обладнання, Вт/м ²	14,8	Період роботи, год/тиждень	15,2
Максимальна питома потужність, Вт/м ²	29,62	Період роботи, тиждень/рік	36

Внутрішній тепловий потік від людей визначається згідно [15] і для навчальних закладів дорівнює 7 Вт/м².

Тож результати розрахунків зведемо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунок теплонадходжень від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі

Місяць	$t_{роб}$, год	$t_{осв}$, год	$t_{обл}$, год	$\Phi_{int, люд}$, Вт/м ²	$\Phi_{int, осв}$, Вт/м ²	$\Phi_{int, обл}$, Вт/м ²	A_f , м ²	$Q_{int, люд}$, кВт·год	$Q_{int, осв}$, кВт·год	$Q_{int, обл}$, кВт·год	Q_{int} , кВт·год
1	154	67	52	7	3,8	14,81	6337	6844	2201	4876	13922
2	180	78	61					7985	2568	5689	16242
3	199	86	67					8841	2843	6298	17983
4	193	83	65					8556	2752	6095	17403
5	199	86	67					8841	2843	6298	17983
6	0	0	0					0	0	0	0
7	0	0	0					0	0	0	0
8	6	3	2					285	92	203	580
9	193	83	65					8556	2752	6095	17403
10	199	86	67					8841	2843	6298	17983
11	193	83	65					8556	2752	6095	17403
12	154	67	52					6844	2201	4876	13922
								74149	23849	52825	150822

2.1.5 Сонячні теплонадходження

Джерелом теплових надходжень від сонця є сонячна радіація, режим якої характерний у даній місцевості, та визначається орієнтацією сприймаючих поверхонь, постійним чи рухомим затіненням, пропусканням та поглинанням

сонячної енергії й характеристиками теплопередачі сприймаючих поверхонь. Коефіцієнт, що включає характеристики та площу сприймаючих поверхонь (включно з впливом затінення), називається еквівалентною площею інсоляції, [15]. Теплонадходження від сонця до зони будівлі, що розглядається, для кожного місяця Q_{sol} , Вт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol, mn, k} \right) t, \quad (2.13)$$

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

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

Сонячні теплонадходження через k -ий елемент будівлі, $\Phi_{sol, k}$, Вт, визначають за формулою:

$$\Phi_{sol, k} = F_{sh, ob, k} A_{sol, k} I_{sol, k} - F_{r, k} \Phi_{r, k}, \quad (2.14)$$

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

$A_{sol, k}$ – еквівалентна площа інсоляції k -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 k -ої 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 k -го елемента будівлі.

Еквівалентну площу інсоляції застеленого елемента оболонки (наприклад, вікна) A_{sol} , м², розраховують за формулою:

$$A_{sol} = F_{sh, gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{w, p}, \quad (2.15)$$

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

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

F_F – частка площі обрамлення, відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції заскленого елемента;

$A_{w,p}$ – загальна площа проекції заскленого елемента (наприклад, площа вікна), м².

Для вікон чи інших засклених елементів оболонки з нерозсіювальним склінням коефіцієнт пропускання сонячної енергії для випромінювання, перпендикулярного до скління g_n необхідно розраховувати з урахуванням оптичних властивостей багат шарового скління або приймати згідно з [15].

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

$$g_{gl} = F_w g_n, \quad (2.16)$$

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

Еквівалентну площу інсоляції непрозорої частини оболонки будівлі A_{sol} , м², розраховують за формулою:

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c, \quad (2.17)$$

де $\alpha_{S,c}$ – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною;

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

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

A_c – площа проекції непрозорої частини, м².

4 Додатковий тепловий потік [15] за рахунок теплового випромінювання в атмосферу для відповідного елемента оболонки будівлі Φ_r , Вт, визначають за формулою:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}, \quad (2.18)$$

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

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 зовнішньої 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 $\Delta\theta_{er} = 11 \text{ К}$.

Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні h_r , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, може бути наближено розрахований за формулою:

$$h_r = 4\varepsilon\sigma(\theta_{ss} + 273)^3, \quad (2.19)$$

де ε – коефіцієнт поглинання теплового випромінювання зовнішньою поверхнею огороження, приймають за довідковими даними залежно від її типу;

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

θ_{ss} – середньоарифметичне значення поверхневої температури та температури атмосфери, $^\circ\text{C}$.

Всі розрахунки по сонячному теплонадходженню занесемо до таблиці 2.12 та 2.13.

Таблиця 2.12 – Елементи сонячних теплонадходжень

Місяць	Параметри											
	$A_{sol} \cdot F_{sh}, \text{м}^2$				$A_{sol}, \text{м}^2$					$A_{sol} \cdot F_{sh} \cdot I_{sol}, \text{Вт}$	$\Phi_r \cdot F_r, \text{Вт}$	$\Phi_{sol}, \text{Вт}$
	Пн	Сх	Пд	Зх	Пн	Сх	Пд	Зх	Гор.			
1	43,41	272,28	47,58	228,07	14,5	31	14,6	34,4	51,5	17654	6733	10921
2	43,41	272,28	47,58	228,07	14,5	31	14,6	34,4	51,5	29675	6733	22942
3	43,41	272,28	47,58	228,07	14,5	31	14,6	34,4	51,5	46430	6733	39697
4	43,41	272,28	47,58	228,07	14,5	31	14,6	34,4	51,5	58172	6733	51439
5	43,41	272,28	47,58	228,07	14,5	31	14,6	34,4	51,5	77925	6733	71191
6	39,51	266,83	34,73	118,6	14,5	31	14,6	34,4	51,5	69231	6733	62497
7	39,94	253,22	29,98	116,32	14,5	31	14,6	34,4	51,5	65399	6733	58666
8	41,68	250,5	30,45	109,47	14,5	31	14,6	34,4	51,5	55542	6733	48809

Продовженн таблиці 2.12.

9	43,41	272,28	47,58	228,07	14,5	31	14,6	34,4	51,5	53275	6733	46542
10	43,41	272,28	47,58	228,07	14,5	31	14,6	34,4	51,5	30659	6733	23926
11	43,41	272,28	47,58	228,07	14,5	31	14,6	34,4	51,5	14277	6733	7544
12	43,41	272,28	47,58	228,07	14,5	31	14,6	34,4	51,5	12014	6733	5281

Таблиця 2.13 – Характеристики сонячних теплонадходжень

Місяць	Параметри					
	$I_{пн}, \text{Вт/м}^2$	$I_{сх}, \text{Вт/м}^2$	$I_{пд}, \text{Вт/м}^2$	$I_{зх}, \text{Вт/м}^2$	$I_{гор}, \text{Вт/м}^2$	$Q_{sol}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
1	13	21	50	22	32	8140
2	24	36	70	38	59	15415
3	35	58	90	61	101	29504
4	39	77	92	73	149	36976
5	56	104	101	99	211	52863
6	67	111	96	105	228	44887
7	61	108	98	104	220	43538
8	40	93	106	89	185	36228
9	29	70	102	66	130	33462
10	19	38	75	37	71	17790
11	11	17	39	17	31	5447
12	9	14	35	15	22	3951

2.1.6 Розрахунок енергопотреби для опалення та охолодження

Динамічний метод моделює теплові опори, теплоємності, теплонадходження від сонця та внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі.

У методиці згідно з цим стандартом [15], динамічні впливи враховують шляхом введення коефіцієнта використання надходжень для опалення та коефіцієнта використання втрат для охолодження. Вплив інерції у випадку переривчастого опалення чи його вимкнення враховується окремо.

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення $\eta_{H,gn}$ – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти, γ_H , та числового параметра a_H , який залежить від інерції будівлі, як наведено у формулах:

$$\text{якщо } \gamma_H > 0 \text{ та } \gamma_H \neq 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}, \quad (2.20)$$

$$\text{якщо } \gamma_H = 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1}, \quad (2.21)$$

$$\text{якщо : } \gamma_H < 0 \text{ та } Q_{H,gn} > 0 \quad \eta_{H,gn} = 1/\gamma_H, \quad (2.22a)$$

$$\text{якщо : } \gamma_H \leq 0 \text{ та } Q_{H,gn} \leq 0 \quad \eta_{H,gn} = 1, \quad (2.22б)$$

$$\text{при:} \quad \gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}, \quad (2.23)$$

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

γ_H – безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення;

$Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача для режиму опалення, Вт·год,

$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження для режиму опалення, Вт·год,

a_H – безрозмірний числовий параметр, що залежить від часової константи будівлі, τ_H , визначений за формулою:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad (2.24)$$

де $a_{H,0}$ – довідковий безрозмірний числовий параметр, що приймають рівним 1,0;

τ – часова константа зони будівлі, год, визначена згідно формули (2.25);

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

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

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (2.25)$$

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;

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

Внутрішню теплоємність будівлі або зони будівлі, C_m , Вт·год/К, розраховуються за формулою:

$$C_m = C \cdot A_f, \quad (2.26)$$

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

A_f – кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м².

Енергопотреба для опалення.

Для кожного місяця енергопотребу для опалення, $Q_{H,nd}$, кВт·год, за умови постійного опалення, розраховують за формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}. \quad (2.27)$$

Данні розрахунки помісячно зведемо до таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Розрахунки енергопотреби для опалення

Місяці	Параметри								
	$Q_{H,tr}$ кВт·год	$Q_{H,ve}$ кВт·год	$Q_{H,ht}$ кВт·год	$Q_{H,sol}$ кВт·год	$Q_{H,int}$ кВт·год	$Q_{H,gn}$ кВт·год	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ кВт·год
1	174960	48967	223927	8125	13922	22062	0,1	1	201883
2	150991	49623	200614	15417	16242	31657	0,16	0,999	168977
3	134585	42598	177183	29534	17983	47487	0,27	0,995	129885
4	25135	7610	32744	12345	5801	18126	0,55	0,951	15483
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	40787	12348	53135	8613	8701	17309	0,33	0,991	35977
11	124074	39271	163345	5432	17403	22850	0,14	1	140521
12	159377	43904	203281	3929	13922	17873	0,09	1	185431
Всього	809909	244321	1054229	83396	93974	177364			878157

Безрозмірні співвідношення надходжень і втрат теплоти знаходяться за формулою:

$$\gamma_c = \frac{Q_{c,gn}}{Q_{c,ht}}. \quad (2.28)$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.14.

Часова константа будівлі розраховується без урахування додаткової вентиляції від нічного та/або природнього охолодження за спрощеною формулою:

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr} + H_{ve}}, \quad (2.29)$$

C_m - внутрішня теплоємність будівлі, Вт·год/К, розраховується за формулою (2.26).

Безрозмірний числовий параметр α_c становить:

$$\alpha_c = \alpha_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}}. \quad (2.30)$$

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення $\eta_{c,gn}$ розрахований для кожного місяця згідно з наступними формулами:

$$\text{якщо } \gamma_c > 0, \gamma_c \neq 1 \text{ та } Q_{c,ht} > 0: \quad \eta_{c,ls} = \frac{1 - \gamma_c^{-\alpha_c}}{1 - \gamma_c^{-(\alpha_c + 1)}}, \quad (2.31a)$$

$$\text{якщо } \gamma_c > 0, \gamma_c \neq 1 \text{ та } Q_{c,ht} \leq 0: \quad \eta_{c,ls} = 1, \quad (2.31b)$$

$$\text{якщо } \gamma_c = 1: \quad \eta_{c,ls} = \frac{\alpha_c}{\alpha_c + 1}, \quad (2.32)$$

$$\text{якщо } \gamma_c < 0: \quad \eta_{c,ls} = 1. \quad (2.33)$$

Формула приймається на підставі співвідношення надходжень і втрат теплоти γ_c і числового параметра α_c .

Енергопотреба для охолодження.

Для кожного місяця енергопотребу для охолодження $Q_{c,nd}$, кВт·год, за умови постійного охолодження, розраховують за формулою:

$$Q_{c,nd} = Q_{c,gn} - \eta_{c,ls} Q_{c,ht}. \quad (2.34)$$

Результати розрахунків наведено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Розрахунки енергопотреби для охолодження

Місяці	Параметри								
	$Q_{c,tr}$ кВт·год	$Q_{c,ve}$ кВт·год	$Q_{c,ht}$ кВт·год	$Q_{c,sol}$ кВт·год	$Q_{c,int}$ кВт·год	$Q_{c,gn}$ кВт·год	γ_c	$\eta_{c,gn}$	$Q_{c,nd}$ кВт·год
1	45096	108507	153603	8125	13922	22047	0,14	0,143	0
2	50726	98853	149579	15417	16242	31659	0,21	0,210	0
3	47343	88271	135704	29534	17983	47517	0,35	0,339	1580
4	31214	53000	84215	37036	17403	54438	0,65	0,565	6823
5	20491	29702	50193	52966	17983	70949	1,41	0,852	28195
6	0	0	0	44998	0	44998	0	0	0
7	0	0	0	43647	0	43647	0	0	0
8	428	14910	15339	36314	580	36894	2,41	0,950	22316
9	22217	35345	57562	33510	17403	50913	0,88	0,693	11006
10	33962	60142	94105	17801	17983	357783	0,38	0,365	1445

Продовження таблиці 2.15.

11	44251	83623	127874	5432	17403	22834	0,18	0,177	0
12	41864	100015	141879	3929	13922	17851	0,13	0,126	0
Всього	337684	672369	1010053	328709	150822	479531			71364

2.1.7 Розрахунок енергопотреби для ГВП

Питомі річні енергопотреби ГВП прийняті згідно з таблицею 2.16 і становлять для будівлі учбових закладів 10 кВт·год/м².

Таблиця 2.16 – Питомі річні енергопотреби ГВП

Тип будівлі	кВт·год/м ²
Одноквартирні будинки	15
Багатоквартирні житлові будівлі, гуртожитки	20
Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси	10
Будівлі учбових закладів	10
Будівлі дитячих дошкільних закладів	15
Будівлі закладів охорони здоров'я	30
Готелі* (на 10 % більше для кожної зірочки)	25
Ресторани	60
Спортивні заклади	80
Будівлі закладів гуртової та роздрібної торгівлі	10
Будівлі культурно-розважальних закладів та дозвільних установ	10
Інші види будівель, товарні склади	1,5

Загальні енергопотреби ГВП становлять:

$$Q_{DHW,need} = 10 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2 \cdot A_f = 10 \cdot 6337 = 63370 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

2.1.8 Визначення класу енергетичної ефективності будівлі за енергопотребою

Питома річна енергопотреба для опалення охолодження та ГВП знаходиться за формулою:

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd}) / V_f = (878157 + 71364 + 63370) / 23591 = \\ = 42,94 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3.$$

Нормативна максимальна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів становить $EP_{max} = 28 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, згідно з [16].

Різниця в % розрахункового значення питомої енергопотреби, EP , від максимально допустимого значення, EP_{max} становить:

$$[(EP - EP_{max})/EP_{max}] \cdot 100\% = [(42,94 - 28)/28] \cdot 100\% = 53,34\%.$$

Клас енергетичної ефективності, встановлений за співвідношенням відповідає класу – «E».

2.1.9 Розрахунок енергоспоживання при опаленні

У загальному випадку енергоспоживання визначається як енергопотреби плюс регулярні неутилізовані тепловтрати систем та додаткова енергія. Сумарні регулярні тепловтрати системи складаються з втрат теплоти при виробленні (генеруванні), акумулюванні, транспортуванні, регулюванні, розподіленні та виділенні/тепловіддачі [15].

Основний принцип методу визначення регулярних тепловтрат і додаткової енергії в інженерній системі будівлі базується на аналізі таких підсистем:

- енергетична ефективність підсистеми виділення/тепловіддачі, включаючи регулювання;
- енергетична ефективність підсистеми розподілення, включаючи регулювання;
- енергетична ефективність підсистеми акумулювання та вироблення (генерування), включаючи регулювання.

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі/виділення розраховується за формулою:

$$Q_{H,em,ls} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,em,out} \quad (2.35)$$

де $Q_{H,em,out}$ – енергія виходу підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць, Вт·год, ϵ енергопотребою для опалення за конкретний місяць;

f_{hydr} – коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи; $f_{hydr} = 1,03$ – для двотрубною системи опалення, яка є не налагоджена. Відсутні балансувальні клапани на (горизонтальних вітках) системи;

f_{im} – коефіцієнт, що враховує застосування періодичного теплового режиму приміщення; $f_{im} = 0,97$ – для постійного теплового режиму;

f_{rad} – коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку; $f_{rad} = 1$;

η_{em} – загальний рівень ефективності для тепловіддавальної складової системи у приміщенні, що визначається за формулою:

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})]}, \quad (2.36)$$

де η_{str} – складова загального рівня ефективності, яка враховує вертикальний профіль температури повітря приміщення; розраховується, як середнє значення «температурного напору» ($\eta_{str1} = 0,88$ – температурний напір 90/70 °C) та «питомих тепловтрат зовнішніх огорожувальних конструкцій» ($\eta_{str2} = 0,83$ – для вікон без радіаційного захисту) за формулою:

$$\eta_{str} = (\eta_{str1} + \eta_{str2})/2 = (0,88 + 0,83)/2 = 0,85.$$

η_{ctr} – складова загального рівня ефективності, яка враховує регулювання температури приміщення; $\eta_{ctr} = 0,86$ (регулювання відсутнє);

η_{emb} – складова загального рівня ефективності, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень; $\eta_{emb} = 1$ (вікна без радіаційного захисту).

Енергія входу, що необхідна для підсистеми тепловіддачі/виділення, розраховується за формулою:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out,i} + Q_{H,em,ls,i}. \quad (2.37)$$

Тепловтрати системи розподілення впродовж і-го місяця, Вт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \Psi_{L,j} \cdot (\theta_{m,I} - \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot t_{op,an,I}, \quad (2.38)$$

де $\Psi_{L,j}$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі j-го трубопроводу, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$; $\Psi_{L,v} = 0,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ – ізолювані відкрито прокладені трубопроводи у будинках побудованих до 1980 року;

$\Psi_{L,s} = 1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ – площа неізолюваних трубопроводів менша 200 м²;

$\theta_{m,i}$ – середня температура теплоносія в зоні упродовж і-го місяця, °С; $\theta_{m,v}=10$ °С – температура у техпідпіллі; $\theta_{m,s}=20$ °С – температура у приміщеннях;

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

L_j – довжина трубопроводу, м;

$t_{op,an,i}$ – години опалення упродовж і-го місяця, год.

$L_v=335,52$ м – довжина трубопроводу між теплогенератором та стояками. Це (горизонтальний) трубопровід може бути розташований в неопалювальному об'ємі (підвал, горище).

$L_s=550,2$ м – довжина вертикальних трубопроводів (стояки). Ці трубопроводи можуть бути прокладені в будь-яких опалювальних об'ємах, у зовнішніх стінах або всередині будівлі.

Розрахунок утилізованих та неутилізованих тепловтрат проводиться за наступною послідовністю:

1. Визначають секції, де тепловтрати вважаються непридатними для утилізації (неутилізаційними).

Неутилізаційні тепловтрати системи складаються із втрат підсистеми розподілення (або їх частин), розташованих в неопалювальних об'ємах, які неможливо утилізувати. Тепловтрати трубопроводів, що знаходяться в усіх неопалювальних об'ємах, вважають неутилізованими.

2. Розраховують неутилізаційні $Q_{H,dis,ls,nrbl} = Q_{H,dis,ls,v}$ тепловтрати.
3. Визначають ті секції, де тепловтрати вважають утилізаційними.
4. Розраховують утилізаційні $Q_{H,dis,ls,rbl,i} = Q_{H,dis,ls,A} + Q_{H,dis,ls,S}$.
5. Розраховують утилізовані $Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ тепловтрати, які

розраховуються за формулою:

$$Q_{H,dis,ls,rvd,i} = Q_{H,dis,ls,rbl,i} \cdot 0,9 \cdot \eta_{H,gn,i} \quad (2.39)$$

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

6. Розраховують неутилізовані $Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ тепловтрати, за формулою:

$$Q_{H,dis,ls,nrvd,i} = Q_{H,dis,ls,nrbl,i} + (Q_{H,dis,ls,rbl,i} - Q_{H,dis,ls,rvd,i}) \quad (2.40)$$

Енергія входу, яка необхідна для підсистеми розподілення, Вт·год, визначається за формулою:

$$Q_{H,dis,in,I} = Q_{H,dis,out,I} + Q_{H,dis,ls,nrvd,i} \quad (2.41)$$

де $Q_{H,dis,out,i}$ – енергія виходу з підсистеми розподілення упродовж і-го місяця дорівнює енергії входу до підсистеми тепловіддачі $Q_{H,em,in,i}$ для певної комбінації зон, що обслуговуються тією ж самою підсистемою розподілення, Вт·год;

$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ – неутилізовані тепловтрати підсистеми розподілення упродовж і-го місяця, Вт·год.

Загальна енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти дорівнює енергії виходу в підсистему розподілення:

$$Q_{H,gen,out,I} = Q_{H,dis,in,i} \quad (2.42)$$

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

$Q_{H,dis,in,i}$ – енергія входу в підсистему розподілення упродовж і-го місяця, Вт·год.

Загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, Вт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{H,gen,ls,I} = Q_{H,gen,out,I} (1 - \eta_{H,gen}) / \eta_{H,gen} \quad (2.43)$$

де $\eta_{H,gen}$ – ефективність підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти; $\eta_{H,gen}=0,86$ (для опалення: централізоване тепlopостачання з центральним якісним регулюванням за температурним графіком до 110 °С без зрізки без коригування ІТП. Централізоване тепlopостачання з центральни якісним регулюванням та ЦТП без коригування за погодними умоваим);

$Q_{H,gen,out,i}$ – енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, Вт·год.

Споживання теплової енергії при опаленні приміщень визначають за формулою:

$$Q_{H,use,I} = Q_{H,gen,out,I} + Q_{H,gen,ls,I} \quad (2.44)$$

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

$Q_{H,gen,ls,i}$ – загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, Вт·год.

Значення результатів розрахунків енергетичних потоків в підсистемі розподілення та розрахунок енергоспоживання при опалення занесемо до таблиці 2.17 та 2.18.

