

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Бориченко Олена

«__» _____ 2026 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма: Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: Підвищення рівня енергоефективності “Науково-технічної
бібліотеки ім.Г.І Денисенка”

Виконав:

студент IV курсу, групи ОН-21

Клочан Дмитро Олексійович

Керівник:

к.т.н., доц. Веремійчук Юрій Андрійович

Консультанти:

Теплова частина

(назва розділу)

к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Охорона праці та пожежна безпека

(назва розділу)

д.т.н., проф.Третьякова Л.Д

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Нормоконтроль

(назва розділу)

пр.ін., Прокопенко І.Д

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

к.т.н., доц. Кулаковський Л.Я

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Клочан Д.О			Підвищення енергоефективності будівлі “НТБ ім.Г.І Денисенка”	Літ.	Арк.
Перевір.		Веремійчук Ю.А.					Акрушів
Реценз.							
Н. Контр.		Прокопенко І.Д				НН ІЕЕ, кафедра ЕП	
Затверд.							

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Пояснювальна записка	121	
3	A1	ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.02 ПЗ	Загальний опис об'єкту	1	
4	A1	ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.002 ПЗ	Заходи з підвищення енергоефективності (тепова частина)	1	
5	A1	ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.002 ПЗ	Заходи з підвищення енергоефективності (електрична частина)	1	
6	A1	ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.002 ПЗ	Схема індивідуального теплового пункту	1	
7	A1	ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.002 ПЗ	Оцінка роботи відновлювальних джерел енергії на об'єкті		

					<i>ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Клочан Д.О</i>			Підвищення енергоефективності будівлі "НТБ ім.Г.І Денисенка" НН ІЕЕ, кафедра ЕП		
<i>Перевір.</i>		<i>Веремійчук Ю.А.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Прокопенко І.Д</i>					
<i>Затверд.</i>							
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Клочану Дмитру Олексійовичу

1. Тема проєкту Підвищення енергоефективності будівлі “Науково-технічної бібліотеки ім.Г.І Денисенка”, керівник проєкту Веремійчук Юрій Андрійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від 26 травня 2026 р. № 1910-с

2. Термін подання студентом проєкту: 10.06.2026

3. Вихідні дані до проєкту: загальний опис об’єкту, споживання електричної енергії за останні три роки, загальна характеристика та перелік обладнання, план будівлі, схема освітлення.

4. Зміст пояснювальної записки:

- а) електрична частина: - Аналіз ефективності використання електричної енергії на об’єкті.
- б) теплова частина: - Визначення рівня енергетичної ефективності будівлі та заходів з його підвищення.
- в) охорона праці та пожежна безпека: - Охорона праці та пожежна безпека під час експлуатації систем накопичення.

					<i>ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Клочан Д.О</i>			<i>Підвищення енергоефективності будівлі "НТБ ім.Г.І Денисенка"</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Веремійчук Ю.А.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Прокопенко І.Д</i>					
<i>Затверд.</i>							
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
					<i>НН ІЕЕ, кафедра ЕП</i>		

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

- Однолінійна схема електропостачання будівлі;
- Схема ІТП;
- Плакат впровадження заходу з енергозбереження;
- Плакат впровадження заходу з енергозбереження
- Оцінка роботи відновлювальних джерел енергії
- Презентація до захисту дипломного проєкту.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Теплова частина	Шовкалюк М.М., доцент		
Охорона праці	Третьякова Л.Д., професор		

7. Дата видачі завдання: 22.05.2026 р.

Календарний план

Студент

Дмитро КЛЮЧАН

Керівник

Юрій ВЕРЕМІЙЧУК

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
1	Розрахунок електричної частини	23.05.-31.05.	
2	Розрахунок теплової частини	01.06.-05.06.	
3	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки	05.06.-09.06.	
4	Підготовка графічного матеріалу	10.06.-13.06.	
5	Захист дисертації	19.06.26	

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту складається з 6 розділів та містить 121 сторінку основного тексту. В основному тексті роботи наведено 69 ілюстрацій, 46 таблиць, 2 додатки та 20 бібліографічних найменування за переліком посилань.

Метою роботи є підвищення енергоефективності у Науково-технічній бібліотеці ім. Г. І. Денисенка НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». У роботі виконано аналіз технічного стану будівлі, досліджено особливості споживання електричної та теплової енергії, визначено основні джерела енергетичних втрат і запропоновано комплекс заходів з підвищення енергоефективності.

Завдання на виконання роботи полягало у виконанні аналізу технічного стану будівлі та її інженерних систем, дослідженні структури та динаміки споживання енергетичних ресурсів, проведенні інструментального обстеження системи освітлення, оцінці ефективності використання електричної та теплової енергії, розробленні заходів з підвищення енергоефективності об'єкта та виконанні оцінки економічної доцільності запропонованих заходів, а також дослідження впровадження системи енергоменеджменту та проведення оцінки роботи відновлюваних джерел енергії на об'єкті.

Ключові слова: ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, БУДІВЛЯ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ, ОСВІТЛЕННЯ, ОПАЛЕННЯ, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, СПОЖИВАННЯ

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк. 6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The explanatory note to the diploma project consists of 6 sections and contains 121 pages of main text. The main text of the work includes 69 illustrations, 46 tables, 2 appendices, and 20 bibliographic references according to the list of sources.

The aim of the work is to improve the energy efficiency of the H. I. Denysenko Scientific and Technical Library of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. The study includes an analysis of the technical condition of the building, an investigation of the specific features of electrical and thermal energy consumption, the identification of the main sources of energy losses, and the development of a set of measures to improve energy efficiency. The tasks of the work included analyzing the technical condition of the building and its engineering systems, studying the structure and dynamics of energy resource consumption, conducting an instrumental examination of the lighting system, evaluating the efficiency of electrical and thermal energy use, developing measures to improve the energy efficiency of the facility and assessing the economic feasibility of the proposed measures, as well as studying the implementation of an energy management system and evaluating the operation of renewable energy sources at the facility.