Таблиця 2.17 – Значення енергетичних потоків в підсистемі розподілення

Місяць	Параметри						
	$Q_{H,dis,out}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrbl}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rbl}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd}$, кВт·год	$Q_{H,dis,in}$, кВт·год
1	236998	20069	7788	12280	11051	9018	246016
2	198369	18127	7035	11092	9976	8151	206520
3	152478	20069	7788	12280	11001	9068	161546
4	18176	19421	7537	11884	10174	9247	27426
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	42235	20069	7788	12280	10952	9116	51351
11	164963	19421	7537	11884	10691	8730	173694
12	217686	20069	7788	12280	11052	9017	226703
Всього	1030906	137245	53262	83983	74898	62347	1093253

Таблиця 2.18 – Розрахунок енергоспоживання для опалення

Місяць	Параметри						
	$Q_{H,nd}$, кВт·год	Період опалення, год	$Q_{H,em,ls}$, кВт·год	$Q_{H,em,in} = Q_{H,dis,out}$, кВт·год	$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out}$, кВт·год	$Q_{H,gen,ls}$, кВт·год	$Q_{H,use}$, кВт·год
1	201883	744	35116	236998	246016	40049	286065
2	168977	672	29392	198369	206520	33620	240139
3	129885	744	22593	152478	161546	26298	187844
4	15483	240	2693	18176	27426	4464	31887
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	35977	360	6258	42235	51351	8360	59711
11	140521	720	24443	164963	173694	28276	201969
12	185431	744	32254	217686	226703	36905	263608
Всього	878157	4224	152749	1030906	1093253	177971	1271224

2.1.10 Розрахунок енергоспоживання при охолодженні

В якості підсистеми тепловіддачі/виділення при охолодженні беруть до уваги обладнання, що використовується в залежності від навантаження охолодження (змійовики з вентиляторним обдувом, охолоджувальні стелі, спліт-системи охолодження тощо).

Енергія входу для підсистеми виділення/тепловіддачі дорівнює енергії виходу для підсистеми тепловіддачі:

$$Q_{C,em,in,i} = Q_{C,em,out,i} \quad (2.45)$$

де $Q_{C,em,in,i}$ – енергія входу для підсистеми виділення/тепловіддачі упродовж i -го місяця, Вт·год;

$Q_{C,em,out,i}$ – енергія виходу для підсистеми виділення/тепловіддачі упродовж i -го місяця, що дорівнює енергопотребі для охолодження у даному місяці $Q_{C,nd}$ Вт·год.

$$Q_{C,em,in,i} = Q_{C,em,out,i} = 71364 \text{ кВт·год.}$$

Річні тепловтрати підсистемою розподілення охолодження, кВт·год, визначають за формулою:

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} ((1 - \eta_{C,ce}) + (1 - \eta_{C,ce,sens}) + (1 - \eta_{c,d})), \quad (2.46)$$

де $\eta_{C,ce}$ – ступінь утилізації теплообміну при охолодженні в системі охолодження, приймають згідно з даними [15];

$\eta_{C,ce,sens}$ – ступінь явної утилізації теплообміну при охолодженні і системі охолодження, приймають згідно з даними [15]. Ця величина враховує небажане осушення в існуючому устаткуванні системи охолодження;

$\eta_{c,d}$ – ступінь утилізації підсистеми розподілення, приймають згідно з даними [15].

Підсистеми розподілення системи охолодження зазвичай працюють із меншою температурною різницею між носієм та температурою зовнішнього охолоджуваного простору ніж системи опалення, відтак утилізаційні втрати холоду в системі розподілення, що знаходяться в системі розподілення, не беруть до уваги, тому:

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} = 71364 \text{ кВт·год.}$$

Енергія входу, яка необхідна для підсистеми розподілення, кВт·год, визначають за формулою:

$$Q_{C,dis,in} = \Sigma Q_{C,dis,out,i}/1000 + Q_{C,dis,ls}, \quad (2.47)$$

де $Q_{C,dis,out,i}$ – енергія виходу для підсистеми розподілення упродовж і-го місяця, Вт·год, приймають такою, що дорівнює енергії входу для підсистеми тепловіддачі $Q_{C,em,ini}$;

$Q_{C,dis,ls}$ – річні тепловтрати підсистемою розподілення охолодженого повітря, кВт·год.

$$Q_{C,dis,in} = 71364/1000 + 71364 = 71435,36 \text{ кВт·год.}$$

Загальну енергію виходу з підсистеми виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{C,gen,out} = Q_{C,dis,in} / \eta_{C,ac}, \quad (2.48)$$

де $Q_{C,dis,in}$ – енергія входу в підсистему розподілення, кВт·год;

$\eta_{C,ac}$ – ефективність автоматичного управління/регулювання, приймають в залежності від класу ефективності системи управління/регулювання (у разі відсутності системи охолодження в будівлі приймаємо, що $\eta_{C,ac}=0,93$).

$$Q_{C,gen,out} = 71435,36/0,93 = 76812,22 \text{ кВт·год.}$$

Загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} (1 - \eta_{C,gen}) / \eta_{C,gen}, \quad (2.49)$$

де $\eta_{C,gen}$ – ефективність підсистеми виробництва/генерування та акумулювання (у разі відсутності системи охолодження в будівлі приймаємо, що $\eta_{C,gen}=2,25$).

$$Q_{C,gen,ls} = 76812,22 \cdot (1 - 2,25) / 2,25 = -42673,46 \text{ кВт·год.}$$

Енергоспоживання при охолодженні, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,gen,ls} = 76812,22 - 42673,46 = 34138,76 \text{ кВт·год.}$$

2.1.11 Розрахунок енергоспоживання при гарячому водопостачанні

Тепловтрати необхідно розрахувати окремо для трубопроводів, що знаходяться в неопалювальних об'ємах та опалювальних об'ємах будівлі за формулою:

$$Q_{W,dis,ls} = \sum \Psi_{W,j} \cdot L_{W,j} \cdot (\theta_{W,dis,avg,j} - \theta_{amb,j}) \cdot t_w / 1000, \quad (2.50)$$

де $\Psi_{W,j}$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі трубопроводу, $\frac{Вт}{м \cdot К}$;

$L_{W,j}$ – довжина секції трубопроводу, м;

$\theta_{W,dis,avg,j}$ – середня температура гарячої води у секції трубопроводу, °С;

$\theta_{amb,j}$ – середня температура середовища навколо секції трубопроводу або температура опалювального чи неопалювального приміщення;

t_w – період користування ГВП, год/рік;

$$Q_{W,dis,ls} = (1 \cdot 90,6 \cdot (55-20) \cdot 5088 / 1000) + (1 \cdot 90,6 \cdot (55-26) \cdot (-2564) / 1000) + (0,5 \cdot 168 \cdot (55-10) \cdot 4234 / 1000) = 25378,63 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Загальні річні тепловтрати циркуляційного контуру є сумою тепловтрат протягом періоду циркуляції та тепловтрат в періоди відсутності циркуляції, кВт·год:

$$Q_{W,dis,ls,col,m} = Q_{W,dis,ls,col,on} + Q_{W,dis,ls,col,off}, \quad (2.51)$$

де $Q_{W,dis,ls,col,on}$ – тепловтрати трубопроводів протягом періодів циркуляції, кВт·год;

$Q_{W,dis,ls,col,off}$ – тепловтрати трубопроводів протягом періодів відсутності циркуляції, кВт·год.

Оскільки у будівлі відсутній циркуляційний контур, то розрахунки ми не проводимо.

Теплова енергія води у водозбірному крані до моменту досягнення мінімально допустимої температури ГВП втрачається і вважається тепловтратами.

Тепловтрати використаної води при водозборі вважаються на 100% неутилізаційними. Допускається використовувати спрощений розрахунок тепловтрат, кВт·год, за формулою:

$$Q_{W,em,ls} = Q_W \cdot \eta_{eq} / 100, \quad (2.52)$$

де Q_W – річні енергопотреби ГВП, кВт·год;

η_{eq} – еквівалент збільшення, що враховує тепловтрати використаної води при водозборі; $\eta_{eq}=10\%$, згідно з [15].

$$Q_{W,em,ls}=63370 \cdot 10\% / 100 = 63,37 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річний обсяг енергоспоживання на потреби ГВП, кВт·год, визначають за формулою:

$$Q_{DHW,use} = (Q_{DHW,need} + Q_{W,dis,ls} + Q_{W,dis,ls,col,m} + Q_{W,em,l}) / \eta_{gen}, \quad (2.53)$$

де η_{gen} – ефективність підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти.

$$Q_{DHW,use} = (63370 + 25378 + 63,37) / 0,96 = 92511,84 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

2.1.12 Розрахунок енергоспоживання при освітленні

Річний обсяг енергоспоживання при освітленні W , кВт·год, розраховуються за формулою:

$$W = W_L + W_P, \quad (2.54)$$

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

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

Значення W_L розраховується за формулою:

$$W_L = (P_N \cdot F_C) \cdot \{(t_D \cdot F_o \cdot F_D) + (t_N \cdot F_o)\} \cdot A_f / 1000, \quad (2.55)$$

де P_N – питома потужність встановленого штучного освітлення в будівлі, Вт/м²;

F_C – постійний коефіцієнт яскравості, що відноситься до використання навантаження встановленого освітлення при функціонуючому контролі сталої освітленості зони;

F_o – коефіцієнт використання освітлення, є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення для періоду використання зони;

F_D – коефіцієнт природного освітлення, 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 штучного освітлення протягом року, год;

$$W_L = (2,6 \cdot 0,9) \cdot \{(1800 \cdot 1 \cdot 1) + (200 \cdot 1)\} \cdot 6337 / 1000 = 29\,657,16 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Значення W_P розраховують за формулою:

$$W_P = (P_{em} + P_{pc}) \cdot A_f \quad (2.56)$$

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

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

$$W_P = (1+5) \cdot 6337 = 38022 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Енергоспоживання при освітленні:

$$W = 29657,16 + 38022 = 67679,16 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

2.1.13 Шляхи підвищення енергоефективності

Для того щоб визначити, які саме заходи з енергозбереження необхідні для зменшення споживання енергії зведемо всі попередні розрахунки в таблицю 2.19 та представимо результати у графічному вигляді на рисунку 2.2.

Таблиця 2.19 – Енергетичні втрати та надходження при опаленні та вентиляції

Елементи огорожувальної конструкції та інженерних систем	До ЕЕ Базова лінія, кВт·год/рік
Дах (трансмійні втрати)	125646
Підлога (трансмійні втрати)	95196
Стіни (трансмійні втрати)	311761
Вікна (трансмійні втрати)	266612
Двері (трансмійні втрати)	6759
Природна вентиляція (включно з інфільтрацією)	206269

Продовження таблиці 2.19.

Вентиляція з попереднім підігрівом	0
Втрати в інженерних системах	377853
Внутрішні та зовнішні надходження	175952
Всього	1214143

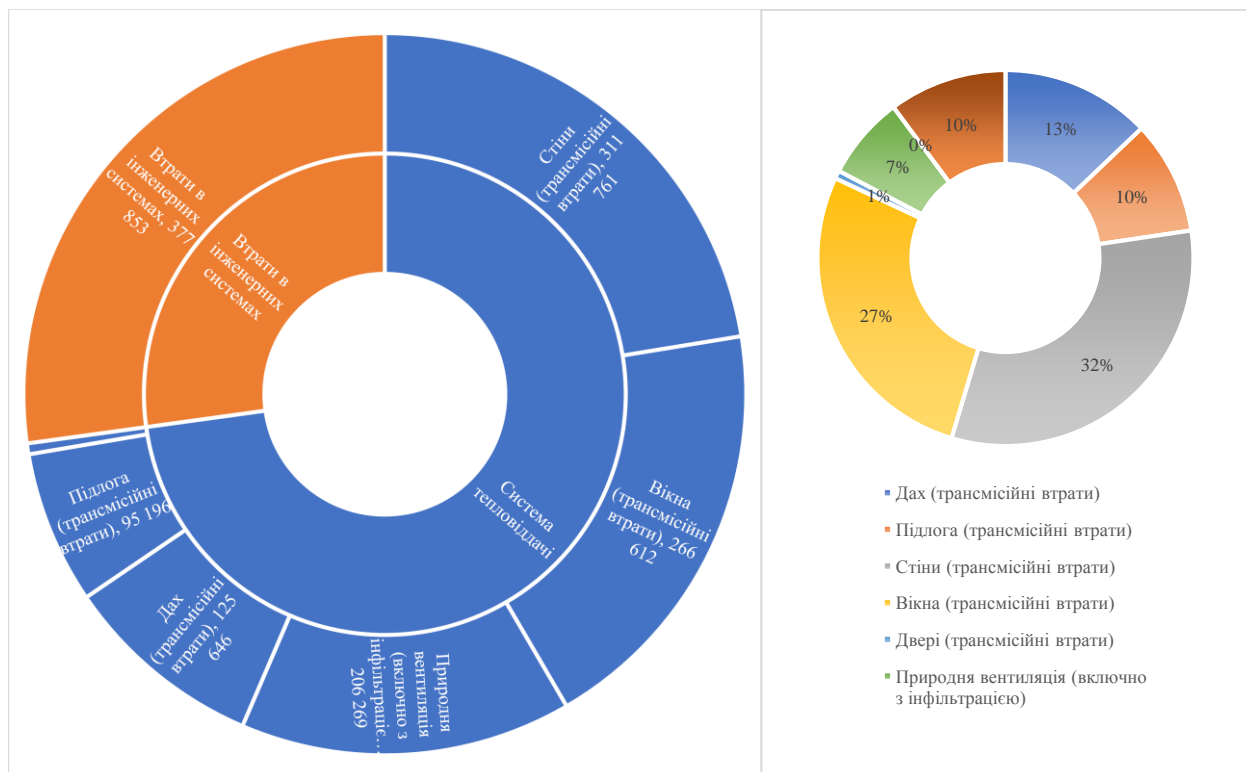


Рисунок 2.2 – Енергетичні втрати при опаленні та вентиляції

З таблиці 2.19 та рисунку 2.2 видно на які краще заходи звернути першочергову увагу. Тому першочерговими та головними заходами будуть:

- Утеплення зовнішніх стін;
- Утеплення даху;
- Заміна старих вікон на нові енергоефективні;
- Заміна старих дверей;
- Утеплення підлоги.

Для інженерних систем запропонуємо такі заходи, як:

- Встановлення МІТП (модуля опалення) та впровадження системи диспетчеризації;

- Теплоізоляція трубопроводів системи опалення;
- Встановлення балансувальних клапанів та балансування системи опалення.

2.1.14 Пропозиції щодо модернізації

– Утеплення зовнішніх стін

Середній коефіцієнт теплопередачі стін значно перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=0,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ і становить $U=1,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Загальна площа стін становить 2814 м².

Пропонуємо виконати роботи з утеплення зовнішніх стін. Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі. Обираємо утеплювач – мінераловатні плити, товщиною 0,2 м та густиною 30 кг/м³.

Основні вимоги:

- нормативні максимальні тепловтрати об'єктів, а також мінімально допустимий опір теплопередачі огорожувальних конструкцій (з урахуванням санації), повинні задовольняти вимогам ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» відповідно призначення будівлі;
- за результатами технічного обстеження (за умови підтвердження необхідності) розробити заходи щодо підсилення існуючих будівельних конструкцій за умови впливу додаткових навантажень;
- після виконання передпроектних обмірів скласти окремий акт вимірів по стінах, даху, фундаменту, цоколю і т.д.;

Вимоги з енергозбереження та енергоефективності: відповідно до нормативних вимог ДСТУ Б.А.2.2-8:2010 зовнішнє утеплення стін виконати з доведенням до коефіцієнту теплопередачі не вище 0,303 Вт/м²К.

Після утеплення середній коефіцієнт теплопередачі стін становитиме $U=0,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

В таблиці 2.20 зведемо економію енергії від заходу та інвестиції.

Таблиця 2.20 – Економія енергії та інвестиції

Економія енергії		
Економія енергії	283168	кВт·год/рік
Економія коштів	443719	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	3939033	грн
В тому числі податки	656506	грн
Чиста економія	443719	грн/рік
Термін окупності	8,9	років

–Заміна старих вікон на енергозберігаючі

Вікна в закладі з одинарним склопакетом в металопластикових рамах, але не дивлячись на це значна доля втрат припадає саме через вікна, а це зумовлено тим, що не якісний металопластик, не герметично встановлені склопакети – це все зумовлює наднормові втрати. Середній коефіцієнт теплопередачі вікон будівлі перевищує розрахунковий нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=1,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ і становить $U=2,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Загальна площа вікон 1251,53 м².

Пропонується виконати роботи із заміни існуючих металопластикових вікнах на подвійні склопакети з енергоефективним напиленням. Нові вікна дозволять зменшити наднормові втрати тепла та покращити зовнішній вигляд будівлі, проте вони майже не пропускають повітря з вулиці, яке проходило через щілини в старих вікнах. Отже, необхідно забезпечити нормативний повітрообмін в приміщенні шляхом встановлення сучасних енергоефективних систем вентиляції або, щонайменше – відкриванням вікон. Пропонуємо вікна металопластикові двокамерні з паспортними даними на рівні не нижче $1,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

В таблиці 2.21 зведемо економію енергії від заходу та інвестиції.

Таблиця 2.21 – Економія енергії та інвестиції

Економія енергії		
Економія енергії	154102	кВт·год/рік
Економія коштів	241476	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	1317638	грн
В тому числі податки	219606	грн
Чиста економія	241476	грн/рік
Термін окупності	5,5	років

– Утеплення даху

Середній коефіцієнт теплопередачі даху значно перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ і становить $U=0,58 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Загальна площа даху становить 2251 м².

Пропонуємо виконати роботи з утеплення крівлі. Додаткова тепла ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через крівлю. Обираємо утеплювач – мінераловатні плити, товщиною 0,25 м та густиною 40 кг/м³.

Основні вимоги:

- нормативні максимальні тепловтрати об'єктів, а також мінімально допустимий опір теплопередачі огорожувальних конструкцій (з урахуванням санації), повинні задовольняти вимогам ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» відповідно призначення будинків;
- за результатами технічного обстеження (за умови підтвердження необхідності) розробити заходи щодо підсилення існуючих будівельних конструкцій за умови впливу додаткових навантажень;
- після виконання передпроектних обмірів скласти окремий акт вимірів по даху.

Вимоги з енергозбереження та енергоефективності зовнішнє утеплення покрівлі останнього поверху з доведенням до коефіцієнту теплопередачі не вище $0,202 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Після утеплення середній коефіцієнт теплопередачі стін становитиме $U=0,166 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

В таблиці 2.22 зведемо економію енергії від заходу та інвестиції.

Таблиця 2.22 – Економія енергії та інвестиції

Економія енергії		
Економія енергії	114197	кВт·год/рік
Економія коштів	178945	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	3601248	грн
В тому числі податки	600208	грн
Чиста економія	178945	грн/рік
Термін окупності	20,1	років

– Утеплення підлоги

Середній коефіцієнт теплопередачі підлоги значно перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=0,27 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ і становить $U=0,88 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Загальна площа підлоги над неопалювальним підвалом становить 918 м².

Пропонуємо виконати роботи з утеплення підлоги над неопалювальним підвалом. Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через підлогу першого поверху над неопалювальним приміщенням. Обираємо утеплювач – мінераловатні плити, товщиною 0,2 м та густиною 30 кг/м³.

Основні вимоги:

–проект розробити відповідно до діючих норм ДБН А.2.2-3-2014, та ДБН А.2.1-1-2014, а також ДБН В.2.6-31:2016 та Нормативні максимальні тепловтрати об'єктів, а також мінімально допустимий опір теплопередачі огорожувальних конструкцій (з урахуванням санації), повинні задовольняти вимогам ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» відповідно призначення будинків;

–за результатами технічного обстеження (за умови підтвердження необхідності) розробити заходи щодо підсилення існуючих будівельних конструкцій за умови впливу додаткових навантажень;

–після виконання передпроектних обмірів скласти окремий акт вимірів підлоги для утеплення.

Вимоги з енергозбереження та енергоефективності: утеплення підлоги над неопалюваним приміщенням з доведенням до коефіцієнту теплопередачі не вище $0,267 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

Після утеплення середній коефіцієнт теплопередачі стін становитиме $U=0,166 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$.

В таблиці 2.23 зведемо економію енергії від заходу та інвестиції.

Таблиця 2.23 – Економія енергії та інвестиції

Економія енергії		
Економія енергії	35282	кВт·год/рік
Економія коштів	55286	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	917960	грн
В тому числі податки	152993	грн
Чиста економія	55286	грн/рік
Термін окупності	16,6	років

– Заміна старих дверей

В будівлі закладу частково двері службових входів/виходів є дерев'яні, металеві та металопластикові без теплоізоляції. Середній коефіцієнт теплопередачі існуючих дверей $U = 2,21 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$. Площа дверей на заміну становить $20,22 \text{ м}^2$.

З метою уникнення понаднормових втрат теплової енергії через вхідні двері, а також забезпечення нормативних вимог відносно опору огорожувальних конструкцій будівлі, пропонуємо замінити існуючі дерев'яні та металеві двері або встановити додатково в тамбурах металопластикові утеплені з подвійним склопакетом.

Після заміни дверей на нові енергоефективні середній коефіцієнт теплопередачі становитиме $U = 1,77 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$.

В таблиці 2.24 зведемо економію енергії від заходу та інвестиції.

Таблиця 2.24 – Економія енергії та інвестиції

Економія енергії		
Економія енергії	145495	кВт·год/рік
Економія коштів	227988	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	101100	грн
В тому числі податки	16850	грн
Чиста економія	227988	грн/рік
Термін окупності	0,4	років

– Встановлення МІТП (модуля опалення) та впровадження системи диспетчеризації

Будівля отримує тепло від централізованого джерела теплової енергії. Відсутнє автоматичне регулювання подачі теплоносія, що сприяє надлишковому споживанню теплової енергії (5-10%), зокрема в перехідний період (весна, осінь) та в неробочі дні та години (неможливо встановити зниження температури).

На сьогоднішній день оперативному моніторингу енергоспоживання на об'єкті стає на заводі тривалий час передачі інформації для аналізу відповідним структурам. В результаті прийняття керівних рішень (по усуненню аварій, неналежного налаштування обладнання та інш.) також розтягується у часі, що призводить до втрат енергетичних ресурсів.