Keywords: ENERGY SAVING, ENERGY EFFICIENCY, BUILDING, LIGHTING, HEATING, ELECTRICAL LOAD, CONSUMPTION.

					HHIEE.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ	13
1.1 Короткий опис об'єкту.....	13
1.2 Короткий опис інженерних систем будівлі	14
1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні три роки.....	18
1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР	22
1.5 Попередні заходи з енергоефективності об'єкту	24
Висновки до розділу 1	24
2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ.....	26
2.1 Схема електропостачання об'єкта та її аналіз	26
2.2 Коротка характеристика споживачів електричної енергії.....	28
2.3 Повірочний розрахунок навантажень будівлі Науково – технічної бібліотеки	30
2.4 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту в аналітичній формі	32
2.5 Аналіз електричного навантаження на будівлю Науково– технічної бібліотеки ім.Г.І Денисенка.....	34
2.6 Інструментальне вимірювання системи освітлення Науково – технічної бібліотеки	40
2.7 Розроблення заходів з енергоефективності для споживачів	47
електричної енергії.....	47
2.7.1 Заміна люмінесцентних ламп на енергоефективні.....	47
2.7.2 Встановлення датчиків руху в коридорах та вбиральнях бібліотеки	49
Висновки до розділу 2:.....	51
3 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ	52
3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергоефективності.....	52
3.2 Опис системи опалення	53
3.3 Визначення теплового навантаження будівлі.....	54
3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій для будівлі бібліотеки	73
3.5 Розроблення типових заходів з енергоефективності для інженерних систем будівлі та джерел енергії.....	86
Висновки до розділу 3.....	89
4 ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	90
Висновки до розділу 4:.....	93

5 ОЦІНКА РОБОТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ 94

5.1 Аналіз роботи встановленої сонячної електростанції 94

5.2 Заходи підвищення автономної роботи об'єкта 102

Висновки по 5 розділу: 106

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА 107 ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ..... 107

6.1 Загальна характеристика об'єкта розміщення та вимоги до виробничого середовища 107

6.2 Технічні характеристики акумуляторних батарей 108

6.3 Організація обслуговування, перелік робіт та кваліфікація..... 109

6.4 Моніторинг стану виробничого середовища та умов праці за допомогою методу Елмері 110

6.5 Оцінювання ризику на робочому місці 113

6.7 Засоби індивідуального захисту та електрозахисту..... 117

6.8 Пожежна безпека у читальному залі 118

Висновки до розділу 6:..... 121

ВИСНОВКИ 122

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 124

ДОДАТОК А 127

ДОДАТОК Б..... 128

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Скорочення:

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси

АКБ — акумуляторна батарея

АРМ — автоматизоване робоче місце

БМС (BMS) — система керування акумуляторною батареєю

БФП — багатофункціональний пристрій

ВДЕ — відновлювані джерела енергії

ГВП — гаряче водопостачання

ГДО — градусо-добі опалювального періоду

ГЕН — графік електричного навантаження

ЕЗЗ — електрозахисні засоби

ЗІЗ — засоби індивідуального захисту

LED – світлодіодні лампи;

ГВП – гаряче водопостачання;

ДБН – державні будівельні норми;

ДСТУ – державний стандарт України;

ОК – огорожувальна конструкція;

ПДВ - податок на додану вартість;

ПВУ – припливно – витяжна установка;

ЕС – сонячна електростанція.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Умовні позначення:

h – коефіцієнт тепловіддачі;

k – коефіцієнт теплопередачі;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

R – опір теплопередачі;

F – площа;

δ – товщина;

Q – теплота;

в – вікно;

д – двері;

дах – дах;

інф – інфільтрація;

ПнЗх – північний -захід;

Зх – Захід;

ПдЗх – Північ;

ст – стіна;

Сх – Схід.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

ВСТУП

Підвищення енергоефективності громадських будівель пріоритетним напрямків розвитку енергетичного сектору України. Актуальною ця проблема є для будівель громадського призначення закладів вищої освіти, більша частина з яких була спроектована кілька десятиліть тому. Окрім того, суттєво змінилися нормативні вимоги до теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій, зокрема в частині мінімально допустимих значень опору теплопередачі стін, покрівель та світлопрозорих конструкцій, що робить більшість будівель радянського фонду невідповідними чинним ДБН[3]. Зростання вартості енергетичних ресурсів та необхідність раціонального їх використання обумовлюють потребу в проведенні енергетичного аналізу будівель і впровадженні сучасних енергоефективних рішень.

Метою роботи є підвищення енергоефективності у Науково-технічній бібліотеці ім. Г. І. Денисенка НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». У роботі виконано аналіз технічного стану будівлі, досліджено особливості споживання електричної та теплової енергії, визначено основні джерела енергетичних втрат і запропоновано комплекс заходів з підвищення енергоефективності.

Завдання на виконання роботи полягало у виконанні аналізу технічного стану будівлі та її інженерних систем, дослідженні структури та динаміки споживання енергетичних ресурсів, проведенні інструментального обстеження системи освітлення, оцінці ефективності використання електричної та теплової енергії, розробленні заходів з підвищення енергоефективності об'єкта та виконанні оцінки економічної доцільності запропонованих заходів, а також дослідження впровадження системи енергоменеджменту та проведення оцінки роботи відновлюваних джерел енергії на об'єкті.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ

1.1 Короткий опис об'єкту

Об'єктом дослідження є Науково-технічна бібліотека ім. Г. І. Денисенка НТУУ “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”. Будівлю розташовано за адресою: Україна, 03056, м. Київ, проспект. Берестейський, 37. Бібліотека була введена в експлуатацію 1 вересня 1980 року, головною причиною зведення будівлі було об'єднання розрізнених фондів та розв'язання проблеми нестачі місць для зберігання книг, ініціатором зведення виступив тодішній ректор Г.І Денисенко, автор та керівник проєкту В.І Лиховодов. Тарифи на електричну енергію, теплову енергію та водопостачання приймаються відповідно до тарифів, встановлених для навчальних корпусів та інших об'єктів бюджетної сфери. Об'єкт дослідження представлений на рисунках 1.1 та 1.2.



Рисунок 1.1 – Вид будівлі бібліотеки ззовні.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Клочан Д.О			Загальний опис об'єкту дослідження		
Перевір.		Веремійчук Ю. А.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушів
					НН ІЕЕ, кафедра ЕП		



Рисунок 1.2 – Вид зверху на будівлю бібліотеки 2023 р.

Будівля побудована за спеціальним індивідуальним проєктом, містить в собі 8 поверхів та підвал: 5 поверхів з читальними залами, 2 поверхи - антресолі, цокольний поверх, на кожному з поверхів розташоване книгосховище. Загальна площа будівлі : 13 869 м². Корисна площа будівлі : 10 533 м².

Графік роботи бібліотеки – 8,5 годин, 5 днів на тиждень.

Будівля споживає електричну енергію, воду та теплову енергію.

1.2 Короткий опис інженерних систем будівлі

Система вентиляції – була реалізована у вигляді припливно – витяжної системи. На сьогодні, система вентиляції фактично не експлуатується: повітропроводи в читальних залах демонтовані, вентиляційне обладнання виведене з експлуатації. Вентиляція відбувається природним шляхом, окрім підвалу.

В 2024 році в підвалі будівлі було спроектовано ПБУ з рекуперацією тепла для забезпечення потреб шелтера CLUST Space, відповідно до чинних нормативних документів. ПБУ з рекуперацією тепла зображена на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – ПБУ з рекуперацією тепла, шелтер CLUST Space

ГВП в будівлі Науково – технічної бібліотеки відсутнє. Холодне водопостачання відбувається цілодобово, облік холодної води виконується за допомогою багатоструменевого сухохідного крильчатого лічильника Gross MTK-UA DN32 L260 мм 10 м³/ год. Лічильник наведений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Лічильник Gross MTK-UA DN32

Окремо варто зазначити, що на лічильнику встановлений модуль для дистанційного зчитування показників.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Система освітлення в бібліотеці використовує комбіноване освітлення, оснащене в переважній більшості сучасними LED приладами: (лампами, світильниками, та панелями). Варто зазначити, що відсоток люмінесцентних ламп досі залишається значним, що суттєво впливає на кількість спожитої електричної енергії та енергоефективність будівлі. Освітлювальні прилади, що використовуються бібліотекою зображено на (рис.1.5, 1.6 ,1.7 ,1.8).



Рисунок – 1.5 Використані LED лампи для освітлення

LED світильник вбудований 18W 6500K коло серія STANDART



Рисунок – 1.6 Використані LED світильники для освітлення

LED панель універсальна 36Вт 4000К 5000К 6500К PRISMATIC 600х600 мм серія ECO



Рисунок – 1.7 Використані LED панелі для освітлення

Лампа люмінесцентна Т8 36W 6500K G13 Electrum A-FT-0134



Рисунок – 1.8 Використані люмінесцентна лампи в читальних залах
потужністю 18 та 36 Вт

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Система опалення бібліотеки спроектована за централізованою схемою. Подачу теплової енергії для будівлі виконує СТ – 1, (колишня назва ТЕЦ – 3), яка постачає теплоносій з проектними параметрами 150/70 °С . Підключення внутрішніх мереж будівлі до зовнішніх теплопроводів було виконано за залежною схемою через два водоструйні елеватори, що розташовані в цокольній частині будівлі. Також в ТП встановлений теплообчислювач МВТ – 2М_{нк}. Теплообчислювач зображений на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Теплообчислювач МВТ – 2М_{нк}.

1.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні три роки

В таблицях будуть наведені данні по споживанню паливно-енергетичних ресурсів об'єктом дослідження. Данні були сформовані в таблиці за 2023 – 2025 роки.

В таблиці 1.1 наведено споживання електричної енергії, а на рисунку 1.10 споживання електричної енергії будівлею представлено графічно.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.1 Річне споживання електричної енергії

Місяць		Споживанн я ел.ен, кВт·год	Вартість споживанн я ел.ен,грн	Споживанн я ел.ен, кВт·год	Вартість споживанн я ел.ен, грн	Споживанн я ел.ен, кВт·год	Вартість споживанн я ел.ен,грн
		2023		2024		2025	
1	Січень	31554	207461	33500	212233	28620	237532,72
2	Лютий	26220	180459	31040	196649	31540	271233,53
3	Березень	31218	206601	30680	171947	27500	243900,03
4	Квітень	38220	230317	38160	205406	41020	335838,62
5	Травень	29200	137346	29380	158145	20100	143756,41
6	Червень	23440	113001	24340	155830	16020	115096,78
7	Липень	22000	111377	24100	154294	19360	140951,8
8	Серпень	21480	108745	15700	100515	18660	149494,22
9	Вересень	23700	119984	21020	145200	24520	204107,03
10	Жовтень	26960	232598	23580	162884	32680	236807,78
11	Листопад	39180	232598	37640	363269	31280	296999,85
12	Грудень	39580	234972	29520	252843	30220	302702,5
Σ		352752	2042911	338660	2279214	321520	2678421,2