Пропонується встановити ІТП з погодним регулятором та циркуляційним насосом, що дозволить автоматично регулювати кількість тепла, що споживає будівля, в залежності від зовнішньої температури. Це дозволить уникнути понаднормового збільшення температури в приміщеннях у осінньо-весняний період та зменшити втрати тепла за рахунок провітрювання. Окрім цього, ІТП дозволить налаштовувати режими енергоспоживання після впровадження інших енергозберігаючих заходів, оптимізуючи теплоспоживання.

Оперативне отримання та аналіз даних про енергоспоживання є суттєвим інструментом для підвищення ефективності енерговикористання. Використання в рамках системи моніторингу енергоспоживання системи дистанційного збору дозволить вчасно виявляти та усувати понаднормові перевитрати енергоносіїв, збої в роботі обладнання.

В таблиці 2.25 зведемо економію енергії від заходу та інвестиції.

Таблиця 2.25 – Економія енергії та інвестиції

Економія енергії		
Економія енергії	98846	кВт·год/рік
Економія коштів	154890	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	850000	грн
В тому числі податки	141667	грн
Чиста економія	154890	грн/рік
Термін окупності	5,5	років

– Теплоізоляція трубопроводів системи опалення

Існуюча теплоізоляція (або азбестова, або стекловата обмотана руберойдом) трубопроводів системи опалення знаходиться в незадовільному стані, через значний термін її використання, та потребує заміни. Загальна довжина трубопроводів в неопалювальному приміщенні становить 336 м².

Пропонується поновити теплову ізоляцію трубопроводів системи опалення (замінити пошкоджену теплоізоляцію) у підвалі будівлі фольгованими мінераловатними циліндрами з самоклеючою основою. Товщину теплоізоляції визначити згідно ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування". У разі необхідності, під час виконання робіт, замінити пошкоджені ділянки трубопроводу та арматури, зокрема у разі необхідності заміни трубопроводів системи опалення у підвалі з подальшою їх теплоізоляцією. Мінімальна товщина шару теплоізоляції трубопроводів системи опалення:

Номер з/п	Трубопровід	Мінімальна товщина шару теплоізоляції теплопровідністю 0,035 Вт/(м·К) при перепаді температури 40 °С
1. Базові показники товщини шару теплоізоляції трубопроводу		
1.1	Трубопровід із внутрішнім діаметром до 22 мм	20 мм
1.2	Трубопровід із внутрішнім діаметром від 22 мм до 35 мм	30 мм
1.3	Трубопровід з внутрішнім діаметром від 35 мм до 100 мм	Дорівнює внутрішньому діаметру
1.4	Трубопровід з внутрішнім діаметром більше ніж 100 мм	100 мм

В таблиці 2.26 зведемо економію енергії від заходу та інвестиції.

Таблиця 2.26 – Економія енергії та інвестиції

Економія енергії		
Економія енергії	26020	кВт·год/рік
Економія коштів	40772	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	134208	грн
В тому числі податки	22368	грн
Чиста економія	40772	грн/рік
Термін окупності	3,3	років

– Встановлення балансувальних клапанів та балансування системи опалення

Система опалення будівлі розбалансована. Нерівномірність розподілення теплоносія у внутрішній мережі призводить до коливань внутрішньої температури приміщень залежно від блоку будівлі/стояку системи опалення. Кількість балансувальних клапанів становить 54 шт..

Пропонується виконати наступні роботи:

1. Виконати розрахунки щодо гідравлічного та теплового режиму системи опалення будівлі.
2. Встановити на стояках системи опалення блоків будівлі балансувальні клапани.
3. Виконати роботи з балансування системи опалення будинку .

В таблиці 2.27 зведемо економію енергії від заходу та інвестиції.

Таблиця 2.27 – Економія енергії та інвестиції

Економія енергії		
Економія енергії	17346	кВт·год/рік
Економія коштів	27182	грн/рік
Інвестиції		
Всього інвестицій (в тому числі ПДВ 20%)	162000	грн
В тому числі податки	27000	грн
Чиста економія	27182	грн/рік
Термін окупності	6	років

Тож представимо споживання енергії до та після впровадження енергозберігаючих заходів у таблиці 2.28 та на рисунку 2.3.

Таблиця 2.28 – Енергетичні втрати та надходження при опаленні та вентиляції

Елементи огорожувальної конструкції та інженерних систем	До ЕЕ Базова лінія, кВт·год/рік	Після ЕЕ і реновації, кВт·год/рік	Економія, кВт·год/рік
Дах (трансмійні втрати)	125646	28432	97215
Підлога (трансмійні втрати)	95196	58145	37051
Стіни (трансмійні втрати)	311761	63841	247920
Вікна (трансмійні втрати)	266612	123435	143177
Двері (трансмійні втрати)	6759	4811	1948
Природна вентиляція (включно з інфільтрацією)	206269	240027	4293
Вентиляція з попереднім підігрівом	0	0	0
Втрати в інженерних системах	377853	48098	343534
Внутрішні та зовнішні надходження	175952	171265	4803
Всього	1214143	395523	870335

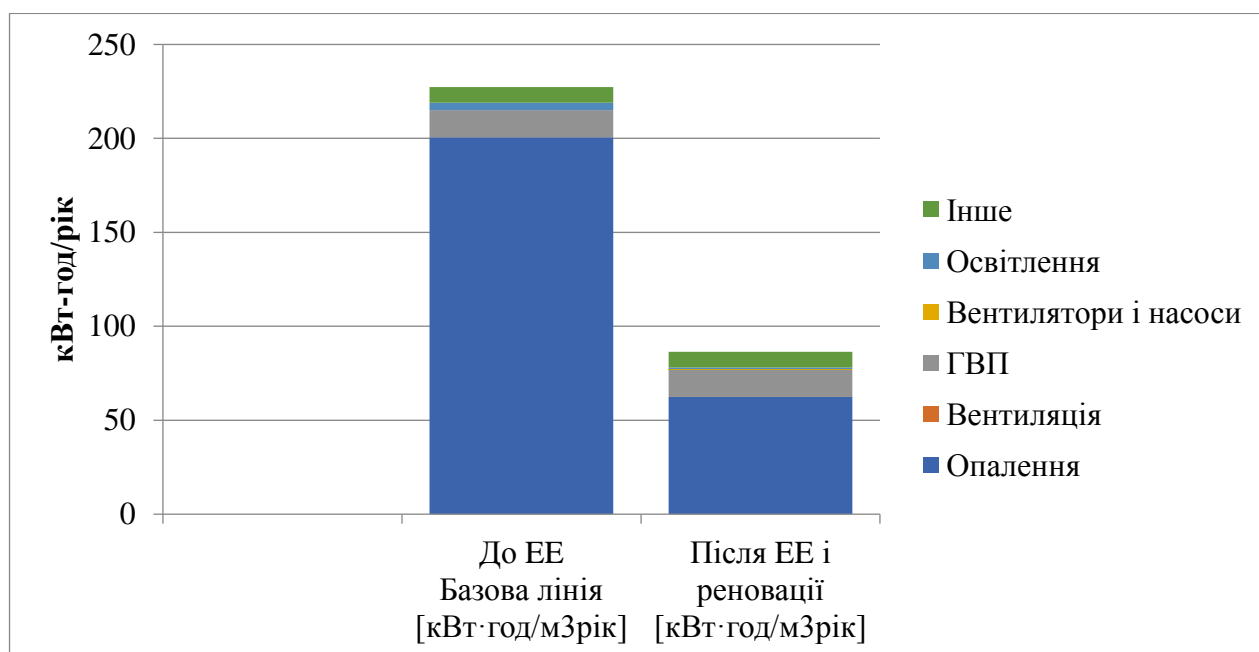


Рисунок 2.3 – Енергетичний баланс до та після термомодернізації

Отже, результати енергопотребы на опалення та охолодження після комплексної термомодернізації представлені в таблиці 2.29 та 2.30. На рисунку 2.4 представимо енергопотребу на опалення до та після термомодернізації.

Таблиця 2.29 – Розрахунки енергопотребы для опалення після термомодернізації

Місяці	Параметри								
	$Q_{H,tr}$ кВт·год	$Q_{H,ve}$ кВт·год	$Q_{H,ht}$ кВт·год	$Q_{H,sol}$ кВт·год	$Q_{H,int}$ кВт·год	$Q_{H,gn}$ кВт·год	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ кВт·год
1	61220	47911	109131	9689	13922	23611	0,22	0,998	85571
2	53077	48782	101859	15368	16242	32610	0,31	0,992	70490
3	46187	41958	88145	27167	17983	45149	0,51	0,961	44736
4	7843	7513	15357	10934	5801	16735	1,09	0,758	2663
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	12955	12192	25148	8412	8701	17113	0,68	0,914	9502
11	42315	36681	80997	7442	17403	24645	0,30	0,993	56527
12	55205	42990	98195	6202	13922	20124	0,20	0,998	78106
Всього	278802	240027	518829	85013	93974	178987			347595

Таблиця 2.30 – Розрахунки енергопотребы для охолодження після термомодернізації

Місяці	Параметри								
	$Q_{C,tr}$ кВт·год	$Q_{C,ve}$ кВт·год	$Q_{C,ht}$ кВт·год	$Q_{C,sol}$ кВт·год	$Q_{C,int}$ кВт·год	$Q_{C,gn}$ кВт·год	γ_C	$\eta_{C,gn}$	$Q_{C,nd}$ кВт·год
1	17406	107226	124632	9689	13992	23611	0,19	0,188	0
2	19580	97411	116991	15368	16242	31610	0,27	0,265	0
3	18309	87121	105430	27167	17983	45149	0,43	0,406	2391
4	12048	52392	64440	32802	17403	50205	0,78	0,642	8812
5	7909	29420	37329	45597	17983	63580	1,7	0,896	30125
6	0	0	0	37110	0	37110	0	0	0
7	0	0	0	35833	0	35833	0	0	0
8	165	14905	15071	30177	580	30757	2,04	0,929	16760
9	8576	34996	43572	30060	17403	47462	1,09	0,771	13862
10	13109	59480	72589	17384	17983	35367	0,49	0,453	2490
11	17080	82551	99631	7242	17403	24645	0,25	0,244	0
12	6159	98883	115042	6202	13922	20124	0,17	0,174	0
Всього	130341	664385	794726	294630	150822	445452			74440

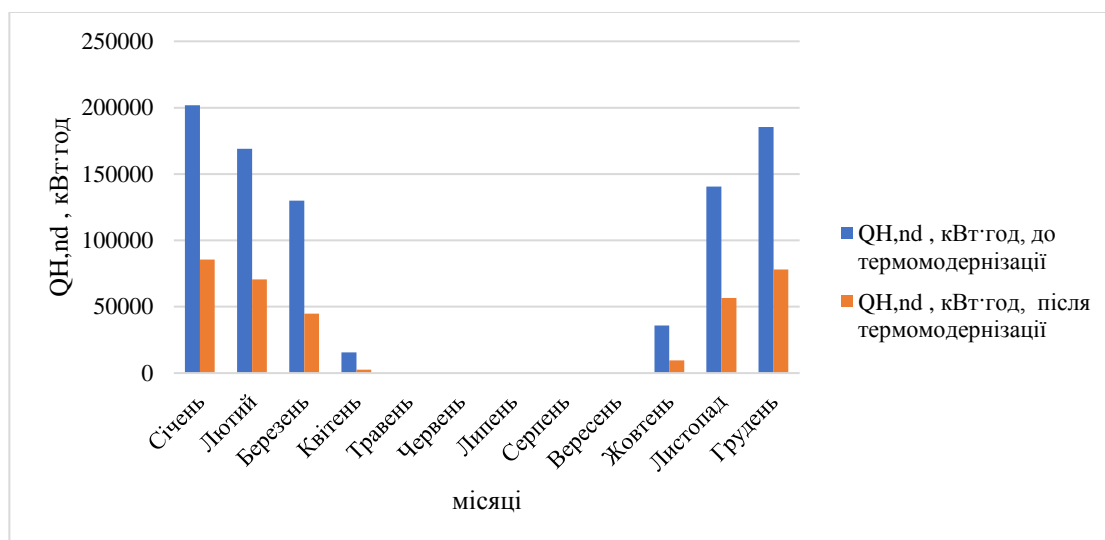


Рисунок 2.4 – Енергопотреба на опалення до та після термомодернізації

З рисунка 2.4 видно, що потреба на опалення значно знизилася, оскільки була проведена комплексна термомодернізація будівлі.

Питома річна енергопотреба для опалення, охолодження та ГВП знаходиться за формулою:

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd}) / V_f = (347595 + 74440 + 63370) / 23591 = 20,58 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

Нормативна максимальна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів становить $EP_{max} = 28 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$, згідно з [16].

Різниця в % розрахункового значення питомої енергопотреби, EP , від максимально допустимого значення, EP_{max} становить:

$$[(EP - EP_{max}) / EP_{max}] \cdot 100\% = [(20,58 - 28) / 28] \cdot 100\% = -20,51\%.$$

Клас енергетичної ефективності після термомодернізації, встановлений за співвідношенням відповідає класу – «B».

2.2 Дослідження джерел теплопостачання

2.2.1 Дослідження системи опалення

Система опалення була розроблена для кліматичних умов міста Києва, з розрахунковою температурою зовнішнього повітря – мінус 22⁰С та тривалістю опалювального періоду 176 діб [17].

Теплопостачання закладу здійснюється від центральних теплових мереж міста Києва. Теплоносій – вода. Температурний графік опалення 95/70⁰С. Вузол теплового введення знаходиться в підвальному приміщенні. Приєднання системи опалення виконано за залежною схемою від центрального теплового пункту з використанням елеваторного вузла. А приєднання системи гарячого водопостачання відбувається за рахунок теплообмінника THERMAKS PTA (GC) – 12 для забезпечення надходження гарячої води до кухні та їдальні.

Система розподілу виконана зі сталевих трубопроводів, розміщених в опалювальних та неопалювальних приміщеннях. Внутрішня система опалення двотрубна. Система є не налагодженою. Відсутня балансувальна арматура на стояках системи опалення, а це в свою чергу призводить до нерівномірності розподілення теплоносія в приміщеннях, що негативно впливає на всю систему опалення та створює некомфортні умови перебування в приміщенні.

Відповідно до [18] проведемо характеристику автоматизації інженерних систем та занесемо результати до таблиці 2.31.

Таблиця 2.31 – Характеристика автоматизації інженерних систем

Характеристика	Клас енергетичної ефективності системи
Регулювання надходження теплової енергії до приміщення	D (Відсутнє автоматичне регулювання)
Регулювання розподілення за температурою теплоносія у подавальному або зворотному трубопроводі	D (Відсутнє автоматичне регулювання)
Регулювання циркуляційних, змішувальних та циркуляційно-змішувальних насосів (на різних рівнях системи)	D (Відсутнє регулювання)
Регулювання періодичності зниження споживання енергії системою та/або розподілення теплоносія	D (Відсутнє автоматичне регулювання)
Взаємозв'язок між регулюванням споживання енергії та/або розподілення тепло/холодоносія у системах опалення та охолодження	D (Відсутній взаємозв'язок)
Регулювання джерела енергії	D (За постійною температурою)
Упорядкування джерел енергії	C (Пріоритетність, що базується лише на навантаженнях)
Регулювання витрати повітря у приміщенні	D (Ручне регулювання)
Регулювання витрати повітря при його підготовці	C (Відсутнє регулювання)
Захист теплообмінників від переохолодження	D (Відсутнє регулювання)
Захист теплообмінників від перегрівання	D (Відсутнє регулювання)
Використання повітря з низькою температурою (у системах з механічним спонуканням)	D (Відсутнє регулювання)
Регулювання температури припливного повітря	D (Відсутнє регулювання)
Регулювання вологості	D (Відсутнє регулювання)
Регулювання освітлення за присутністю людей у приміщенні	C (Ручне включення/виключення)
Регулювання зовнішнього освітлення	B (Ручне)
Регулювання жалюзей	C (Ручне)
Система автоматизації та управління будівлею	C (Відсутня локальна автоматизація)
Визначення несправностей систем та забезпечення допомоги у їх діагностиці	C (Відсутнє)
Формування звітів щодо енергоспоживання та зовнішніх параметрів, а також можливості зниження енергоспоживання	B (Відсутнє)

Облік споживання теплової енергії на потреби системи опалення ведеться за показниками загального комерційного вузла обліку теплової енергії, марки SA – 94/2, який зображений на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Лічильник теплової енергії, марки SA – 94/2

Даний лічильник призначений для використання при вимірюванні, реєстрації та регулювання теплових параметрів в відкритих системах теплопостачання з установкою двох датчиків витрати.

Тепловий лічильник здатний до максимальної адаптації в системі теплопостачання споживача завдяки перемикачню діапазону вимірюваних витрат, вибору відповідності струмових або частотних вихідних сигналів вимірюється параметрами і ін.

SA – 94/2 має можливість здійснювати автоматизовану самодіагностику та автоколібровку, виявляє несправності в роботі системи теплопостачання, а також фіксує час відключення живлення приладу від мережі, що попереджує та перешкоджає несанкціонованому втручанню в процес обліку теплової енергії [19].

2.2.2 Аналіз щомісячного споживання теплової енергії

Щомісячне споживання теплової енергії за останні три роки, тобто за 2016-2018 роки представимо в таблиці 2.32.

Таблиця 2.32 – Щомісячне споживання теплової енергії за 2016-2018 роки

Місяць	Теплова енергія, Гкал		
	2016	2017	2018
Січень	130,5	153,6	137,3
Лютий	99,4	128,1	134,6
Березень	96,3	100,8	92,2
Квітень	36,8	45,6	43,1
Травень	0	0	0
Червень	0	0	0
Липень	0	0	0
Серпень	0	0	0
Вересень	0	0	0
Жовтень	8,4	10,2	0
Листопад	86,1	103,1	84,0
Грудень	125,5	122,1	104,2
Всього	582,9	663,5	595,5

До таблиці 2.33 приведемо спожиту теплову енергію до градусо-діб.

Таблиця 2.33 – Теплова енергія приведена до градусо-діб

Місяць	Теплова енергія, Гкал		
	Приведене до градусо-діб, 2016	Приведене до градусо-діб, 2017	Приведене до градусо-діб, 2018
Січень	157,6	146,5	133,2
Лютий	111,2	171,8	137,8
Березень	122,2	120,7	127,5
Квітень	29,8	72,1	52,5
Травень	0	0	0
Червень	0	0	0
Липень	0	0	0
Серпень	0	0	0
Вересень	0	0	0
Жовтень	6,8	7,0	0
Листопад	101,9	97,7	89,5
Грудень	156,9	127,0	129,5
Всього	686,3	742,7	670,0

Порівняємо графіки споживання теплової енергії на опалення за 2016-2018 роки на рисунку 2.6.

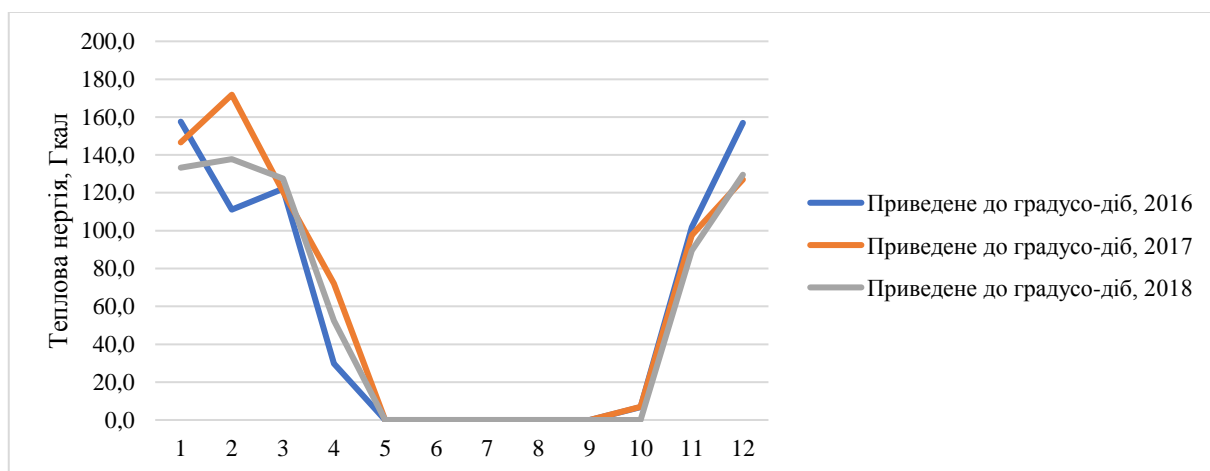


Рисунок 2.6 – Порівняння споживання теплової енергії на опалення за 2016-2018 роки

З рисунку 2.6 видно, що споживання теплової енергії за останні три роки майже однакова, але порівняння слід проводити зважаючи на зовнішню температуру. Тому на рисунку 2.7-2.9 показане порівняння спожитого тепла з зовнішньою температурою.