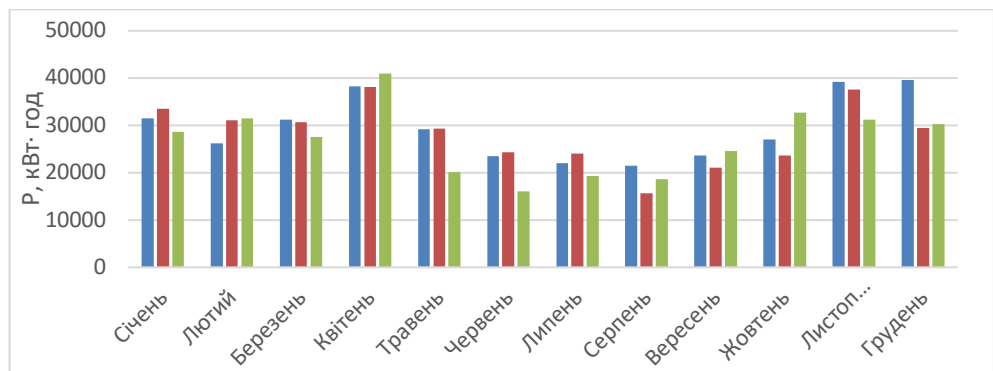


Рисунок 1.10 - Споживання електроенергії кВт·год за 2023 – 2025 рр

Графік показує, що у 2023 році споживання електроенергії було нерівномірним: найбільші показники спостерігались наприкінці року, а найменші — влітку. Річне споживання становило 352752 кВт·год. У 2024 році споживання стало більш стабільним і склало 338660 кВт·год, проте вартість електроенергії зросла. У 2025 році споживання зменшилось до 321520 кВт·год, однак загальні витрати стали найбільшими.

Річне споживання теплової енергії представлено в таблиці 1.2, а на рисунку 1.11 споживання будівлею теплової енергії представлено графічно.

Таблиця 1.2 Річне споживання теплової енергії в 2023 – 2025 рр

Місяць		Споживан ня теп.ен, Гкал	Вартість споживан ня теп.ен, грн	Споживан ня теп.ен, Гкал	Вартість споживан ня теп.ен, грн	Спожива ня теп.ен,Гк ал	Вартість споживан ня теп.ен, грн
		2023		2024		2025	
1	Січень	155,58	381299	132,76	480496	156,17	586624,45
2	Лютий	174,82	428454	104,01	376635	110,88	679064,6
3	Березень	111,5	273263	75,7	278461	82,66	310533,13
4	Квітень	0	0	0	0	0	0
5	Травень	0	0	0	0	0	0
6	Червень	0	0	0	0	0	0
7	Липень	0	0	0	0	0	0
8	Серпень	0	0	0	0	0	0
9	Вересень	0	0	0	0	0	0
10	Жовтень	0	0	0	0	0	0
11	Листопад	5,11	18503,6	36,82	138288	15,37	61489,41
12	Грудень	98,82	357720	83,32	312963	88,94	355768,18
Σ		545,82	1459239	432,61	1582973	454,02	1731078,8

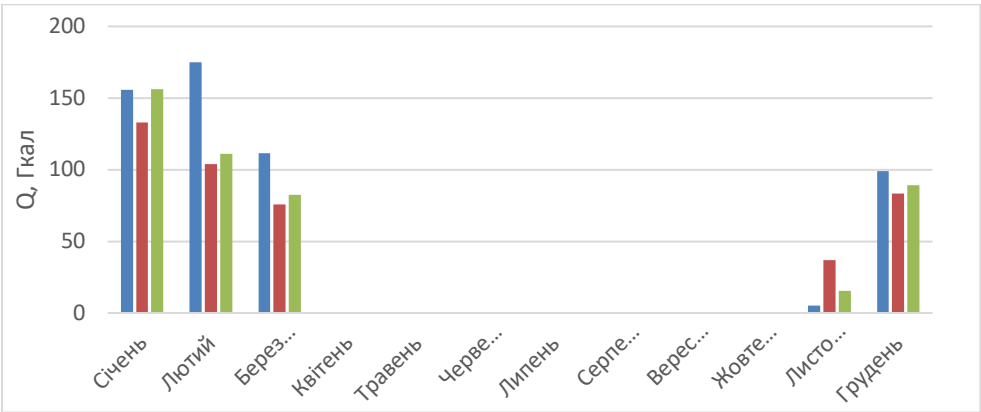


Рисунок 1.11 – Споживання теплової енергії за 2023-2025

Графік споживання теплової енергії показує, що основне теплове навантаження припадає на зимовий період. У 2023 році найбільше споживання

спостерігалось у лютому — 174,82 Гкал, а річний обсяг склав 545,82 Гкал. У 2024 році загальне споживання теплової енергії зменшилось до 432,61 Гкал, проте вартість теплопостачання зростає. Найбільше споживання зафіксовано у січні — 132,76 Гкал. У 2025 році річне споживання становило 454,02 Гкал при найбільшій вартості теплової енергії — 1731078,8 тис. грн. Максимальні показники спостерігались у січні та лютому, тоді як у теплий період року споживання теплової енергії було відсутнє.

Річне споживання на водопостачання представлено в таблиці 1.3, а на рисунку 1.12 споживання будівлею теплової енергії представлено графічно.

Таблиця 1.3 – Споживання води за 2023-2025

Місяць		Споживання води, м ³	Вартість водопостачання, грн	Споживання води, м ³	Вартість водопостачання, грн	Споживання води, м ³	Вартість водопостачання, грн
		2023		2024		2025	
1	Січень			92	2795,33	104	3159,936
2	Лютий			100	3038,4	117	3554,928
3	Березень			75	22278,8	143	4344,912
4	Квітень	154	4749,36	155	4709,52	164	4982,976
5	Травень	194	5982,96	132	4010,87	151	4587,984
6	Червень	127	3916,68	166	5043,74	131	3980,304
7	Липень	81	2498,04	145	4405,68	106	3220,704
8	Серпень	82	2528,88	142	4314,53		
9	Вересень	118	3639,12	148	4496,83		
10	Жовтень			151	4587,98		
11	Листопад			136	4132,22		
12	Грудень			124	3767,62		
Σ		756	23315	1566	67581,5	916	27831,744

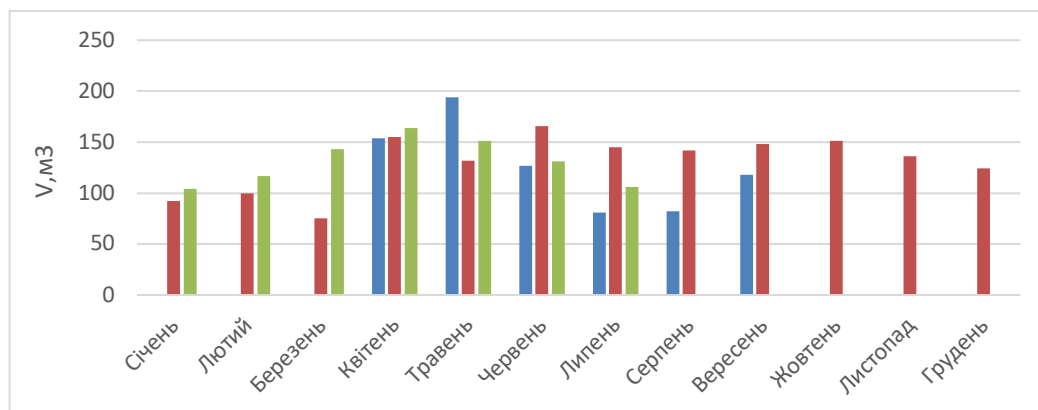


Рисунок 1.12 – Споживання води за 2023-2025

1.4 Оцінка тарифної політики щодо покупних ПЕР

Тарифи на електричну енергію для громадських будівель не є сталими, тож у таблиці 1.4 наведено показники по тарифам на електричну енергію за 2023 - 2025 роки щомісячно у грн/кВт·год, з урахування ПДВ.

Таблиця 1.4 – Тарифи на електричну енергію 2023 – 2025р.(грн/кВт· год)

Місяці	Роки		
	2023	2024	2025
січень	6,57	6,33	8,29
лютий	6,88	6,33	8,59
березень	6,61	5,60	8,86
квітень	6,02	5,38	8,18
травень	4,70	5,38	7,15
червень	4,82	6,40	7,18
липень	5,06	6,40	7,28
серпень	5,06	6,40	8,011
вересень	5,06	6,90	8,32
жовтень	5,93	6,90	7,24
листопад	5,93	11,05	9,49
грудень	5,93	10,27	10,01

Тарифи на теплову енергію для об'єкту змінювалися протягом 2023 - 2025 років. У таблиці 1.5, наведено показники по тарифам на теплову енергію за 2023 - 2025 роки щомісячно у грн/Гкал за наявними платіжними квитанціями, з урахування ПДВ.

Таблиця 1.5 – Тарифи на теплову енергію за 2023 – 2025р.(грн/Гкал)

Місяці	Роки		
	2023	2024	2025
січень	2450	3618,8	3752,99
лютий	2450	3618,8	3752,99
березень	2450	3618,8	3752,99
квітень	2450	3618,8	3752,99
травень	2450	3618,8	3752,99
червень	2450	3618,8	3752,99
липень	2450	3618,8	3752,99
серпень	2450	3618,8	3752,99
вересень	2450	3618,8	3752,99
жовтень	3618,8	3618,8	3752,99
листопад	3618,8	3753	4000,09
грудень	3618,8	3753	4000,09

У таблиці 1.6, наведено показники по тарифам на водопостачання та водовідведення за 2023 - 2025 роки щомісячно у грн/м³

Таблиця 1.6 Тарифи на водопостачання 2023 – 2025р.(грн/м³)

Місяці	Роки		
	2023	2024	2025
січень	30,84	30,84	49,98
лютий	30,84	30,84	49,98
березень	30,84	30,84	49,98
квітень	30,84	30,84	49,98
травень	30,84	30,84	49,98
червень	30,84	30,84	49,98
липень	30,84	46,87	49,98
серпень	30,84	46,87	49,98
вересень	30,84	46,87	49,98
жовтень	30,84	46,87	49,98
листопад	30,84	46,87	49,98
грудень	30,84	46,87	49,98

1.5 Попередні заходи з енергоефективності об'єкту

Протягом останніх років відбувалася заміна системи освітлення шляхом повної відмови від ламп розжарювання з заміною на LED освітлення, часткова заміна люмінесцентних ламп.

У 2017 році частина вікон старого фонду були замінені на пластикові, старі світлопрозорі конструкції, які не було замінено, ущільнили. Вхідна група з тамбуром, частково була замінена на пластикові.

У 2024 році на даху будівлі розмістили СЕС, загальною потужністю 14,62 кВт, обладнаною гібридним інвертором Deye SUN-12KSG03LP3-EU та 4 акумуляторами виробника Pylontech US5000, загальною потужністю 20 кВт.