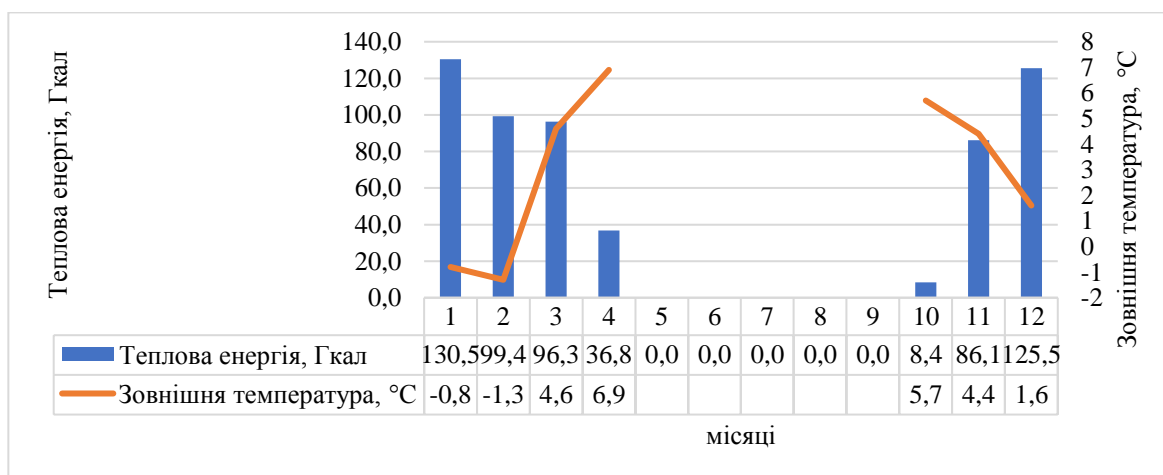


Рисунок 2.7 – Споживання теплової енергії на опалення за 2016 року порівняно з зовнішньою температурою

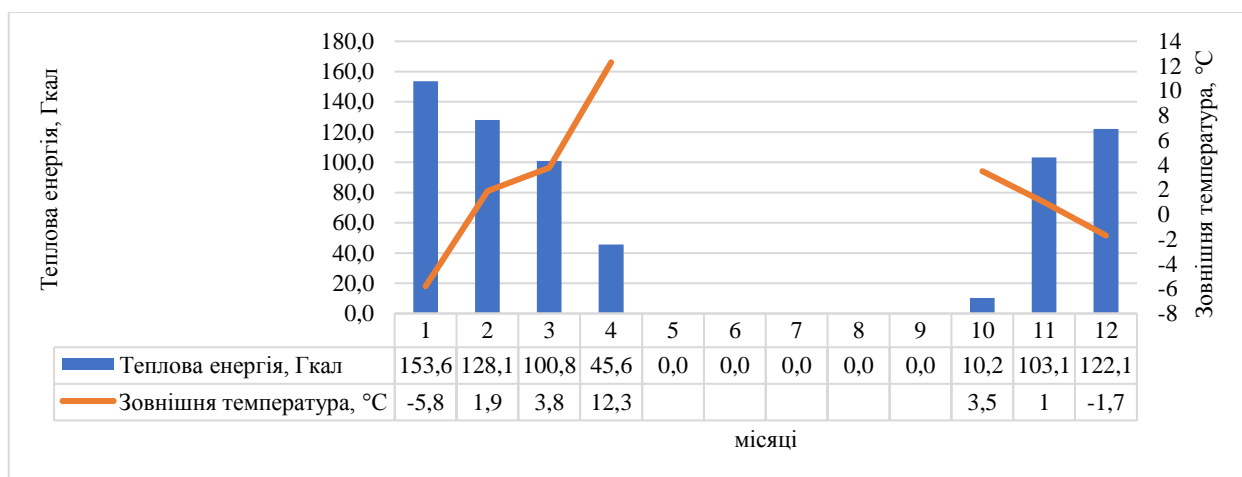


Рисунок 2.8 – Споживання теплової енергії на опалення за 2017 року порівняно з зовнішньою температурою

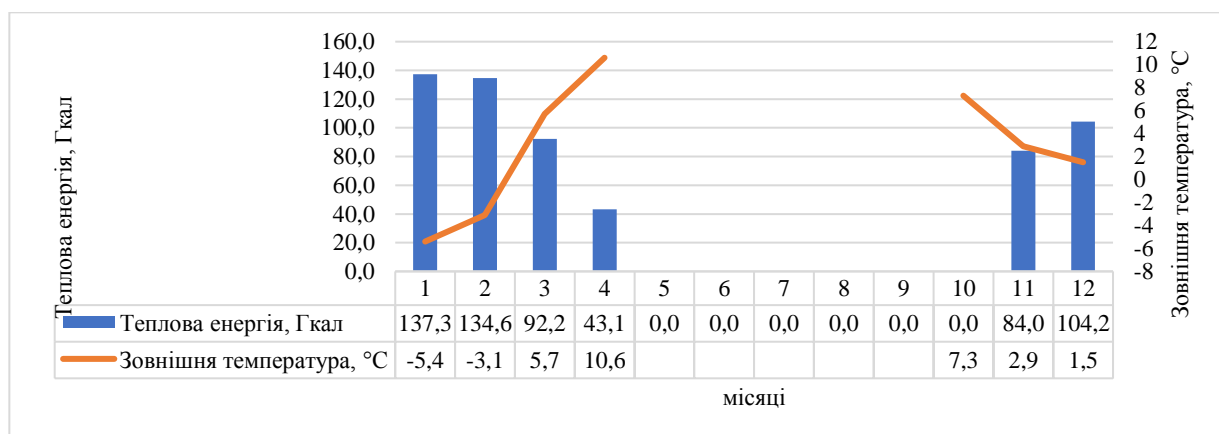


Рисунок 2.9 – Споживання теплової енергії на опалення за 2018 року порівняно з зовнішньою температурою

З рисунку 2.6-2.9 можна зробити висновок, що в на досліджуваному об'єкті відсутнє автоматичне погодозалежне регулювання, хоча відповідальні особи все таки намагаються в ручному режимі регулювати споживання тепла в ті періоди коли температура збільшується чи зменшується, але це не завжди вдається. Тому дуже вдалим є захід по встановленню ІТП з погодним регулюванням.

2.2.3 Тепловізійне обстеження будівлі

В ході обстеження будівлі було проведене тепловізійне обстеження та проаналізовано термограми деяких огорожувальних конструкцій з метою

виявлення ділянок з підвищеними тепловими втратами. Дані термограми представлені на рисунку 2.10.

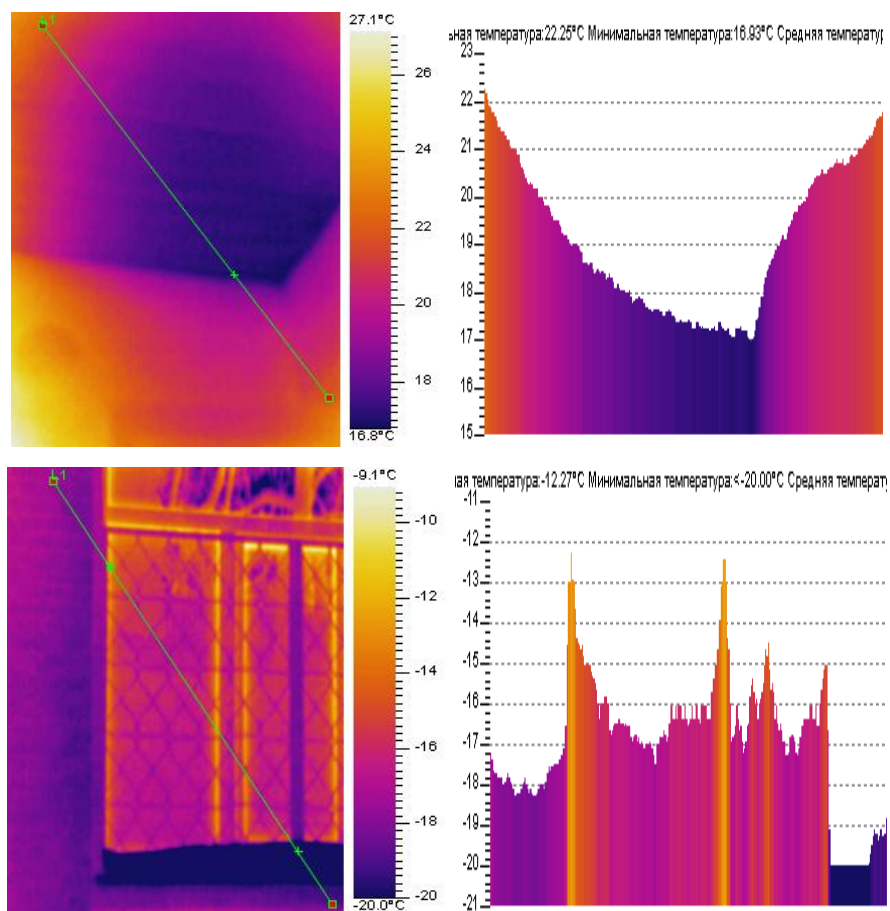


Рисунок 2.10 – Термограми огорожувальних конструкцій

Для кращого представлення температурного поля конструкції праворуч від термограм розташована палітра кольорів. Порівнюючи кольори в певних точках зображення з кольором розташованої праворуч температурної шкали, можна достатньо легко та з високою точністю, визначити температуру даного об'єкта в будь-якій точці. Таким чином можна побачити, що дані огорожувальні конструкції є не герметичні та застарілі, теплова ізоляція деяких елементів системи опалення також знаходиться у незадовільному стані.

2.3 Дослідження системи водопостачання та водовідведення

На даному об'єкті водопостачання здійснюється від центральних мереж. В таблиці 2.34 представимо споживання холодної води за останні три роки 2016-2018 роки.

Таблиця 2.34 – Споживання холодної води за 2016-2018 роки

Місяць	Вода, м ³		
	2016	2017	2018
Січень	246,0	246,0	246,0
Лютий	246,0	246,0	246,0
Березень	231,0	223,0	228,0
Квітень	246,0	246,0	246,0
Травень	239,0	238,0	240,0
Червень	246,0	246,0	241,0
Липень	239,0	201,0	221,0
Серпень	246,0	173,0	186,0
Вересень	246,0	238,0	240,0
Жовтень	239,0	190,0	197,0
Листопад	246,0	232,0	246,0
Грудень	239,0	221,0	235,0
Всього	2909,0	2700,0	2772,0

На рисунку 2.11 проведемо порівняльний аналіз водопостачання за останні три роки.

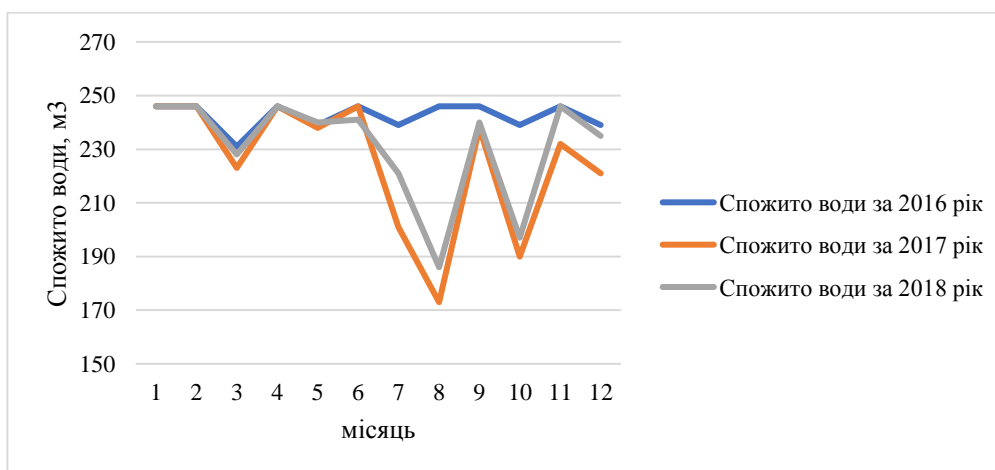


Рисунок 2.11 – Водопостачання за 2016-2018 роки

З рисунку 2.11 можна зробити висновок, що споживання води за ці три роки приблизно однакове, але помітне зниження споживання спостерігається в літні

місяці, так як в цей період канікули. Помітне відхилення спостерігається в 2016 році в літній період, це можна пояснити тим, що можливо, саме в цей рік на території школи був літній табір.

2.4 Дослідження систем електропостачання

2.4.1 Аналіз сучасного стану постачання електричної енергії

Аналізуючи ситуацію з постачання електричної енергії для даного об'єкта та виходячи з існуючої ситуації на ринку електричної енергії, то даному навчальному закладу постачає електроенергією постачальник універсальних послуг (ПУП) відповідно до [46]. А саме постачальником являється ТОВ «Київські енергетичні послуги». Дана компанія займається постачанням електричної енергії споживачам, обслуговує своїх клієнтів з нарахування та оплати, проводить зняття даних з лічильників та також пропонує клієнтам додаткові послуги, наприклад, з енергоефективності.

Оператором системи розподілу для даного навчального закладу являється ПРАТ «ДТЕК Київські електромережі». Розподіл електричної енергії даний оператор має на основі ліцензії та заключеного договору з постачальником. До функцій ОСР входить керування системою розподілу, надійне та якісне електропостачання, відповідає за ремонт ліній електропередач, підстанцій, здійснює під'єднання/від'єднання від ліній розподілу та займається встановленням лічильників електроенергії.

Навчальний заклад здійснює оплату за електричну енергію по одноставковій тарифній системі. А це значить, що заклад здійснює оплату безпосередньо за даними лічильника.

Проведемо аналіз споживання електричної енергії даним об'єктом. Дані які будуть представлені в таблиці 2.35 та рисунку 2.12, аналізуватися будуть тільки інформація за останні роки.

Таблиця 2.35 – Щомісячне споживання електричної енергії за 2016-2018 роки

Місяць	Електрична енергія, кВт·год		
	2016	2017	2018
Січень	7496	5764	5654
Лютий	5748	9124	10397
Березень	8484	7608	7685
Квітень	7232	6612	5984
Травень	7272	7320	6873
Червень	3732	3040	3581
Липень	1432	1158	1469
Серпень	1280	1403	1568
Вересень	6080	5156	5625
Жовтень	10032	9178	8352
Листопад	8148	8252	8612
Грудень	11068	10384	9346
Всього	78004	74999	75146

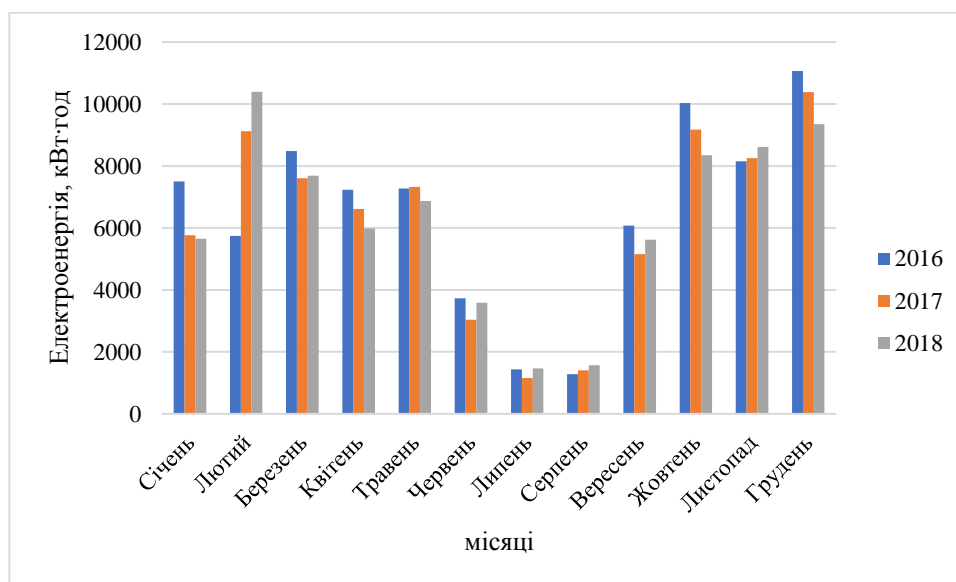


Рисунок 2.12 – Споживання електричної енергії за 2016-2018 рр.

З рисунку 2.12 спостерігається приблизно однакове споживання за досліджувані роки. Зменшення споживання електричної енергії в літні місяці пояснюється тим, що в цей період в школі канікули і більшість електрообладнання не використовується. А зростання споживання в зимні та осінні місяці, це пояснюється тим, що тривалість світлового дня коротша і похмуріше, чим влітку, тому більше використовується штучне освітлення.

2.4.2 Аналіз поточного технічного стану системи електропостачання

Схеми електропостачання даного об'єкту поділена на дві секції, які живляться трансформаторна підстанція (ТП) від ввідно-розподільчого пристрою (ВРП-3 по типу ВРУ78М-5-1).

ВРП – ввідний пристрій, який розташовує у собі апарати і прилади на ввідних лініях. ВРП використовується для приймання, розподілу та обліку електричної енергії трифазного змінного струму частотою 50 Гц та напругою 220\380 В. Також ВРП захищає лінії від перенавантажень, коротких замикань та нечастих оперативних перемикачів.

ВРП застосовують для промислових та житлових об'єктів, також може застосовуватися для розподілу електроенергії на об'єктах малої потужності. ВРП використовують для обліку, резервування та розподілу електроенергії. ВРП також є обов'язковим елементом електропостачання усіх забудов промислового та житлового призначення.

ВРП-3 досліджуваного об'єкту розподіляє електричну енергію по приміщеннях секцій зі встановленим струмом і потужністю для кожної шафи керування електроенергією приміщення.

Даний навчальний заклад відноситься до 2-го класу напруги. Тому що заклад отримує електричну енергію в точці продажу електричної енергії зі ступенем напруги нижче 27,5 кВт.

Секція 1 живить: актову залу, комп'ютерні класи, систему звукофіксації, обладнання харчоблоку, їдальню, тощо .

Секція 2 живить: аварійне освітлення електрощитової, аварійне освітлення актові зали, клас трудового навчання, спортивну залу та резерв.

Основними структурними елементами схеми є ВРП-3, яке живиться від існуючих ТП є розподільчі шафи, а також шафи, що встановлені у приміщеннях.

Розподіл електричної енергії по об'єкту відбувається з ВРП-3. Для більш ефективного використання електроенергії з ВРП-3, споживання розподілили на дві секції за допомогою вимикачів з номіналом 400 А.

Отже за межами об'єкту знаходиться трансформаторна підстанція, яка його живить електроенергією, але вона не знаходиться на балансі школи. ТП знаходяться в незадовільно стані, тому що в ньому встановлене застаріле обладнання, як працює без ремонту багато років.

Трансформаторна підстанція містить два трансформатори типу ТМ-400/10-04 – це трифазний трансформатор типу ТМ, класу напруги 10 кВ, потужністю 400 кВА. Він являється двухобмотковим з трьохфазним понижуючим силовим масляним трансформатором промислового призначення для перетворення електричної енергії в мережах енергосистеми і споживання електроенергії. Напруга ТМ-400/10-04 регулюється без збудження. Для цього ТМ оснащена високовольтними перемикачами, які приєднуються до обмоток високої напруги і дозволяють регулювати напругу ступенями при включеному від мережі трансформаторів з боку НН і ВН з діапазоном $+2 \times 2,5\%$ [20].

Паспортні дані ТМ-400/10-04:

- Потужність трансформатора $S_{ном} = 400 \text{ кВА}$;
- Номінальна вища напруга $U_{ном}^{вн} = 10 \text{ кВ}$;
- Номінальна нижча напруга $U_{ном}^{нн} = 0,4 \text{ кВ}$;
- Втрати холостого ходу $\Delta W_{xx} = 0,9 \text{ кВт}$;
- Втрати короткого замикання $\Delta W_{кз} = 5,5 \text{ кВт}$;
- Струм холостого ходу $I_{xx} = 1,8 \%$;
- Напруга короткого замикання $U_{кз} = 4,5 \%$.

Проводка та щитові об'єкту знаходяться в поганому стані, тому що ніякого капітального ремонту пов'язаного з цими напрямками не було.

Метою організації комерційного обліку електричної енергії на ринку електричної енергії є надання учасникам ринку повної та достовірної інформації про обсяги виробленої, відпущеної, переданої, розподіленої, імпортованої та експортованої, а також спожитої електричної енергії у визначений проміжок часу з метою її подальшого використання для здійснення розрахунків між учасниками ринку [21].

Згідно з [22] систему обліку і вимірів електроенергії будують, виходячи із мінімуму приладів.

Систему обліку забезпечує можливість:

- Визначення кількості електроенергії і виконання розрахунків за електроенергію, яку отримують від енергопостачальної організації;
- Контроль за правильністю витрат лімітів електроенергії;
- Контроль споживаної і генерованої електроенергії усього підприємства в цілому і окремих найбільш потужних споживачів.

На даному об'єкті встановлено три лічильники електроенергії НІК 2301 АК1, який представлений на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Лічильник електричної енергії НІК 2301 АК1

Лічильник електроенергії НІК 2301 АК1 – це трифазний лічильник електричної енергії трансформаторного включення (по струму). Призначений для виміру активної електроенергії в трифазних мережах змінного струму [23].

Технічні особливості:

- Захист від крадіжок електроенергії;
- Удосконалена колонка зажимів, яка забезпечує надійність закріплення проводів;

- Покращений ступінь захисту від дії постійних і змінних полів;
- Можливість застосування АСКУЕ;
- Мале власне електроспоживання.

Основні характеристики:

- Клас точності – 1,0;
- Номінальна напруга – 3*220/380 В;
- Номінальний струм – 5 А;
- Максимальний струм – 10 А.

Дані лічильники розміщені ввідному розподільчому пристрої ВРП-3 по типу ВРУ 78М-5-1.

2.4.3 Шляхи підвищення ефективності використання системи електропостачання для забезпечення електричною енергією

Підвищення ефективності використання електричної енергії є важливим питанням в сфері енергозбереження. Оскільки об'єктом дослідження є навчальний заклад це трохи ускладнює шляхи підвищення ефективного використання електроенергії. Але найбільш енергоефективні заходи, які можна запропонувати це: заміна старих ламп на енергоефективні, встановлення датчиків руху та присутності, заміна застарілих електричних плит на нові енергоефективні, впровадження системи АСОЕ.

Отже, пропонується замінити всі лампи розжарювання та люмінесцентні на нові енергоефективні світлодіодні, а також лампи зовнішнього освітлення замінити на вуличні світильники на сонячних батареях SX-20W.

В навчальному закладі знаходиться 145 шт. ламп розжарювання та 396 шт. люмінесцентних ламп. Всі ці лампи необхідно замінити на світлодіодні з характеристиками представленими в таблиці 2.36.

Таблиця 2.36 – Характеристики світлодіодних ламп

Артикул	LED-A-60-12274(P)	LED-A-60-08274(D)
Потужність, Вт	12	8
Світловий потік, лм	1200	680

Встановлення енергоефективної системи освітлення дозволить при нормованій, комфортній освітленості в приміщеннях споживати менше електроенергії (в порівнянні з лампами розжарювання становить 5-8 разів, люмінесцентними 2-3рази). Термін служби складає орієнтовно 40 000 годин.

Зовнішнє освітлення складається з 10 шт. прожекторів, потужністю 100 Вт, тому пропонується до заміни на світильники на сонячних батареях характеристики якого представлені в таблиці 2.37.