У 2024 році відбувся капітальний ремонт в підвалі будівлі, було встановлено ПВУ з рекуперацією тепла виключно для забезпечення циркуляції повітря в межах підвалу, встановлене сучасне енергоефективне LED освітлення та датчики руху при вході.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналіз енергетичного стану та характеристик об'єкта дослідження — Науково-технічної бібліотеки ім. Г.І. Денисенка НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Загальна площа будівлі становить 13 869 м², з яких корисна площа — 10 533 м².

У ході аналізу встановлено, що в будівлі вже реалізовано окремі заходи з підвищення енергоефективності. Проведено модернізацію системи освітлення із заміною ламп розжарювання на LED-світильники та частковою заміною люмінесцентних ламп. Частину старих вікон і вхідних дверей замінено на металопластикові конструкції, а незамінені світлопрозорі конструкції ущільнено для зменшення тепловтрат.

У 2024 році на даху будівлі встановлено сонячну електростанцію потужністю 14,62 кВт із системою акумулювання електроенергії. Також виконано

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

капітальний ремонт підвальних приміщень із встановленням припливно-втяжної установки з рекуперацією тепла, LED-освітлення та датчиків руху.

Незважаючи на впроваджені заходи, будівля все ще має значний потенціал енергозбереження, зокрема за рахунок подальшої модернізації системи освітлення, тепlopостачання та вдосконалення системи енергоменеджменту.

Аналіз споживання паливно-енергетичних ресурсів за 2023–2025 роки дозволив встановити такі особливості функціонування об'єкта:

—

Споживання електричної енергії залишається відносно стабільним та перебуває в межах 320–350 тис. кВт·год на рік, проте фінансові витрати на електропостачання зростають унаслідок підвищення тарифів;

—

Споживання теплової енергії має виражену сезонну залежність та значною мірою визначається тривалістю і температурними параметрами опалювального періоду, що свідчить про наявність суттєвих тепловтрат будівлі;

—

Обсяги споживання води змінюються залежно від режиму експлуатації та інтенсивності використання приміщень бібліотеки, що обумовлює необхідність подальшого контролю та моніторингу водоспоживання.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ

2.1 Схема електропостачання об'єкта та її аналіз

Будівля відноситься до типу «Громадські будівлі», ЕП будівлі відноситься до II категорії надійності. До складу основних споживачів електричної енергії входять освітлення, офісна та комп'ютерна техніка, ПВУ підвалу та опалювальне обладнання в осінньо – зимовий період.

Будівля живиться від окремо розташованого суміщеного вузла закритих трансформаторних підстанцій, а саме від ТП - 4397 на якій встановлено два трансформатори ТМ-630/10/0,4. Від трансформаторної підстанції крім цієї будівлі через перемичку до ТП – 4480 живляться також прилеглі навчальні корпуси та інфраструктурні об'єкти. ТП-4387 зображена на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 – Трансформаторна підстанція - 4397

					<i>ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТІ		
<i>Розроб.</i>		<i>Клочан Д.О</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Веремійчук Ю. А.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>							
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
					<i>НН ІЕЕ, кафедра ЕП</i>		

Паспортні дані трансформаторної підстанції:

$$S_H=630 \text{ кВА,}$$

$$U_{H1}=10 \text{ кВ,}$$

$$U_{H2}=0,4 \text{ кВ,}$$

$$P_{X.X.}=1,56 \text{ кВт,}$$

$$P_{K.3.}=7,6 \text{ кВт,}$$

$$I_{X.X.}=2,0\%,$$

$$U_{K.3.}=5,5\%.$$

Схематичне зображення однолінійної системи електропостачання по лінії 0,4 кВ у ТП-4397 наведено на рисунку 2.2

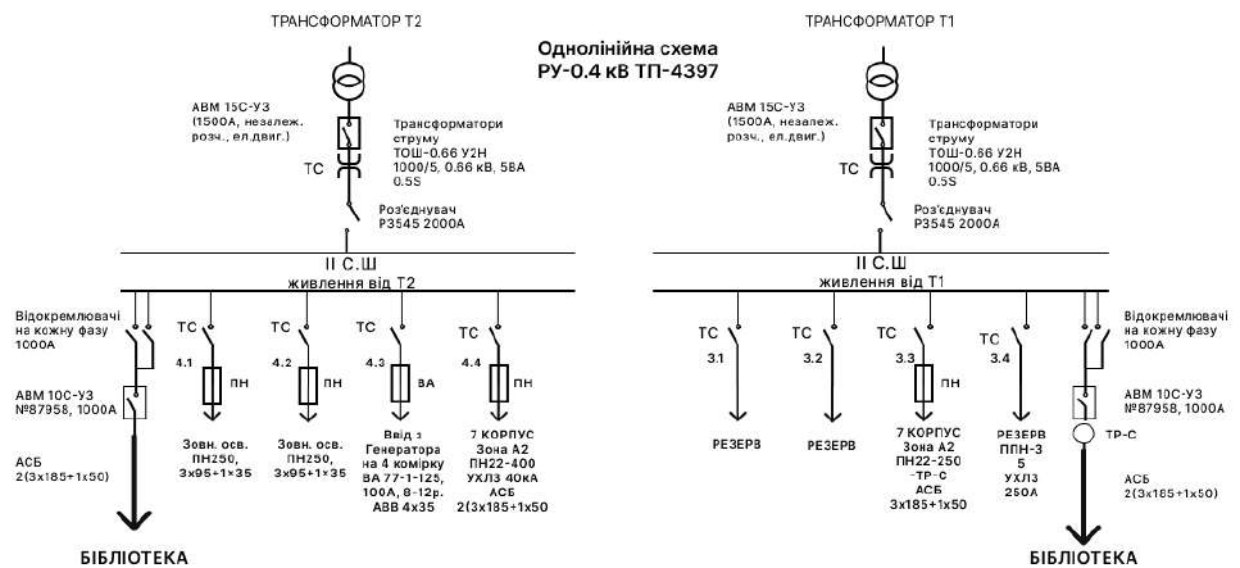


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення однолінійної системи електропостачання

Схематичне зображення схеми комутацій у ТП-4397 по лінії 10кВ наведено в рисунку 2.3

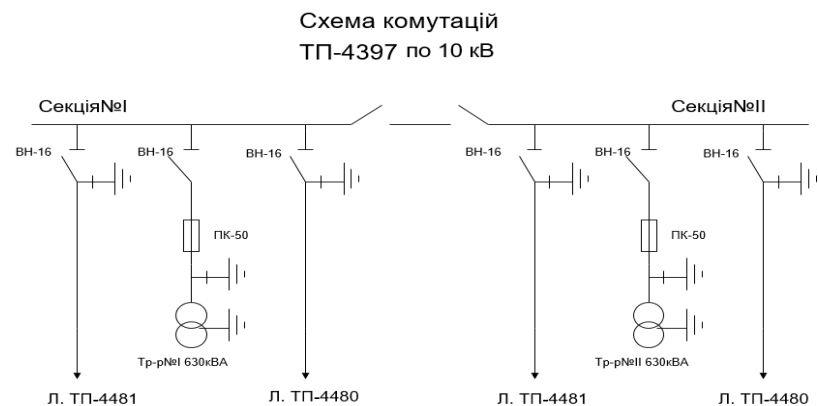


Рисунок 2.3 – Однолінійна схема електропостачання по лінії 10 кВ.

2.2 Коротка характеристика споживачів електричної енергії

Проведений аналіз показує, що електроспоживачі Науково-технічної бібліотеки КПІ ім. Ігоря Сікорського можна об'єднати в кілька основних груп: освітлювальне, кліматичне, побутове, офісно-комп'ютерне та силове навантаження. Кожна з цих груп має різне функціональне призначення та формує відповідну частку загального електроспоживання будівлі.

Найбільшу встановлену потужність мають обігрівачі, тепловентилятори та кондиціонери. Значну частку також становить освітлювальне навантаження, представлене люмінесцентними та світлодіодними світильниками різних типів. Офісно-комп'ютерна техніка, побутові електроприлади, кліматичне обладнання Clust Space, а також ліфти та транспортери формують решту електричного навантаження.

Таким чином, електроспоживання бібліотеки має змішаний характер і визначається роботою освітлювальних, кліматичних, побутових, офісно-комп'ютерних та силових електроприймачів.

Список споживачів електричної енергії наведено в таблиці 2.1.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Таблиця 2.1 – Зведений список споживачів електричної енергії

Категорія	№ п/п	Назва споживача	P _н , кВт	N, од	Кв	Тр (рік) год	PΣ _н , кВт
Обігрівачі і кондиціонери	1	Обігрівачі	1,5	57	0,7	1500	85,5
	2	Тепловентилятори	1,5	9	0,7	1500	13,5
	3	Кондиціонери	1,2	16	0,7	1700	19,2
	Σ						181,2
Освітлення бібліотеки	1	T8 18W	0,02	703	0,4	2160	12,65
	2	LED 24W	0,02	24	0,4	2160	0,576
	3	LED 18 w	0,02	330	0,6	3500	5,94
	4	LED 36w	0,04	199	0,6	3500	7,164
	5	LED 4x4 120w	0,12	18	0,6	3500	2,16
	6	Люмінесцентна 36W	0,04	137	0,4	2160	4,932
	7	Люмінесцентна 18W	0,02	6	0,4	2160	0,108
	8	Лампочка 10W Led	0,01	42	0,7	2160	0,42
	9	T8 36W	0,04	96	0,4	2160	3,456
	10	Лампочка 12W LED	0,01	210	0,6	2160	2,52
Освітлення Clust Space	1	D20, точковий	0,02	14	0,55	3000	7,7
	2	EAE STL mini 24W	0,02	80	0,6	3000	48
	3	EAE STL mini 33W	0,03	18	0,6	3000	10,8
	4	EAE STL 37W	0,04	8	0,65	3000	5,2
	5	трековий, 7,8W	0,01	23	0,5	3000	11,5
	6	Підвісний, точковий, D120	0,02	20	0,55	3000	11
	7	Ннакладний, точковий, D200	0,02	9	0,55	3000	4,95
	8	Підвісний, кільце, D600	0,05	2	0,65	3000	1,3
	9	Підвісний, кільце, D880	0,08	2	0,65	3000	1,3
	10	Підвісний, кільце, D1200	0,1	1	0,7	3000	0,7
	11	EAE GALIS MINI 20W	0,02	4	0,6	3000	2,4
	12	Торшер, Örsjö Aria	0,01	7	0,35	3000	2,45
	13	Настінний, декоративний	0,01	2	0,3	3000	0,6
	Σ						147,8