Таблиця 2.37 – Характеристика світильників на сонячних батареях

Марка	SX-20W
Потужність, Вт	20
Світловий потік, лм	1000
Робочий час, год	10-12
Час повного заряду, год	6-8
Кут освітлення, градуси	120

Даний прожектор є дуже популярним завдяки своїй автоматичній роботі та автономності, він включається, як тільки стає недостатньо освітлення і відключається відразу коли сходить сонце. Світильник має просте з'єднання, він використовує модульну конструкцію, тому що всі компоненти з'єднані штекерними роз'ємами, що досить легко дозволяє самому замінювати батарею чи контролер. Також не менш важливою перевагою є зручний монтаж, що не потребує підключення до мережі 220 В, просто необхідно обрати зручне місце для його розміщення та закріпити.

Цей світильник має в собі датчики руху, для того щоб заощадити більше енергії. Також наявний пульт дистанційного керування за допомогою якого можна досить легко регулювати режим енергозбереження. Найбільш найкраща відстань від датчика освітленості до людей чи об'єкту повинна знаходитися в межах 12 метрів.

Освітлювальний прилад може працювати до 15 годин, що відбувається за рахунок вбудованого акумулятору. Акумулятор заряджається за допомогою сонячних панелей на протязі всього світлового дня.

Ще одним з ефективних методів вирішення проблеми економії електроенергії є улаштування датчиків руху та присутності. А принцип їх роботи є досить простим: датчики автоматично вмикають та вимикають світло в приміщеннях в залежності від того наскільки інтенсивним є світловий потік світла або ж присутність людей, а це відбувається за рахунок вбудованого IR-датчика, який проводить запис теплової радіації і перетворює її у вимірювальний електричний сигнал.

Перевагою датчиків є створення комфортних умов для навчання. Датчики вимірюють рівень освітленості робочих місць і в свою чергу можуть налаштовувати яскравість світильників таким чином, щоб загальний рівень освітленості був комфортним для дітей і якщо під час перерви нікого немає на робочому місці світло може автоматично вимикатися. Тож такий спосіб управління освітленням не тільки робить навчання комфортним, а й не вказує негативного впливу на зір учнів.

Тож подібна автоматизація освітлення за рік може зекономити від 30 до 70 % електроенергії. Звісно кількість світильників чи навантаження при цьому не зменшиться, але зменшиться період роботи освітлення, а це в свою чергу збільшить строк служби світильників.

Для даного закладу було обрано 100 шт. датчиків руху та присутності характеристики яких наведені в таблиці 2.38.

Таблиця 2.38 – Характеристика датчиків руху та освітленості

Марка	Hager EE 804 A
Кут огляду по горизонталі, градус	360
Дальність дії, м	2,5-3,5
Діапазон регулювання порогу скидання по освітленості, лк	5-1000
Затримка відключення	Від 5 с до 30 хв

В даному навчальному закладі використовують п'ять електричних плит, три з них звичайні потужністю 17,5 кВт кожна, а інші дві з духовками потужністю 15 кВт кожна. Це досить велике споживання електроенергії, тому пропонується замінити електроплити з духовками на індукційні марки Bartscher Snak 650 потужністю 12,2 кВт кожна та звичайні електроплити на індукційну марки Gorenje IT 641 BSD потужністю 7,2 кВт кожна. Це дозволить значно зменшити споживання електроенергії, тому що нові плити являються меншою потужністю та їм необхідно набагато менше часу для нагріву, що пришвидшить процес приготування їжі в декілька разів, а це в свою чергу зменшить час роботи плит.

Не менш важливим заходом є впровадження системи АСОЕ. А саме пропонується використання хмарного програмного забезпечення АСОЕ, який буде мати доступ до даних приладів обліку по споживанню електроенергії, а для цього необхідно дві елементарні речі це мати доступ до Інтернету та звичайний браузер.

Даний підхід приносить можливість досить великої економії, оскільки не потрібно купувати дороге програмне забезпечення і проводити налаштування всього комплексу. Для цього буде достатньо орендувати місце в «хмарі» для необхідної кількості електролічильників і мають прилади обліку бути підключені до ЛУЗОД.

Отже дана сервісне програма АСОЕ забезпечить:

- контроль за обсягом споживання електроенергії (з метою стеження за споживанням і як наслідок не допускати перевитрату);
- контроль за достовірності даних по споживанню електроенергії;
- контроль за енергоспоживанням (для аналізу енергоефективності та для визначення способів зменшення споживання енергії);
- можливість отримання погодинного графіку споживання (з метою визначення найкращого тарифу).

Переваги сервісу:

- економія (немає необхідності купувати програмний продукт);
- відсутність конкретного робочого місця (даний сервіс доступний з будь-якого пристрою та з будь-якої точки світу);

- відсутність необхідності обслуговування (оновлення та налаштування проводить сама компанія);
- універсальність (даний сервіс підтримує всі прилади обліку на території України);
- безкоштовний тестовий період (безкоштовне користування сервісом протягом першого місяці).

Тому з практичного досвіду впровадження АСОЕ зменшує споживання електроенергії на 12-15 %.

2.4.4 Пропозиції щодо модернізації системи електропостачання об'єкту для реалізації завдань магістерської дисертації

Завданням магістерської дисертації є виявлення впливу комплексної термомодернізації будівлі на енергоспоживання та енергопотребу будівлі та дослідити цей вплив на забезпечення належних комфортних умов.

Для досягнення даного завдання було запропоновано проведення комплексної термомодернізації будівлі та модернізацію джерела теплоти даної будівлі, а саме встановлення МІТП. Тож було оцінено зміну середньої радіаційної температури у січні та березні для стіни Північної та Південної орієнтації до та після термомодернізації. Встановлено, що підвищення ічного опору огорожувальних конструкцій дозволяє підвищити середню радіаційну температуру приміщення в середньому на 2 °С. Таке підвищення середньої радіаційної температури дозволить знизити температуру повітря у приміщенні без зниження рівня теплового комфорту.

До впровадження даних заходів будівля була зовсім не утеплена та за джерело теплоти відповідав елеваторний вузол. Елеваторний вузол представляє собою модуль, за допомогою якого навчальний заклад підключається до загальної теплової мережі. Отже, до термомодернізації будівля споживала одну кількість електроенергії та її ВРП був розрахований на іншу потужність. А оскільки одним

із заходів енерозбереження було встановлення МІТП, то в ході даного заходу необхідно встановлення двох насосів опалення, один з яких буде резервним, тому споживання електричної енергії збільшиться. А це відбувається за рахунок того, що раніше елеваторний вузол виконував функцію змішувача та циркуляційного насоса, тому на споживання електроенергії це не впливало.

Для елеваторного вузла електрична енергія не потрібна, а от коли ми встановлюємо МІТП, то для забезпечення його роботи необхідно використання електроенергії. А саме для роботи циркуляційних насосів.

На даному об'єкті здійснюється трифазне живлення, тобто 380 В. В ході цього заходу буде встановлено насос на опалення потужністю 350 Вт. Для його підключення необхідно контроллер, який буде підключатися до мережі 380 В. Потужність насоса повинна бути меншою чим навантажувальна здатність виходу на контроллер автоматики, що становить 550 Вт. Підключення досить просте підключається електропроводка до місця установки циркуляційного насоса і цим же кабелем, без будь-яких зайвих з'єднань, проводиться підключення в сам контроллер.

Тоді перевіримо чи відповідає прокладений кабель нормативним вимогам після встановлення циркуляційного насоса.

Сумарне навантаження насоса опалення становить $P_{\text{сум.}}=0,35$ кВт.

Проміжну активну потужність, кВт, визначаємо за формулою:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{сум}} K_{\text{в}}, \quad (2.57)$$

де $K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання, [50].

Підставимо відповідні значення у формулу (2.57), отримуємо:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{сум}} K_{\text{в}} = 0,35 \cdot 0,9 = 0,315 \text{ кВт}.$$

Проміжна реактивна енергія, квар, визначимо за формулою:

$$Q_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} \text{tg} \varphi . \quad (2.58)$$

Коефіцієнт реактивної потужності $\text{tg} \varphi$:

$$\text{tg} \varphi = \text{tg} (\arccos(\cos(\varphi))),$$

де $\cos(\varphi)$ – коефіцієнт потужності, що обирається згідно [50].

Підставимо відповідні значення у формулу отримаємо:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} (\arccos(0,8)) = 0,75.$$

Підставимо відповідні значення у формулу (2.58):

$$Q_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} \operatorname{tg} \varphi = 0,315 \cdot 0,75 = 0,236 \text{ квар.}$$

Попередньо розраховане навантаження навчального закладу становить:

$$P=144,1 \text{ кВт,}$$

$$Q=83,76 \text{ квар.}$$

Тоді навантаження разом зі встановленим насосом становитимуть:

$$P=144,1+0,315=144,415 \text{ кВт,}$$

$$Q=83,76+0,236=83,99 \text{ квар.}$$

Тоді загальна розрахункова потужність буде:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (2.59)$$

Підставивши значення в формулу (2.59):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{144,415^2 + 83,99^2} = 167,06 \text{ кВА.}$$

Знаходимо розрахунковий струм, А, за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}, \quad (2.60)$$

де U_n - номінальна напруга, кВ.

Підставивши значення в формулу (2.60):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{167,06}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 253,82 \text{ А.}$$

Зробимо перевірку кабелю марки АВВГ 4х185. Допустимий струм кабелю $I_{\text{доп.}} = 286 \text{ А}$, активний опір жил кабелю $r_0 = 0,164 \text{ Ом/км}$, згідно [51].

За формулою (2.60) було пораховано розрахунковий струм, тому перевіримо виконання умови:

$$I_{\text{розн.}} < I_{\text{доп.}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (2.61)$$

де K_1 і K_2 – коефіцієнти, що враховують умови прокладання та відстань між кабелями відповідно, приймаємо $K_1 = 1,03$, $K_2 = 0,9$, [50].

$$253,82 < 286 \cdot 1,03 \cdot 0,9 = 265,122 \text{ А.}$$

Як бачимо з розрахунків умова виконується.

Визначимо допустимі втрати напруги в лінії, при умові, що $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп.}} = 5\%$, [50], за формулою:

$$\Delta U = \frac{r_0 \cdot P_p \cdot l}{U_H^2 \cdot 10}, \quad (2.62)$$

де l – довжина кабелю, м.

Підставивши значення в формулу (2.62) отримаємо:

$$\Delta U = \frac{0,164 \cdot 144,415 \cdot 0,12}{0,38^2 \cdot 10} = 1,97 < 5\%.$$

Отже, даний прокладений кабель відповідає нормативним вимогам і тому не потрібно додаткового монтажу електричної системи.

До монтажу індивідуального теплового пункту в підвальному приміщенні знаходилося освітлення та декілька розеток. Після того як буде демонтований елеваторний вузол на його місце встановлять МІТП до складу якого ввійдуть два насоси опалення, один з яких резервний. Оскільки навчальний заклад відноситься до другої категорії надійності електропостачання тому на його забезпечення електроенергією необхідно два незалежних взаєморезервуючих джерела живлення, яке наявне в даному закладі, тому для насосів опалення, які відносяться до першого класу надійності, цього буде достатньо для забезпечення безперервної роботи системи опалення. Порівняльний аналіз системи електропостачання представимо в таблиці 2.39.

Таблиця 2.39 – Порівняння існуючої системи електропостачання та нової системи

Існуюча система електропостачання	Нова система електропостачання
Наявність системи освітлення	Наявність системи освітлення
Наявність розеток	Наявність розеток
Кабель марки АВВГ 4x185	Кабель марки АВВГ 4x185
-	Насоси системи опалення

Перевіримо чи відповідає встановлена розетка вимогам щодо технічних характеристик об'єкту:

$$I=P/U, \quad (2.63)$$

де P – потужність насосу, Вт;

U – напруга в мережі, В.

Підставивши значення в формулу (2.63) отримуємо:

$$I=350/220=1,59 \text{ А.}$$

Розетки в підвальному приміщенні розетки розраховані на максимальне значення струму в 10 А і тому вони витримають підключення даних насосів.

Узагальнюючи зроблені дослідження, ми прийшли до висновку, що під час розрахунків ми перевірили і довели, що даний переріз кабельної лінії повністю задовольняє потреби для подальшого монтажу МГП. Необхідності звертатися до оператора розподілу немає, тому що немає потреби під'єднання нових ліній розподілу. Існуюча система електропостачання повністю нас задовольняє, том в проведенні модернізації системи немає необхідності.

Висновки до розділу

У даному розділі проведений огляд та розрахунки енергетичних систем навчального закладу, а саме:

1. Було проведене дослідження огорожувальних конструкцій навчального закладу та виявлені місця найбільших трансмісійних втрат.
2. Проведено розрахунок енергопотребі та енергоспоживання при опаленні, охолодження, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні до та після термомодернізації; визначили клас енергетичної ефективності за енергопотребою.
3. Запропоновано найбільш доцільні та енергоефективні заходи з енергозбереження та розраховано економію від їх впровадження.
4. Проведено дослідження системи опалення та визначені характеристики автоматизації системи опалення; аналіз тепловізійного обстеження та водопостачання будівлі.

5. Було проведено аналіз поточного стану системи електропостачання навчального закладу; аналіз споживання електричної енергії та запропоновано заходи для зменшення споживання електроенергії.

**З ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ
ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ КАТЕГОРІЇ БУДІВЛІ
ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТНИХ УМОВ**

3.1 Техніко-економічне обґрунтування комплексної термомодернізації

На даний час в Україні присутня така проблема, як низькоефективне використання теплової енергії для підтримання та забезпечення належного мікроклімату в приміщеннях. Насамперед, питання яке пов'язане з тепловою ефективністю будівель залежить від вибору джерела теплоти та зовнішньої оболонки будівлі. Дане питання вимагає значних початкових інвестицій, які не завжди так просто знайти, тому виходячи з цього виникає проблема і для її вирішення необхідний техніко-економічний аналіз різних джерел теплоти. Тому зважаючи на постійні зміни ціни на енергоносії в часі врахування вартісної сторони під час визначення найбільш оптимального джерела теплоти є достатньо актуальною.

Оскільки завдання визначення джерела теплоти є досить актуальним, тому постає необхідність оцінки доцільності вибору різних джерел теплоти. Для цього необхідно враховувати енергоефективність та зміни вартості у часі енергоносіїв, використовуючи метод руху грошових потоків. Техніко-економічна оцінка проектів, відповідає сучасним вимогам і включає такі чинники [27]: вплив вартості грошей у часі, зміна у параметрах проекту; інфляція та ризики, які пов'язані з виконанням проекту.

Отже, за допомогою методу руху грошових потоків, здійснимо вибір джерела теплоти:

$$B = \sum_{\tau=0}^n \frac{B_{\tau}^{\text{обслг}}}{(1+E)^{\tau}} + \sum_{\tau=0}^n \frac{B_{\tau}^{\text{енерг}}(1+l \cdot \tau)}{(1+E)^{\tau}} + I_0 + I_{13} + I_{\text{CO}}, \quad (3.1)$$

де $B_{\tau}^{\text{енерг}}$ – річні затрати за спожиті енергоносії, грн.;

$B_{\tau}^{\text{обслг}}$ – інші затрати, грн.;

I_0 – капітальні затрати на придбання теплогенеруючого обладнання, грн.;

I_{13} – витрати направлені на покращення теплового захисту будівлі, грн.;

I_{co} – витрати на придбання приладів опалення, грн.;

l – коефіцієнт, що враховує приріст цін на енергоносії;

n – час, для якого визначаються інтегральні дисконтовані витрати, роки;

E – ставка дисконтування, обирається відповідно до рівня інфляції, типу фінансування [28];

B – чиста теперішня вартість витрат [29].

Функцію B також називають функція інтегральної вартості системи – це чиста теперішня вартість витрат [29].

Річні затрати за спожиті енергоносії визначається за формулою (3.2):

$$B_t^{\text{енерг}} = \frac{Q_{H,nd} \cdot C}{\varepsilon}, \quad (3.2)$$

де $Q_{H,nd}$ – річна енергопотреба будівлі на опалення, кВт·год [15];

C – вартість енергоносія грн/кВт·год;

ε – коефіцієнт, який враховує ефективність системи опалення.

Дана функція (3.1) дозволяє враховувати зміну вартості в часі енергоносіїв l , врахувати дисконтування за допомогою E та врахувати ефективність системи опалення ε .

На основі останніх досліджень [30] в яких оцінювалося термомодернізації будівель, показується, що необхідно проявляти комплексний підхід для всієї системи в цілому, щоб підвищити енергоефективність будівлі. Необхідно враховувати як соціальні аспекти (показник PMV) так і застосування аналізу життєвого циклу будівлі.

У працях [31, 32] представлено та обґрунтовано вибір ставки дисконтування за різними методами для вибору джерела теплоти. Зважаючи на проведені дослідження ставку дисконтування можна розрахувати в залежності від способу фінансування та самого проекту [33, 34].

Вихідні дані щодо обраних джерел теплоти представлено у таблиці 3.1.

Ставку дисконтування обираємо відповідно до відсоткової ставки за банківськими депозитами.

Таблиця 3.1 – Характеристика джерела теплоти

Джерело теплоти	Капітальні затрати грн	Коефіцієнт енергоефективності η	Ціна енергоносія станом 9.12.19	Річні витрати на обслуговування, грн/рік
Газовий котел	253714,2	0,85	7,73 грн/м ³	25371,42
Теплова насосна установка	401016	2	2,13 грн/кВт·год	40101,6
Централізоване теплопостачання	-	-	1663,09 грн/Гкал	-

Відповідно до зроблених досліджень у розділі 1 розглядатимемо два варіанти приросту цін на енергоносії, дані щодо росту цін відображені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Можливі сценарії росту цін на енергоносії

	Газ	Електрична енергія
Оптимістичний	0	0
Середньостатистичний	25	10
Песимістичний	50	35

Результати розрахунків руху грошових потоків для системи до та після термомодернізації представлені на рисунку 3.1. Графіки руху грошових потоків, як інтегральні дисконтовані витрати, при застосуванні централізованого теплопостачання, газових котлів та теплового насосу до та після комплексної термомодернізації (рисунок 3.1а) дозволить визначити складний термін окупності запропонованих альтернатив (таблиця 3.3) у порівнянні з існуючим варіантом. Отже на рисунку 3.1а складний термін окупності визначається як перетин одного джерела теплоти з іншим.

Таблиця 3.3 – Складний термін окупності різних систем опалення

Тип системи опалення	Термін окупності в порівнянні з централізованим опаленням до термомодернізації
Газовий котел до термомодернізації	-
Газовий котел після термомодернізації	15,5
Централізованим опаленням після термомодернізації	більше 20
Теплова насосна установка до термомодернізації	-
Теплова насосна установка після термомодернізації	9,2

На рисунку 3.1б представимо вплив врахування зміни вартості енергоносіїв. Коли ми не враховуємо зміну вартості енергоносіїв це призводить більших витрат та більших термінів окупності, чим коли ми враховуємо цей показник. Тож результати дослідження, з врахуванням зміни вартості енергоносіїв в часі представимо в таблиці 3.4.

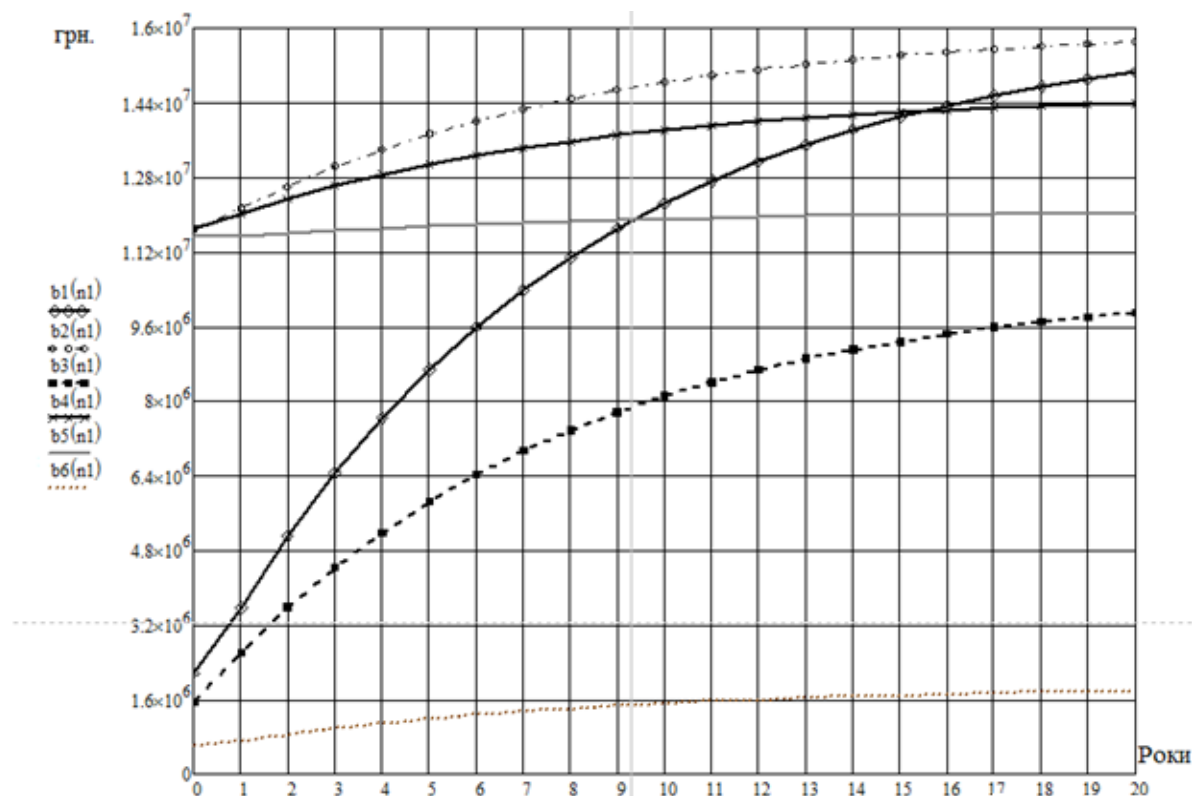
Таблиця 3.4 – Складний термін окупності різних систем опалення зі зміною енергоносіїв в часі

Тип системи опалення	Термін окупності в порівнянні з централізованим опаленням до термомодернізації
Газовий котел до термомодернізації	-

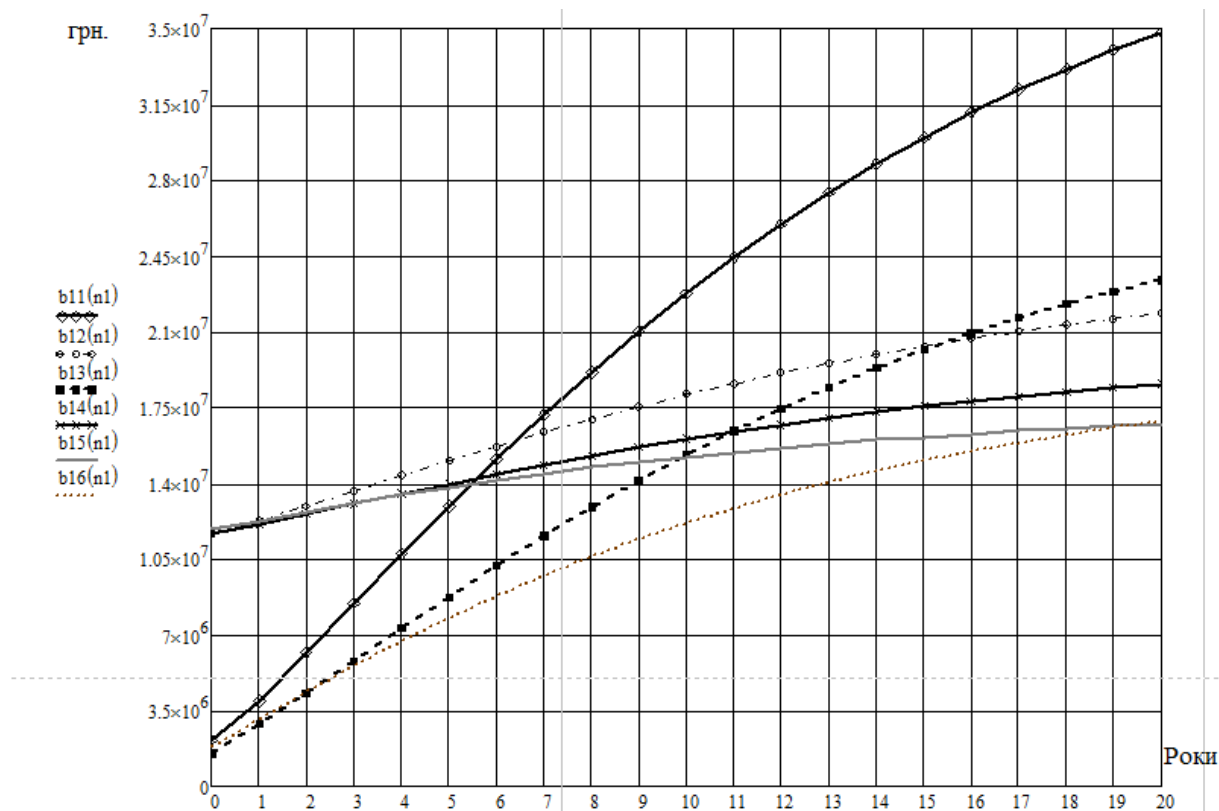
Газовий котел після термомодернізації	5,7
Централізованим опаленням після термомодернізації	6,5
Теплова насосна установка до термомодернізації	-
Теплова насосна установка після термомодернізації	5,7

Тож ми можемо спостерігати значні зміни в дисконтованих термінах окупності, що свідчить про те що зміна вартості енергоносії в часі відіграє не аби яке значення та його необхідно враховувати в усіх розрахунках.

І як висновок можна сказати, що після комплексної термомодернізації доцільно було б змінити джерело системи опалення, що в свою чергу призведе до більшої економії та швидшої окупності заходів.



a)



б)

Рисунок 3.1 – Графік руху грошових потоків для системи до та після термомодернізації

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ – відповідно інтегральні дисконтовані витрати із застосуванням централізованого опалення до та після термомодернізації, газовий котел до та після термомодернізації та тепловий насос після та до термомодернізації, грн;

$b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}, b_{16}$ – відповідно інтегральні дисконтовані витрати при застосуванням централізованого опалення до та після термомодернізації, газовий котел до та після термомодернізації та тепловий насос після та до термомодернізації, враховуючи зміну в часі вартості енергоносіїв, грн.

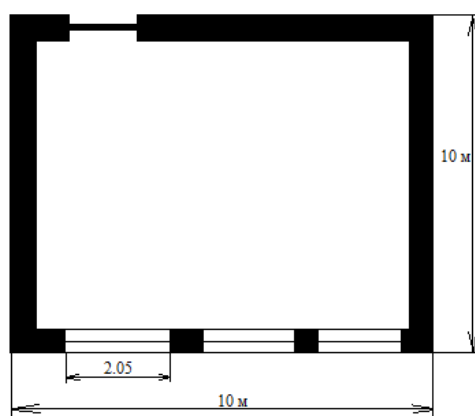
Отже, роблячи порівняння рисунка 3.1а та 3.1б, можна прийти до висновку, що зміна вартості енергоносіїв в часі впливає на термін окупності заходів. При врахуванні коефіцієнта приросту цін на енергоносії, дисконтовані терміни окупності зменшується майже в 2 рази.

3.2 Вплив термомодернізації на рівень теплового комфорту

На даний час у світі постає питання яким чином прийти до ефективного використання енергії та в свою чергу не знизити тепловий комфорт у будівлях. Тому це питання є таким важливим та вимагає комплексного підходу до його вирішення.

3.2.1 Характеристика моделі дослідження

Наступним роком даної роботи є моделювання зміни рівня теплового комфорту до та після термомодернізації. За об'єкт дослідження було взято типову навчальну кімнату розміщену на другому поверсі будівлі в блоці Б розмірами 10×10 м з трьома віконними отворами розміром 2,05×2,1 м, модель кімнати дослідження наведена на рисунку 3.2. Коефіцієнт скління 0,3. Дана модель була створена в програмному продукті sketchUp і там же були додані всі інженерні системи, а саме моделювання проводилося у програмному продукті EnergyPlus. Для початку задавалися матеріали огорожувальних конструкцій з їх теплофізичними характеристиками, у таблиці 3.5 зведені всі характеристики та матеріали огорожувальних конструкцій. В таблиці 3.6 наведені базові характеристики моделі дослідження та в таблиці 3.7 представлені характеристики внутрішнього та зовнішнього середовища.



Довкілля

Рисунок 3.2 – Модель кімнати

Таблиця 3.5 – Розрахункові дані для огорожувальних конструкцій

Огородження	Шар	Товщина $\delta, \text{м}$	Теплопровідність, $\lambda \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	Густина $\rho_0, \text{кг/м}^3$	Питома теплоємність $c, \text{Дж/кг}\cdot\text{К}$
Зовнішня стіна	Розчин вапняно- піщаний	0,01	0,81	1600	840
	Силікатна цегла	0,51	0,87	1800	880
	Розчин цементно- піщаний	0,01	0,93	1800	840
Вікна	Металопластикові з одинарним склопакетом				
Горищне перекриття	Розчин вапняно- піщаний	0,02	0,81	1600	840
	Залізобетон	0,22	2,04	2500	840
	Гравій керамзитовий	0,15	0,12	200	840
	Розчин цементно- піщаний	0,03	0,93	1800	840
	Руберойд	0,02	0,17	1000	1680
Підлога	Розчин вапняно- піщаний	0,02	0,7	1600	840
	Залізобетон	0,22	2,04	2500	840
	Розчин цементно- піщаний	0,02	0,7	1700	840
	Паркет	0,02	0,41	2300	700

Продовження таблиці 3.5.

Внутрішні стіни	Гіпс	0,02	0,21	800	840
	Розчин цементно- піщаний	0,02	0,7	1600	840
	Цегла	0,51	0,64	1400	880
	Розчин цементно- піщаний	0,02	0,7	1600	840
	Гіпс	0,02	0,21	800	840

Таблиця 3.6 – Базові характеристики моделі дослідження

Площа зовнішньої стіни $F_z, \text{м}^2$	17,4
Площа вікна $F_v, \text{м}^2$	12,6
Термічний опір зовнішньої стіни $R_z, \text{м}^2\cdot\text{°C/Вт}$	0,77
Термічний опір вікна $R_v, \text{м}^2\cdot\text{°C/Вт}$	0,4

Кратність повітрообміну n , год ⁻¹	1
---	---

Таблиця 3.7 – Характеристики внутрішнього та зовнішнього середовища

Температура повітря довкілля T_o , К	273
Відносна вологість довкілля φ_o , %	78
Відносна вологість повітря в кімнаті, φ_v , %	50
Атмосферний тиск, Па	101325
Середня потужність надходження сонячної радіації на вертикальну поверхню Вт/м ²	30

Також швидкість обміну речовин приймалася 70 Вт/м², оскільки в даній кімнаті основний вид діяльності це сидяча робота, що й характерно для навчальних закладів та термічний опір типових комбінацій одягу був обраний для нижньої білизни з короткими рукавами, сорочки, брюки, куртка, шкарпетки та взуття і відповідно становить 0,155 м²К/Вт, дані взяті згідно [7].

Моделювання було проведено для типової кімнати розташованої на південній та північній стороні. Наступним кроком було запропоновано утеплення стін, даху та заміна старих вікон на нові енергоефективні. В таблиці 3.8 представлені матеріали для утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Таблиця 3.8 – Матеріали утеплювачів для зовнішніх огорожувальних конструкцій

Огородження	Шар	Товщина δ , м	Теплопровідність, λ Вт/м·К	Густина ρ_o , кг/м ³	Питома теплоємність c , Дж/кг·К
Зовнішні стіни	Мінераловатні плити	0,2	0,05	30	920
Перекриття горища	Мінераловатні плити	0,25	0,049	40	920

Віконні конструкції пропонується замінити на двокамерні склопакети з селективним покриттям. Після цього було проведено повторне моделювання.

Отже як було сказано вище розрахунки проводяться по методу Фангера, який представлено в стандарті ISO 7730 [7] та який заснований на рівняннях теплового балансу людини:

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-2,1 \cdot M} + 0,028) \cdot [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}], \quad (3.3)$$

де M – ступінь метаболізму, Вт/м²;

W – ефективна механічна робота, Вт/м²;

H – втрати теплоти випромінюванням (sensitive heat losses), Вт/м²;

E_c – теплообмін шляхом випаровування зі шкіри, Вт/м²;

C_{res} – теплообмін конвекцією, під час дихання, Вт/м²;

E_{res} – теплообмін випаровуванням під час дихання, Вт/м²;

$$H = 3,96 \cdot 10^8 \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_{cl} \cdot (t_{cl} - t_a), \quad (3.4)$$

$$E_c = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15], \quad (3.5)$$

$$C_{res} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a), \quad (3.6)$$

$$E_{res} = 1,7 \cdot 10^5 \cdot M \cdot (5867 - p_a), \quad (3.7)$$

де f_{cl} – фактор, що враховує площу поверхні одягу;

t_a – температура повітря, °С;

t_r – середня радіаційна температура, °С;

t_{cl} – температура поверхні одягу, °С;

p_a – парціальний тиск пари у повітрі, Па;

I_{cl} – термічний опір одягу, м²°С/Вт;

v_{ar} – відносна швидкість руху повітря, м/с;

h_{cl} – коефіцієнт конвективного теплообміну, Вт/м²К.

Проблемою даного методу є не можливість відразу дізнатися температуру поверхні одягу, тому для цього використовується метод інтерполяції з рівняння теплового балансу відповідно для шару одягу [37]:

$$(t_{sk} - t_{cl}) = 3,96 \cdot 10^8 \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_{cl} \cdot (t_{cl} - t_a), \quad (3.8)$$

$$t_{sk} = 35,7 - 0,028(M - W). \quad (3.9)$$

Коефіцієнт конвективного теплообміну визначається наступним чином:

$$h_c = \begin{cases} 2,38|t_{cl} - t_a|^{0,25}, & \text{якщо } 2,38|t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}}, \\ 12,1\sqrt{v_{ar}}, & \text{якщо } 2,38|t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}}, \end{cases} \quad (3.10)$$

Фактор, що враховує площу поверхні одягу:

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,29 \cdot I_{cl}, & \text{якщо } I_{cl} \leq 0,78 \frac{m^2 K}{Wm} \\ 1,05 + 1,645 \cdot I_{cl}, & \text{якщо } I_{cl} > 0,78 \frac{m^2 K}{Wm}. \end{cases} \quad (3.11)$$

Модель Фангера, а саме показник PMV засновано на великій кількості експериментів, але він не враховує механізм терморегуляції, що має досить великий вплив при розрахунках теплообміну людини. Також вона допомагає оцінити прийнятність умов навколишнього середовища для забезпечення теплового комфорту людини. Активність та тип одягу людини представлено у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Модель людини

Термічний опір одягу, м ² К/Вт	0,155
Швидкість обміну речовин, Вт/м ²	70
Активність присутніх, Вт/м ²	0
Кратність повітрообміну, год ⁻¹	1

Розрахунок показників теплового комфорту для змінної середньої радіаційної температури на протязі року погодинно до та після термомодернізації для Пн та Пд стіни здійснювався у Mathcad. Значення PMV для опалювального періоду представлено на рисунку 3.3.

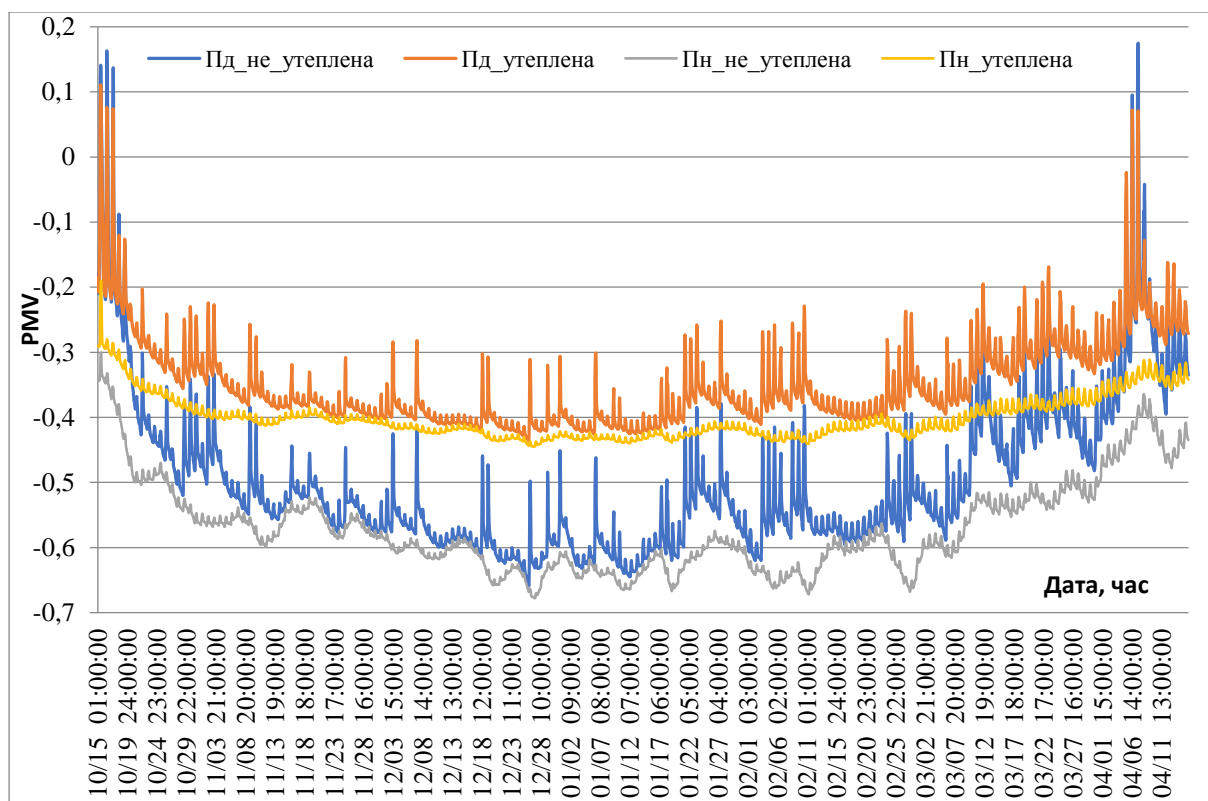
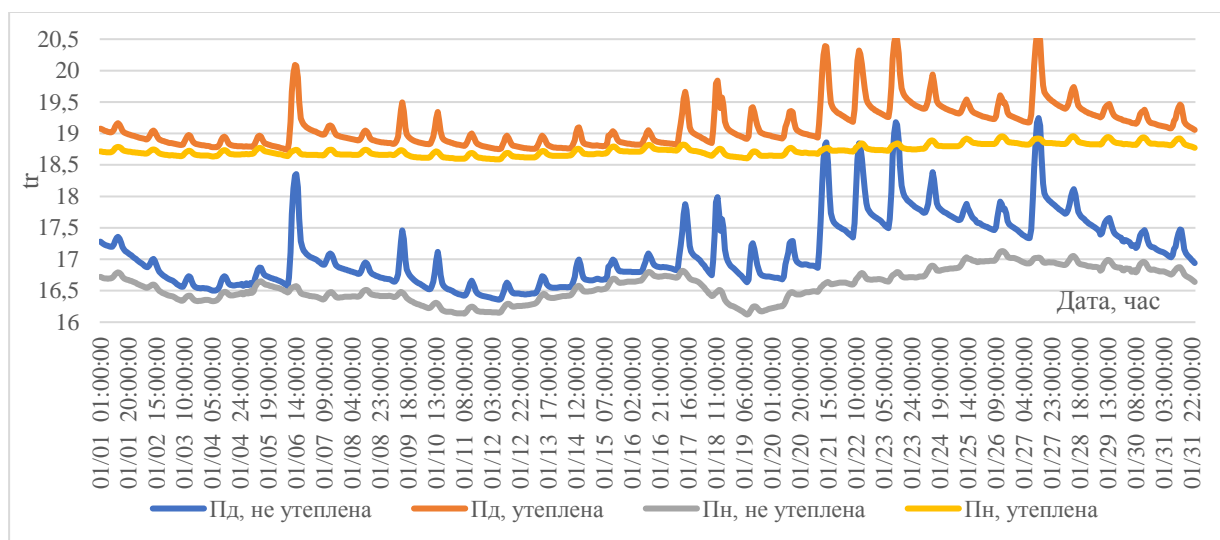


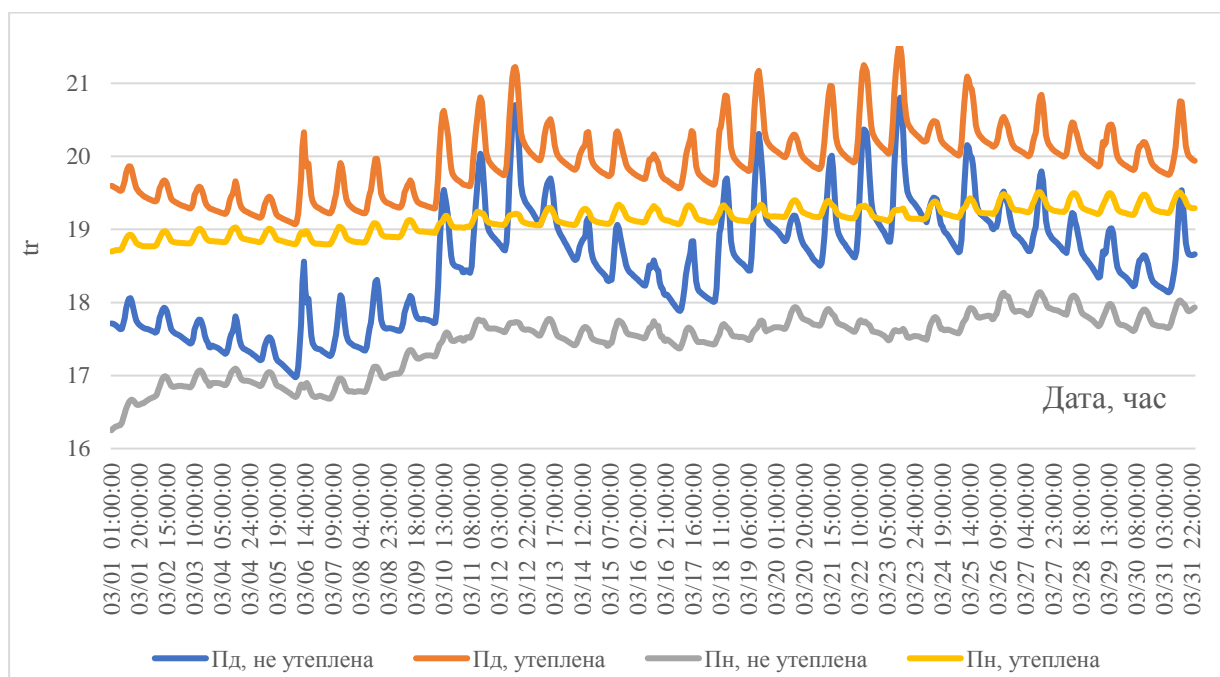
Рисунок 3.3 – Значення PMV для опалювального періоду

Показано, що PMV змінюється від -0,7 у холодні місяці до 0,2 у міжсезоння. Зміна термічного опору огорожень дозволяє підвищити PMV, а отже покращити тепловідчуття людини приблизно на 0,1. Для стіни Пд орієнтації характерні більші коливання PMV, що обумовлено надходженням сонячної радіації і як наслідок зростання середньої радіаційної температури приміщення.

На рисунку 3.4 представлено зміну середньої радіаційної температури для січня (а) та березня (б), до та після термомодернізації для стіни Пн та Пд орієнтації.



а)

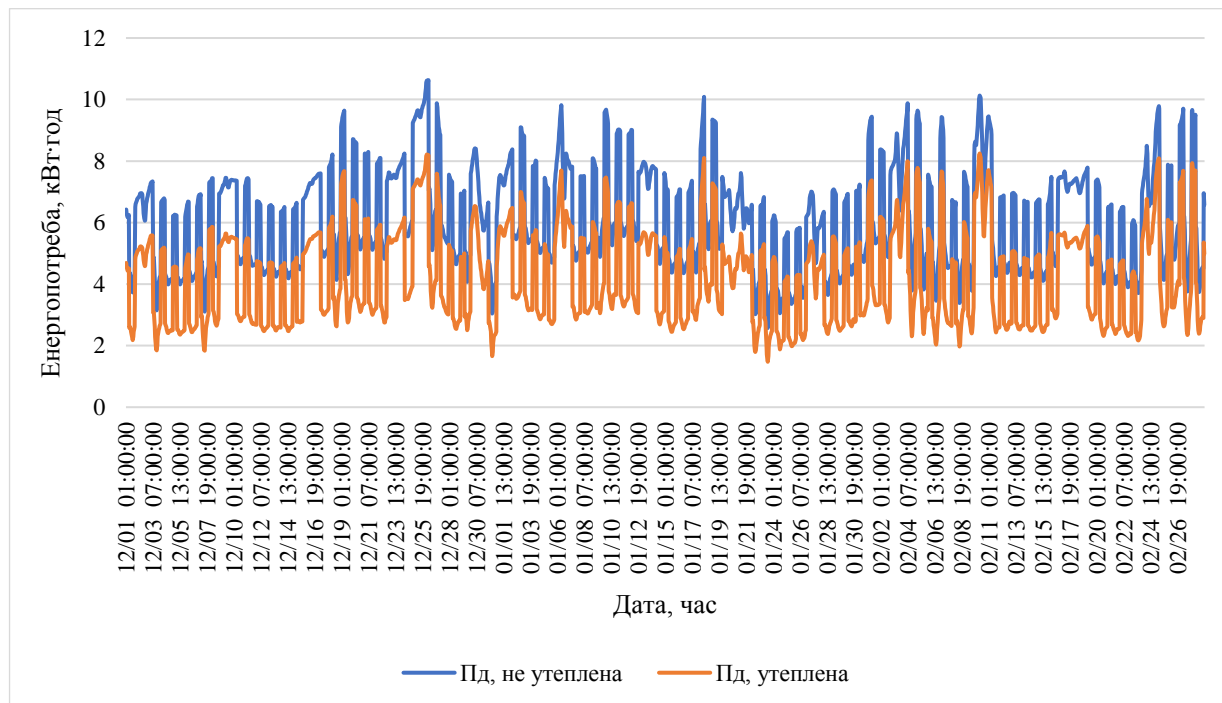


б)

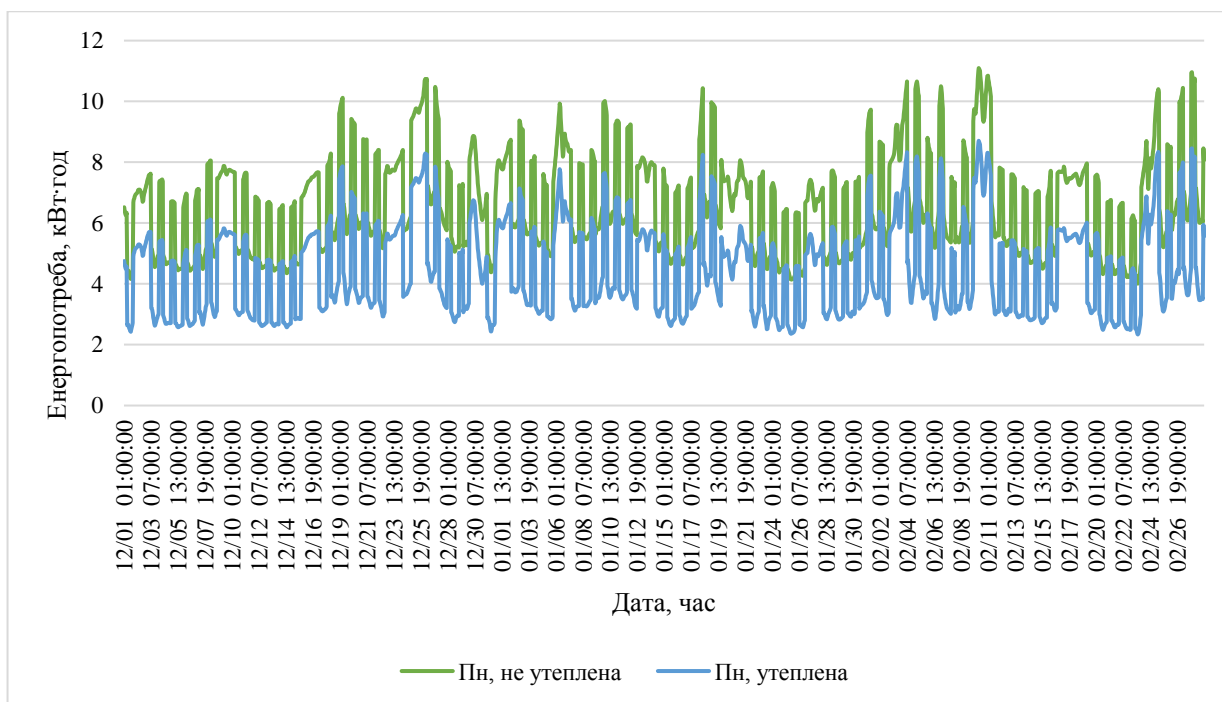
Рисунок 3.4 – Зміна середньої радіаційної температури у січні (а) та у березні (б)

Встановлено, що підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій дозволяє підвищити середню радіаційну температуру приміщення в середньому на 2 °С. Південна орієнтація стіни забезпечує підвищення середньої радіаційної температури до 1,4 °С у порівнянні з Пн. Таке підвищення середньої радіаційної температури дозволить знизити температуру повітря у приміщенні без зниження рівня теплового комфорту.

Також у програмі EnergyPlus був проведений розрахунок енергопотреби даної кімнати на Пд і Пн орієнтацію до та після утеплення і результати представлені на рисунку 3.5 для зимового періоду.



а)



б)

Рисунок 3.5 – Зміна енергопотреби в зимовий період для Пд орієнтації (а) та Пн орієнтації (б)

Як показано на рисунку 3.5 потреба значно зменшується після проведення термомодернізації та підвищення опору огорожувальних конструкцій, як для Пд так і Пн орієнтації. Енергопотреба для Пд орієнтації після утеплення зменшилося на 32 % , а для Пн – 30 %, що свідчить про доречність проведення утеплення будівлі.

3.2.2 Зміна категорії щодо забезпечення комфортних умов

Відповідно до [5] різні категорії внутрішнього середовища встановлюються виходячи з різних критеріїв для PMV та PPD, які визначаються відповідно [7] , представлені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Приклади рекомендованих категорій для проектування будівель із механічним опаленням та охолодженням

Категорія	Тепловий стан будівлі в цілому	
	<i>PPD</i> %	Очікувана середня оцінка ступеня комфорту (індекс комфортності) Predicted Mean Vote
I	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
II	<10	$-0,5 < PMV < +0,5$
III	<15	$-0,7 < PMV < +0,7$
IV	>15	$PMV < -0,7$; або (or) $+0,7 < PMV$

Отже з проведених досліджень можна дійти до висновку, що дана будівля має III категорію комфортності – це є допустимий середній рівень очікувань може бути використаний для існуючих будівель, але для комфортного перебування, а особливо для навчання дітей цього недостатньо. Тому в даній роботі було запропоновано провести комплексну термомодернізацію будівлі та за рахунок цього в наших дослідження вийшло привести дану будівлю до II категорії

комфортності – це нормальний рівень очікувань має виконуватися для нових будівель та реновації.

Висновки до розділу

В даному розділі було розглянуто питання комплексної термомодернізації будівлі, проведене техніко-економічне обґрунтування та оцінено вплив модернізації на рівень теплового комфорту. Тому з даного розділу можна зробити висновки:

1. З техніко-економічних обґрунтувань прийшли до висновку, що після проведеної комплексної термомодернізації є досить доцільним і на далі використовувати централізоване опалення.
2. Показано, що PMV змінюється від -0,7 у холодні місяці до 0,2 у міжсезоння. Зміна термічного опору огорожень дозволяє підвищити PMV, а отже покращити тепловідчуття людини приблизно на 0,1.
3. Встановлено, що підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій дозволяє підвищити середню радіаційну температуру приміщення в середньому на 2 °С. Південна орієнтація стіни забезпечує підвищення середньої радіаційної температури до 1,4 °С у порівнянні з Пн. Таке підвищення середньої радіаційної температури дозволить знизити температуру повітря у приміщенні без зниження рівня теплового комфорту.
4. Енергопотреба для Пд орієнтації після утеплення зменшилося на 32 %, а для Пн – 30 %, що свідчить про доречність проведення утеплення будівлі. Для стіни Пд орієнтації більше зменшення енергопотреби обумовлене тим, що є більше надходження сонячної радіації і потрібно менше енергії для опалення приміщення.
5. Загалом дані дослідження були направлені для визначення категорії комфортності. Тому дослідження допомогли покращити рівень теплового комфорту та досягти II категорію комфортності.

4 ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА МОНІТОРИНГ

В даному навчальному закладі відсутні будь-які прояви енергоменеджменту, не зважаючи на ручний збір даних з лічильників. Насамперед, це пов'язано з тим, що в робочого персоналу школи взагалі немає поняття про енергоменеджмент та моніторинг та навіть відсутній такий підрозділ, як енергоменеджмент.

Відповідно до [25] система енергетичного менеджменту – це набір взаємопов'язаних один з одним і взаємодіючих між собою елементами, що ґрунтується на енергополітиці в цілях, процесах і процедурах необхідних для покращення енергетичного результату і дають змогу досягти цих цілей у тому числі, щодо зменшення викидів в атмосферу парникових газів за допомогою системи управління енергоресурсами. Даний документ надає можливість та настанови організаціям для створення систем та процесів, необхідних для постійного вдосконалення енергоефективності. Також він визначає вимоги до системи управління енергією для різних організацій.

Отже, першим кроком є створення підрозділу з енергоменеджменту. А для цього необхідно залучення вищого керівництва, а саме директора школи. Згідно з [26] залучення керівництва має дуже важливе значення для ефективної реалізації, підтримання та поліпшення системи енергетичного менеджменту. Керівництво демонструє своє зобов'язання за допомогою лідерських дій та активній участі в усіх процесах, а також стимулювання людей до кращих результатів.

На даний час є багато програмних продуктів для вдалої роботи та полегшення завдань для підрозділу енергоменеджменту, але я пропоную розглянути комп'ютерну програму «Автоматизовану систему енергомоніторингу» (далі – КП «АСЕМ»). АСЕМ – це комплекс програмного забезпечення для дистанційного обліку та аналізу споживання паливно-енергетичних ресурсів, інформування про порушення в режимах роботи обладнання теплових пунктів закладу.

Тому для персоналу, який буде в підрозділі енергоменеджменту, необхідно провести навчання, як правильно користуватися даною програмою. І це дуже дуже полегшить їх роботу в подальшому.

КП «АСЕМ» забезпечує автоматичний збір даних з вузлів обліку теплової енергії, електричної енергії, холодної води, а також проводить збір даних про аварійні сигнали та температуру повітря в середині приміщень. Тому головним завданням даної програми на основі отриманої інформації вирішити питання з підвищення ефективності споживання та раціонального використання ПЕР.

Дана програма являється дуже функціональною, тому що до її функцій входить велика кількість можливостей, а саме:

- моніторинг даних по енергоспоживанню отриманих в «автоматичному» режимі;
- моніторинг даних енергоспоживання на джерелах постачання;
- виявлення аварійних ситуацій в роботі системи;
- можливість самостійно керувати системами автоматики;
- оптимізувати роботу системи поза робочим часом;
- можливість інформувати відповідальних осіб про аварійні ситуації та порушення в роботі;
- можливість прогнозування енерговитрат на майбутні періоди;
- формування звітів;
- надійний захист даних.

В даної програми безліч переваг, але найголовніші на мою думку, це те що робочому персоналу не потрібно власноруч збирати дані та вводити до програми та те що дана програма може відразу виявити якісь несправності в роботі системи і їх можна з легкістю виправити в короткий проміжок часу.

Також, великим плюсом є можливість програми планувати енерговитрати на майбутні періоди, це дозволить керівництву закладу спланувати план дій на майбутнє та прийняти відповідні рішення для можливості їх скорочення.

Створення підрозділу з енергоменеджменту та впровадження АСЕМ дозволить значно економити енергоресурси від 3 до 15 %.

В середньому за рік навчальний заклад споживає 76502 кВт·год електроенергії та 629,55 Гкал теплової енергії, тоді річна економія електроенергії та тепла складе:

$$\Delta W_{ел.ен} = 76502 \cdot 0,15 = 11475,3 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_{\text{тепло}} = 629,55 \cdot 0,15 = 94,43 \text{ Гкал.}$$

Зважаючи, що тариф на електричну енергію становить 2,29 грн/ кВт·год, а на теплову енергію – 1658,98 грн/Гкал, річна економія від впровадження системи енергетичного менеджменту та ПК «АСЕМ» становитиме:

$$\Delta E_{\text{ел.ен}} = 11475,3 \cdot 2,29 = 26278,44 \text{ грн;}$$

$$\Delta E_{\text{тепло}} = 94,43 \cdot 1658,98 = 156657,48 \text{ грн.}$$

Висновок до розділу

Проаналізувавши ситуацію в даному навчальному закладі, виявлено, що ніякого моніторингу по споживання енергоносіїв не здійснюється. На основі цього для вирішення цієї проблеми було запропоновано створити підрозділ з енергоменеджменту та впровадити програмний продукт «Автоматизовану систему енергомоніторингу». Це в першу чергу приведе до значної економії енергоресурсів і відповідно до економії коштів. Також програма дасть можливість виявляти порушення в роботі системи, завдяки чому можна вирішити ці проблеми завчасно, а також можна буде складати план використання енергоносіїв на майбутні періоди.

5 БІЗНЕС-МОДЕЛЬ ПРОГРАМАТОРА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТНИХ УМОВ

Метою даного розділу є формування підприємницького мислення, комерціалізація нових науково-технічних розробок.

Завданням розділу являється оцінювання ринкових перспектив програматора, для забезпечення комфортних умов та створення бізнес-моделі стартап-проекту до інвестиційної стадії.

5.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту

Згідно з [42] на початку розроблення стартап-проекту доцільно обґрунтувати цілі етапів його реалізації та представити їх в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Цілі основних етапів реалізації стартап-проекту

Етапи реалізації стартап-проекту	Цілі етапів реалізації стартап-проекту
Початковий етап стартап-проекту	Дослідження потреб та запитів споживачів, суперечностей та технологічних недосконалостей діючих продуктів-аналогів конкурентного середовища
Етап обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї	Задоволення нових потреб споживачів, подолання певних суперечностей поточних технологічних процесів, вдосконалення діючих технологій та устаткування тощо
Етап аналізу конкурентного середовища	Виявлення можливих конкурентів-виробників, які виготовляють схоже обладнання або пропонують схожі технології та здійснення порівняльного аналізу техніко-економічних переваг та недоліків реалізації пропонованої ідеї
Етап обґрунтування ресурсного забезпечення проекту	Визначення необхідних матеріальних, трудових, капітальних ресурсів, ключових процесів, технологій, обладнання та реалізації проекту в часі і просторі
Етап фінансового забезпечення реалізації проекту	Обґрунтування собівартості та ціни реалізації інноваційної ідеї
Інвестиційний етап реалізації стартап-проекту	Пошук потенційних інвесторів фінансування стартап-проекту
Маркетинговий етап реалізації проекту	Обґрунтування каналів збуту продукту стартап-проекту, залучення потенційних споживачів, формування необхідних сегментів ринку

5.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

Роблячи підсумок результатів даної роботи щодо впливу комплексної термомодернізації будівлі на рівень енергоспоживання та забезпечення комфортних умов у приміщеннях навчального закладу, приходимо до висновку, що на даний час з навчальному закладі не дотримані належні комфортні умови для навчання дітей та роботи робочого персоналу, а це в свою чергу приводить до погіршення самопочуття присутніх та зменшення працездатності. Комплексна термомодернізація звичайно покращить дану ситуацію, але не задовольнить для всіх присутніх комфортні умови перебування. Тому виходячи з цієї ситуації постає така проблема, як задоволення належних комфортних умов для більшості присутніх у приміщеннях та врахування як найбільше факторів для цього.

Отже, саме цим підрозділом магістерської дисертації постає завдання для реалізації належних комфортних умов навчання та праці за допомогою програматора, що дозволяє регулювати температуру у приміщенні відповідно до типу одягу та фізичної активності людини.

Підвищення енергетичної ефективності будівель можливе за рахунок сукупності заходів, спрямованих на теплозахисну оболонку будівлі, систему опалення та джерело теплоти, враховуючи різні обмеження, спричинені вимогами до належної якості мікроклімату у приміщенні. У даній ситуації важливим є здобуток належного компромісу між зниженням енергопотреби та енергоспоживання будівель та задоволення належного рівня теплового комфорту. Тому даний програматор не тільки буде зменшувати енергоспоживання будівлі, але за допомогою своїх функцій буде підтримувати комфортні умови мікроклімату у приміщенні.

Актуальність та новизну стартап-проекту представимо в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Актуальність та новизна стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
------------	-----------------------	------------------------------

Ідея полягає у створенні програматора, що дозволяє регулювати температуру в приміщенні відповідно до одягу та фізичної активності людей	1. Виробники та постачальники матеріалів (розробка проектів)	Комплексна інструкція з монтажу, можливість підлаштування до будь-якого приладу опалення, доступ через будь-який прилад з наявністю Wi-fi, врахування факторів одягу та фізичної активності, зручний інтерфейс та простота роботи
	2. Проектування (систем опалення)	

Визначені переваги даного приладу [42], а саме можливість задавати одяг в якому ти перебуваєш у приміщенні та вказувати свою подальшу фізичну активність, дозволять програматору самому налаштувати терморегулятори в приміщенні до відповідної комфортної температури, враховуючи зовнішню температуру, вологість та швидкість руху повітря в приміщенні, що в свою чергу створить ряд переваг перед конкурентами на ринку. А можливість задавати одяг та фізичну активність досі ще не була представлена у жодного з конкурентних продуктів, саме це забезпечує належну конкурентоспроможності пропонованої новації у виробничому та економічному середовищі [41].

5.3 Аналіз конкурентного середовища

На даний час на ринку кліматичної техніки дуже багато конкурентів, але для прикладу розглянемо найбільших постачальників подібного обладнання, а саме Salus та AURATON. Результати аналізу представимо в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Переваги стартап проекту перед конкурентами

№ п/п	Характеристики ідеї	Стартап-проект	Salus	AURATON
1.	Сенсорний дисплей	Наявний	Наявний	Відсутній
2.	Наявність Wi-fi	Наявний	Наявний	Відсутній
3.	Можливість програматора самостійно налаштувати температуру в приміщенні	Наявний	Відсутній	Відсутній
4.	Можливість вказувати тип одягу та подальшу фізичну активність	Наявний	Відсутній	Відсутній
5.	Простота встановлення	Наявний	Наявний	Наявний
6.	Можливість встановлення до будь-якого приладу опалення	Наявний	Відсутній	Відсутній

Отже, проаналізувавши дану таблицю можна зробити висновок, що завдяки новій можливості введення одягу та фізичної активності на даному конкурентному ринку загрози як такої не спостерігається і можна з впевненістю виходити на ринок.

Для аналізу можливостей реалізації, потенційних загроз, а також визначення сильних та слабких сторін стартап-проекту проведемо SWOT-аналіз та представимо його в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – SWOT-аналіз стартап-проекту

S (strength) – Сильні сторони	W (weaknesses) – Слабкі сторони
1.Можливість автоматичного встановлення температури для підтримання комфортних умов з врахуванням критеріїв одягу та фізичної активності. 2.Адаптація розрахунків встановленої температури до ДСТУ EN ISO 7730. 3.Простота користування. 4.Можливість управління через Wi-fi.	1.Мала обізнаність споживачів про даний продукт. 2.Відсутність підрозділу маркетингу. 3.Залежність від сезону.
O (opportunities) – Можливості	T (threats) – Загрози
1.Розширення виробництва. 2.Вдосконалення законодавчої бази. 3.Вихід на міжнародний рівень.	1.Ймовірність виникнення нових конкурентів. 2.Зниження економіки країни. 3.Сезонний спад.

З таблиці 5.4 можна зробити висновок, що для подолання слабких сторін та ризиків [43] необхідно в подальшому створити підрозділ маркетингу, який буде займатися рекламою та просувати продукт на ринку.

5.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту

Загалом вартість проекту включає та об'єднує в собі такі складові, як планування, складання бюджету фінансування, власне фінансування проекту та найголовніше це управління та контроль, які в свою чергу забезпечать виконання проекту в межах запланованого бюджету.

Отже обґрунтуємо та узагальнимо необхідні капіталовкладення на реалізацію даного проекту в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Обґрунтування капіталовкладень на реалізацію проекту

Статті капіталовкладень	Величина, грн.
Прямі матеріальні затрати	
– витрати купівельних комплектуючих виробів	50000
– витрати на запасні частини	2000
– інші матеріальні витрати	1000
Прямі затрати на оплату праці працівників	
– заробітна плата за ставками і тарифами працівників	5000
– премії, заохочення, компенсаційні виплати працівників	2000
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду – 22% по заробітній платі працівників	1100
Вартість основних фондів та нематеріальних активів виробничого призначення	
– початкова вартість задіяних у виробничому процесі основних засобів та необоротних нематеріальних активів (разом із транспортуванням, установкою та демонтажем)	1000
Інші прямі витрати:	
– витрати на дослідження та розробку інноваційних продуктів	5000
– витрати на послуги сторонніх підприємств (охорона, реклама оренда тощо)	8000
Загальновиробничі витрати	
– витрати на управління виробництвом (оплата праці управлінського персоналу всіх підрозділів разом із ЄСВ до Пенсійного фонду, відряджень тощо)	30000
– витрати на основні засоби та нематеріальні активи загальновиробничого призначення	7000
Всього капіталовкладень на реалізацію проекту	112000

5.5 Ключові види діяльності та ключові партнери

Ключові види діяльності представимо в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Виробництво	На основі вже існуючої моделі програматора будуть створюватися додаткові його функції	Створення програматора з новими можливостями
Реалізація	Досліджуватимуться нові споживачі та їх потреби	Дана продукція буде краще продаватися, чкщо подлаштовуватись під потреби споживачів
Реклама	Буде здійснюватися розповсюдження інформації для споживачів даного продукту	Більша обізнаність потенційного споживача про даний продукт
Збут	Будуть досліджуватися нові шляхи збуту продукції	Більший відсоток продаж даного продукту на нових ринках

Для реалізації даного проекту будуть залучені міжнародна фірма Protherm, Villant та Verol. А саме вони буде поставляти прості програматори для того щоб ми могли в подальшому покращувати їх.

5.6 Фінансове обґрунтування стартап-проекту

Для фінансового обґрунтування стартап-проекту необхідно чітко знати, які необхідні витрати та на основі них формувати собівартість реалізації даної ідеї стартап-проекту.

5.6.1 Прямі матеріальні витрати

Розрахуємо прямі матеріальні витрати на одиницю продукції, а саме витрати на купівельні вироби та витрати на запасні частини та результати занесемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Прямі матеріальні витрати

№ п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1	Витрати купівельних комплектуючих виробів	грн.	2000	1	2000	24000
2	Витрати на запасні частини	грн.	500	1	500	6000
Всього:					2500	30000

5.6.2 Витрати на оплату праці

Для визначення витрат на оплату праці необхідно проаналізувати структуру персоналу. Також до фонду оплати праці (ФОП) крім заробітної плати входить нарахування підприємства по заробітній платі до Пенсійного фонду [47].

ФОП розраховується за формулою 5.1:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} + \text{Нарахування до Пенсійного фонду, грн} \quad (5.1)$$

ЗП – величина сукупної заробітної плати працівників підприємства, грн

Нарахування до Пенсійного фонду становлять 22%.

Заробітна плата здійснюється за прямою погодинною системою оплати праці та обчислюється за формулою 5.2:

$$\text{ЗП}_{\text{погод}}^{\text{пряма}} = \text{ТС} \times t, \text{ грн} \quad (5.2)$$

t – кількість відпрацьованих працівником годин, год,

ТС – тарифна ставка оплати праці, грн/год

Тарифна ставка оплати праці становитиме:

$$\text{ТС} = 5000 / (30/7) * 40 = 29,17 \text{ грн} \quad (5.3)$$

де 5000 – заробітна плата для персоналу, грн.;

30/7 – кількість робочих днів місяця;

40 – нормативна тривалість робочого тижня, годин.

Отже структуру персоналу та фонду оплати праці зведемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Структура персоналу та ФОП

№ П/П	Посада	Форма оплати	Кількість працівників	Заробітна плата (грн.)		
				за місяць	за квартал	за рік
Адміністративно-технічний персонал						
1.	Менеджер по продажу та закупівлі	ставка	1	4667,2	14001,6	56006,4
2.	Енергоменеджер	ставка	1	4667,2	14001,6	56006,4
Всього				9334,4	28003,2	112012,8
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)				2053,6	6160,7	24642,8
ФОП				11387,8	34163,9	136655,6

5.6.3 Інші прямі витрати

До цих прямих витрати також належать витрати на дослідження, розробку та послуги інших компаній. Тож результати зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Прямі інші витрати

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн.	
		на місяць	на рік
Реклама	Угода	4000	48000
Всього:		4000	48000

5.6.4 Умовно-змінні витрати

До умовно-змінних витрат належать витрати, які ми здійснюємо на виробництво певного вику продукції. Тому дані результати представимо в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Умовно-змінні витрати

Статті витрат	Джерела даних	Витрати (грн.)			
		на 1 од.	на місяць	на квартал	на рік
1. Прямі матеріальні витрати	табл. 5.7	2500	25000	75000	900000
2. ФОП виробничого персоналу	табл. 5.8		11387,8	34163,9	136655,6
Всього:		2500	36387,8	109163,9	1036655,6

5.6.5 Умовно-постійні витрати

Умовно-постійні витрати включають в себе обслуговування та управління виробництвом, тобто ті які залишаються не змінними або майже не змінними. До них відносять ФОП адміністративно-технічного персоналу, рекламу, оренду, охорону, тощо [48]. Тому дані результати представимо в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Умовно-постійні витрати

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, тис.грн			
		на 1 од.	на місяць	на квартал	на рік
1. ФОП адміністративно-технічного персоналу	табл.5.8	-	11387,8	34163,9	136655,6
2.Реклама	табл. 5.9	-	4000	12000	48000
Всього:		-	15387,8	46163,9	184655,6

5.6.6 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту

Собівартість інноваційної ідеї складається з умовно-змінних та умовно-постійних витрат. Тому дані результати представимо в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, грн.		
		на місяць	на квартал	на рік
1. Умовно-змінні витрати	табл. 5.10	36387,8	109163,9	1036655,6
2 Умовно-постійні витрати	табл.5.11	15387,8	46163,9	184655,6
3. Собівартість	стр.1+стр.2	51775,6	155327,8	1221311,2

5.7 Обґрунтування рівня рентабельності (прибутковості) інноваційної ідеї

Відповідно до [49] прибуток – це частка власного доходу фірми за виключенням усіх витрат на виробничу та комерційну діяльність.

В умовах ринкової економіки величина прибутку повинна відображати відносини власності або інші фінансові зобов'язання, наприклад, оплату дивідендів власникам акцій або залучення кредиту, тощо. Рекомендований розподіл прибутку підприємства за фондами такий:

- фонд розвитку виробництва (ФРВ) – 50%;
- фонд соціального розвитку (ФСР) – 25%;
- преміальний фонд (ПФ) – 10%;
- дивіденди засновникам – 15%

Обґрунтування необхідного рівня прибутку інноваційної ідеї зведемо до таблиці 5.13.

Таблиця 5.13 – Обґрунтування рівня рентабельності інноваційної ідеї

Статті витрат	Джерело даних	Од. вимір.	Значення показників
1. Собівартість продукції	табл. 5.12	грн.	1221311,2
Обсяг виробництва в рік	Прогноз	шт.	120
2. Необхідний прибуток	пп.2.1+2.2+2.3+2.4+2.5 + 2.6+2.7	грн.	771637,4
2.1. Кредитні засоби та їх обслуговування	Кредитна угода	грн.	80000
2.2. Засоби ФРВ	Колективна угода	грн.	250000
2.3. Засоби ФСР	Колективна угода	грн.	125000
2.4. Засоби ПФ	Колективна угода	грн.	50000
2.5. Грошові виплати власникам підприємства	Колективна угода	грн.	75000
2.6. Фінансовий резерв	$(2.1+2.2+2.3+2.4+2.5) \cdot 0.05 / 0.95$	грн.	30526,3
2.7. Податок на прибуток	$(2.1+2.2+2.3+2.4+2.5) \cdot 0.18$	грн.	161111,1
3. Необхідний рівень рентабельності продукції	п.2 / п.1 * 100%	%	63,2

5.8 Обґрунтування вартості виробництва інноваційної техніки

Обґрунтування вартості виробництва інноваційної техніки представимо в таблиці 5.14.

Таблиця 5.14 – Обґрунтування вартості та ціни

Статті витрат	Джерело даних	Одиниці вимірювання	Значення показників
1. Собівартість товару	табл. 5.12	грн.	1221311,2
2. Норма рентабельності	табл. 5.13	%	63,2
3. «Нормальний» питомий прибуток	п.1 * п.2 / 100%	грн.	771868,7
4. Вартість виробництва продукції	п.1 + п.3	грн.	1993179,9
5. ПДВ	п.4*0,2	грн.	398635,9
6. Відпускна ціна товару	п.4+п.5	грн.	2391815,8

5.9 Цільові групи потенційних споживачів

Виявлення цільової групи доцільно для обґрунтування потенційних споживачів і на основі цього буде пропонуватися дане обладнання, а також допоможе визначити стратегію охоплення ринку, що представлено в таблицях 5.15 та 5.16.

Таблиця 5.15 –Цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Інжиніринг	Високий	Висока	Низька складність
2	Проектування	Високий	Середня	Низька складність
3	Постачальники	Високий	Висока	Середня складність
4	Енергоменеджмент	Середня	Середня	Середня складність
5	Фінансові установи	Слабкий	Відсутній	Малоймовірно

Отже, обираємо для цільові групи споживачів потенційних клієнтів, що мають значний попит та досить сприятливі умови для входу на ринок, а саме: інжиніринг, проектування, постачальники та енергоменеджмент.

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Підвищення ефективності управління, мінімізація витрат, постійне вдосконалення	Диференційований маркетинг	Мобільність, адаптивність, гнучкість та ін.	Стратегія диференціації

Обрана стратегія диференціації передбачає подальше впровадження у проект конкурентних особливостей, що робить товар помітно привабливим на ринку.

5.10 Канали збуту

Канали збуту — це сукупність фірм або окремих осіб, які виконують посередницькі функції щодо фізичного переміщення товарів і перебирають на себе або сприяють переданню права власності на товари на шляху їх просування від виробника до споживача [42].

Тож сформуємо систему збуту та представимо в таблиці 5.17.

Таблиця 5.17 – Встановлення систем збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля на основі запропонованих переваг продукту	Стимулювання, встановлення контактів, проведення переговорів	Значна (канал нульового рівня та однорівневі канали)	Пряма та традиційна система збуту

5.11 Бізнес-модель проекту

Найголовнішим етапом розроблення стартап-проекту є створення бізнес-моделі науково-технічної розробки. Створення конкурентної бізнес-моделі дозволяє не тільки вирішити поставлені задачі в роботі, але й являється структурою найважливіших елементів бізнес-проекту та є джерелом інноваційних ідей [44, 45]. Результати представимо в таблиці 5.18.

Таблиця 5.18 – Бізнес-моделі проекту

Ключові партнери:	Ключові види діяльності:	Цінність пропозиції:	Взаємовідносини з клієнтами:	Споживчі сегменти:
Міжнародні компанії: -Protherm; -Villant -Verol	1.Розробка проектних рішень по впровадженні приладу 2.Авторський нагляд 3.Надання консалтингових послуг в межах України	Створення комфортних умов у приміщенні враховуючи одяг та фізичну активність присутніх, що немає у жодних конкурентів	Підтриманні постійного контакту та надання інформації про оновлення	Інжиніринг, проектування, постачальники, енергоменеджмент
	Ключові ресурси: 1.Матеріальні ресурси (закупівля допоміжних матеріалів) 2.Інтелектуальні ресурси (створення патентів та ліцензій) 3.Людські ресурси (висококваліфіковані працівники) 4.Фінансові ресурси (власні кошти та залучені інвестиції)		Канали збуту: Пряма та традиційна система збуту продукції	
Структура собівартості: 1.Витрати разові (капітальні): 112000 2.Витрати постійні: 184655,6 3.Витрати змінні: 1036655,6		Потоки надходження доходу: від продажу продукції та впровадження в проектах		

У таблиці 5.19 підводяться підсумки підготовки інноваційного стартапу та узагальнюються основні техніко-економічні показники.

Таблиця 5.19 – Техніко-економічні показники

Показники	Значення
Річний випуск продукції, од.	120
Капіталовкладення, грн.	72000
Собівартість продукції, грн.	1221311,2
Ціна продукту, грн	10177,6
Прибуток, грн.	771637,4
Рентабельність, %	63,2

Висновки до розділу

Отже, було розроблено бізнес-модель програматора, що дозволяє регулювати температуру в приміщенні відповідно до одягу та фізичної активності людини, слід зазначити, що на даний момент на ринку досить сприятливі умови для введення даного продукту, тому що спостерігається значний попит на подібні продукти, адже розвивається напрямок з енергозбереження та енергоефективних технологій. І не зважаючи на те, що на ринку є досить значна конкуренція аналогів даного продукту його конкурентні переваги роблять його унікальним. Але насамперед, цей продукт вирішує проблему з задоволеннями мікроклімату в приміщеннях враховуючи параметри одягу та фізичної активності по факту, що раніше не враховували інші подібні програматори.

ВИСНОВКИ

1. Проведено огляд міжнародних та вітчизняних стандартів щодо ефективного використання енергії будівлями, підвищення енергетичної ефективності будівель та якості мікроклімату у приміщеннях.
2. Проведено розрахунок трансмісійних втрат через огороджувальні конструкції та виявлено місця найбільших втрат і на основі цього запропоновані заходи з енергозбереження.
3. Був проведений розрахунок по ДСТУ Б А.2.2–12:2015 та розраховане річне енергоспоживання та енергопотреба для даного навчального та після комплексної термомодернізації дана будівля зменшила своє енергоспоживання та енергопотребу майже в 60 %.
4. Був проведений огляд різних підходів до теплового комфорту та категорії будівель щодо забезпечення комфортних умов. Під час цього огляду було підібрано найоптимальнішу модель для подальших досліджень.
5. Для репрезентативних приміщень проведено динамічне моделювання у Energy Plus і визначено динамічну зміну параметрів теплового комфорту. Проведено динамічне моделювання для визначення енергоспоживання та зміни умов комфортності за рахунок термомодернізації. У якості параметра теплового комфорту обрано PMV (прогнозовану середню оцінку тепловідчуттів людини), що є основним у міжнародних та вітчизняних стандартах. Оцінено зміну середньої радіаційної температури у січні та березні для стіни Північної та Південної орієнтації до та після термомодернізації. Встановлено, що підвищення термічного опору огороджувальних конструкцій дозволяє підвищити середню радіаційну температуру приміщення в середньому на 2 °С. Таке підвищення середньої радіаційної температури дозволить знизити температуру повітря у приміщенні без зниження рівня теплового комфорту.
6. Під час моделювання також було встановлено зниження енергопотреби репрезентативних приміщень на 30-32 %.

7. У завершальному розділі «Розробка стартап-проекту» запропоновано розробити програматор, який не тільки буде зменшувати енергоспоживання будівлі, але за допомогою своїх функцій, що дозволяє регулювати температуру у приміщенні відповідно до типу одягу та фізичної активності людини, буде підтримувати комфортні умови мікроклімату у приміщенні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Pearce A. Sustainable Buildings and Infrastructure: Paths to the Future. Routledge, 2013.
2. EN 13790:2008. Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. CEN: European Committee for Standardization, 2008. 53p.
3. EN 15217:2007. Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings. CEN: European Committee for Standardization, 2007. 31p.
4. EN 15603:2008. Energy performance of buildings – overall energy use and definition of energy ratings. CEN: European Committee for Standardization, 2008. 43p.
5. 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 будівель. [Чинний від 2013-07-01]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 71 с.
6. ДСТУ Б EN 15261: 2012. Розрахунок параметрів мікроклімату. [Чинний від 2013-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 81 с. – (Державний стандарт України).
7. ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. [Чинний від 2013-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 74 с. – (Державний стандарт України).
8. ДСТУ Б EN 15603: 2013. Енергоефективність будівель. Загальне енергоспоживання та визначення енергетичних показників. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2014. – 63 с. – (Державний стандарт України).

9. ДБН В.2.6-31: 2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 30 с. – (Державні будівельні норми України).
10. Orosa J. Research on General Thermal Comfort Models. *European Journal of Scientific Research*, 2009. V. 27. P. 217–227.
11. Budaiwi I. An approach to investigate and remedy thermal-comfort problems in buildings. *Building and Environment*, 2007. V. 42. P. 2124–2131.
12. Simons B., Koranteng C., Adinyira E., Ayarkwa J.. An Assessment of Thermal Comfort in Multi Storey Office Buildings in Ghana. *Building and Environment*, 2014. V. 2. P. 30 – 38.
13. Gennusa M. La, Nucarab A., Rizzo G., Scaccianoce G.. The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation—a generalised algorithm. *Building and Environment*, 2005. V. 40. P. 367–375.
14. Методика вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: ДСТУ Б В.2.6–189:2013. – [Чинні від 2014-01-01] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2014. – 51 с. – (Державний стандарт України).
15. Енергетична ефективність будівель: ДСТУ Б А.2.2–12:2015. – [Чинні від 2015-01-01] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2015. – 145 с. – (Державний стандарт України).
16. Методика визначення енергетичної ефективності будівель. – [Чинні від 2018-07-11] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 43 с.
17. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. – [Чинні від 2011-11-01] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Державний стандарт України).
18. Проектування. Розділ «Енергоефективність» у складі проектної документації об'єктів: ДСТУ Б А.2.2-8:2010. – [Чинні від 2010-01-01] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2010. – 47 с. – (Державний стандарт України).

19. Тепловий лічильник SA – 94/2 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.aswegas.ru/index.php/teploschetchiki-sa-94-2>
20. Характеристика трансформаторів – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://sil-trans-form.ru/>
21. Кодекс комерційного обліку електричної енергії. – [Чинні від 14-03-2018] // Постанова національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. – 83 с.
22. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення: ДБН В.2.5-23:2010. – [Чинні від 01-10-2010] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2010. – 169 с. – (Державні будівельні норми України).
23. Електролічильники – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.elektroschetchiki.com.ua/>
24. Тариф на електричну енергію – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dtek-kem.com.ua/>
25. Система енергетичного менеджменту: ДСТУ ISO 50001: 2018 – [Чинний від 01-08-2018] // Мінекономрозвитку України. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 27 с. – (Державний стандарт України).
26. Система енергетичного менеджменту. Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту: ДСТУ ISO 50004: 2016 – [Чинний від 01-09-2016] // Мінекономрозвитку України. – К.: Укрархбудінформ, 2016. – 35 с. – (Державний стандарт України).
27. Фрейдкина Е. М. Методы и критерии оценки эффективности энергосбережения: учебное пособие. Санкт-Петербург: «Санкт-Петербургский Государственный Технологический Университет Растительных Полимеров», 2015. 52 с.
28. Гершкович В. Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий. Пособие по проектированию. СОК, 2006. №7. С. 54–62.

29. Шимків А. Англо-український тлумачний словник економічної лексики = English-Ukrainian explanatory dictionary of economic. Київ: "Києво-Могилянська академія", 2004. 429 с.
30. Pombo O. Rivela B., Neila J. The challenge of sustainable building renovation: assessment of current criteria and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 2016. V. 123. P. 88–100.
31. Ралко О. С. Методи визначення ставки дисконтування. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. Одеса, 2015. №11. С. 150–153.
32. Гук О.В., Грищенко А.О. Вітчизняний та зарубіжний досвід удосконалення методик визначення ставки дисконтування. *Економічний простір*. Дніпропетровськ, 2012. №68. С. 173-179.
33. Тормосов Р. Ю. Особливості техніко-економічного обґрунтування інвестиційних енергоефективних проектів в сфері виробництва, транспортування та споживання теплової енергії. *Інвестиції: практика та досвід*. Київ, 2011. №1. С. 6–9.
34. Тормосов Р. Ю. Особливості та зміст техніко-економічного обґрунтування проектів із чистої енергії. *Управління розвитком складних систем*, 2014. №20. С. 137–146.
35. Katic K., Zeiler V., Voxem G. Thermophysiological models: a first comparison. *First German – Austrian IBPSA Conference (RWTH Aachen University)*, 2014. P. 595–602.
36. Gagge A. P., Fobelets A. P., Berglund L. G. A standart predictive index of human response to the thermal enviroment. *ASRAE Transactions*, 1971. V. 77. P. 247–262.
37. Fanger P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 1973. V 30. P. 313–324.
38. Богословский В. Н, Сканава А. Н. Отопление. Москва: Стройиздат, 1991. 735 с.
39. Бахинди А. Тепловой микроклимат помещений. Москва: Стройиздат, 1981. 247 с.

40. ANSI/ASHRAE Standard 55: 2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *ASHRAE. – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 2010. 12 p.
41. Закон України «Про інститути спільного інвестування, 2017 [online] (останнє оновлення листопад 2017). Доступно: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/main/5080-17> [Дата звернення 26.04.2019].
42. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
43. Поліщук В.В. Стартап проекти та їх оцінювання: конспект лекцій для студентів за спеціальністю 7.121 «Інженерія програмного забезпечення» факультету інформаційних технологій УжНУ. – Ужгород: 2018. – 74 с. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/19695/1/7.pdf>.
44. Шевчук Н.А., Зайченко С.В., Кривда О.В. Впровадження та реалізація стартап проекту геомехатронного комплексу // Сучасні проблеми економіки і підприємництва [Текст]: Збірник наукових праць. – Вип. 21. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2018 С.94-101(Міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar, SIS).
45. Шевчук Н.А. Впровадження та реалізація стартапів в гірництві / Шевчук Н.А. / Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 120 –річчю КПІ «ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ», м. Київ, 17-18 травня 2018 р.– К.: НТУУ «КПІ», 2018. – С. 89-90.
46. Закон України «Про ринок електричної енергії» №264-ІХ // Урядовий кур'єр. – Офіц. Вид. – К. – 2017. – (Бібліотека офіційних видань).
47. Економіка підприємства: Книга 1. [підручник для студентів вищих навч. закладів]; за заг.ред. П.В. Круша, К.В. Шелехова. – К.: ДП «НВЦ Пріоритети», 2014. -676 с.
48. Круш П.В. Ціноутворення : підручник / П.В. Круш, О.І. Андрусь. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 292 с.

49. Податковий кодекс України. Закон № 2755-VI від 02.12.2010 «Голос України» № 229-230 від 04. 12. 2010.
50. Настанова з проектування: ДСТУ-Н-Б В.2.5-80-2015. – [Чинний від 28-10-2015] // Мінрегіон України. – К: Укрархбудінформ, 2015. – 83 с. – (Державний стандарт України).
51. Електронний каталог ПАО «Завод Южкабель» [Електронний ресурс]: база даних. -Режим доступу:<http://www.yuzhcable.into>
52. Муніципальний енергетичний план Запоріжжя. ЕСЗ.031.125.01.04.09. Техніко-економічне обґрунтування інвестиційного проекту «Термомодернізація 2 418 житлових будинків». Запоріжжя: ТОВ ЕСКО "Екологічні Системи", 2014. 87 с.
53. Індекс інфляції в Україні. URL: <https://buhgalter911.com/uk/spravochniki/kursy-stavki-indeksy/indeksy-inflyacii.html> (дата звернення 26.06.2017).
54. Буяк, Надія Андріївна. Оцінювання ефективності енергетичної системи будівлі в умовах теплового комфорту. 2017. PhD Thesis. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».