Продовження до таблиці 2.1 – Зведений список споживачів електричної енергії

Побутова техніка	1	Кавомашина	4,3	1	0,55	2200	4,3
	2	Електричні чайники	2	20	0,08	150	40
	3	Холодильники	0,2	5	0,55	8760	1
	4	Холодильник ларь	0,5	1	0,55	8760	0,5
	5	Бойлери 50 літрів	1,5	2	0,3	8760	3
	6	Бойлери 100 літрів	2,4	2	0,2	8760	4,8
	7	Мікрохвильові печі	1	5	0,05	2160	5
Офісна та комп'ютерна техніка	8	АРМ.С	0,3	120	0,6	1600	36
	9	АРМ.к	0,30	19	0,5	1200	5,7
	10	Мережеві Сервери	0,50	5	1	8760	2,5
	11	Сканери	0,10	3	0,15	600	0,3
	12	Принтери	0,10	6	0,25	800	0,6
	13	Копіювальний апарат	0,60	1	0,35	1000	0,6
	14	БФП	0,50	5	0,4	1200	2,5
	Σ						106,8
Кліматичне обладнання Clust Spsce	1	ПВУ ПВ1	4	1	0,9	5000	4
	2	ПУ П1 (вентилятор)	2,2	1	0,9	5000	2,2
	3	Витяжка В1	0,48	1	0,85	4500	0,48
	4	Витяжний вентилятор К1 (VKAP 315)	0,24	1	0,8	4500	0,24
	5	Зовнішній блок VRF-системи кондиціонування	12,4	1	0,4	2200	12,44
	6	Зовнішній блок VRF-системи кондиціонування	12,4	1	0,4	2200	12,44
	Σ						31,8
Ліфти та підйомне обладнання	15	Ліфт	7,5	1	0,2	1800	7,5
	16	Ліфт	11	1	0,15	1500	11
	17	Книжкові транспортери	1,5	2	0,1	900	3
							21,5
	Σ	Загальна номінальна потужність:					426,1

2.3 Повірочний розрахунок навантажень будівлі Науково – технічної бібліотеки

Обчислимо електричне навантаження бібліотеки. Продемонструємо розрахунки, на прикладі тепловентиляторів.

Визначення сумарної номінальної потужності обладнання за формулою:

$$P_{н.Σ} = P_n n,$$

де P_n – номінальна потужність ЕП, кВт;

n – кількість споживачів;

$$P_{H\Sigma} = 9 \cdot 1,5 = 13,5 \text{ кВт.}$$

Визначення $\operatorname{tg}\varphi$ для групи електроприймачів (ЕП) за формулою:

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

Де $\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності споживача.

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\arccos(0,95)) = 0,32.$$

Визначення проміжної активної потужності за формулою:

$$P_{II} = P_{H\Sigma} k_{\text{в}},$$

де $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання для кожного з пристроїв, для тепловентилятора $k_{\text{в.ТВ}} = 0,7$.

$$P_{II} = 13,5 \cdot 0,7 = 9,45 \text{ кВт.}$$

Визначення проміжної реактивної потужності групи ЕП за формулою

$$Q_{II} = P_{II} \operatorname{tg}\varphi.$$

Підставивши данні у формулу, отримаємо:

$$Q_{II} = 9,45 \cdot 0,32 = 3,84 \text{ квар.}$$

Розрахуємо повну потужність за формулою:

$$S_P = \sqrt{P_{II}^2 + Q_{II}^2},$$

$$S_P = \sqrt{9,45^2 + 3,84^2} = 10,2 \text{ кВА.}$$

Здійснюємо розрахунки аналогічно до прикладу для інших ЕП бібліотеки за допомогою Excel. Отримані розрахунки підставимо в таблицю 2.2, додаток [А].

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2.4 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії об'єкту в аналітичній формі

Зведені розрахунки споживання бібліотекою для складання балансу електричної енергії у аналітичній формі, наведено в таблиці 2.3 та рисунку 2.4. Таблиця 2.3 описує усіх вже згрупованих по категоріям споживачів бібліотеки час їх роботи, встановлену та повну потужність. На Рисунку 2.4 було зображено діаграму, що виконано за допомогою діаграми Санкея і відображає частку споживання кожної групи споживачів відносно загального споживання корпусом.

За результатами аналізу структури споживання електричної енергії бібліотеки встановлено, що найбільшу частку навантаження формують електричне опалення, комп'ютерна техніка та система освітлення. Значне електроспоживання також припадає на вентиляційне обладнання, комп'ютерну техніку та інші допоміжні електроприймачі, що забезпечують функціонування навчального процесу та комфортні умови перебування у будівлі.

Побудована Sankey-діаграма дозволяє наочно відобразити розподіл електроенергії між окремими групами споживачів та визначити найбільш енергоємні елементи системи. Отримані результати можуть бути використані для оцінки ефективності роботи електрообладнання, визначення пріоритетних напрямків модернізації та впровадження заходів з підвищення енергоефективності навчального корпусу.

За показами лічильників, які встановлені у навчальному корпусі в 2025 році спожито електроенергії 321520 кВт · год на рік. Згідно складеного балансу 338125,2 кВт · год на рік. Похибка становить 5,16%.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



Рисунок 2.4 – Діаграма Санкея

Таблиця 2.3 - Зведений електричний баланс НТБ

№ п/п	Назва категорії (ЕП)	Рн.Σ, кВт	Рп, кВт	Qп, квар	Sp, кВА	W, кВт·год
1	Обігрівачі та кондиціонери	118,200	82,74	13,19	83,78	126798
2	Освітлення бібліотеки	39,930	19,64	8,46	21,38	54726,7
3	Освітлення Clust Space	4,218	2,49	1,07	2,71	7480,5
4	Побутова техніка	58,600	8,51	0,91	8,56	29743,6
5	Офісна та комп'ютерна техніка	48,200	28,36	21,27	35,45	61437
6	Кліматичне обладнання Clust Space	31,800	16,14	12,10	20,17	52494,4
7	Ліфти та підйомне обладнання	21,500	3,45	4,00	5,28	5445
	Всього	322,448	161,33	61,00	172,48	338125,2

2.5 Аналіз електричного навантаження на будівлю Науково-технічної бібліотеки ім.Г.І Денисенка

Для визначення характеру навантаження будівлі Науково-технічної бібліотеки ім. Г. І. Денисенка пропонується провести аналіз даних з енергомоніторингу SmartMaic, який виконує облік та моніторинг використання електричної енергії на об'єкті. Дослідження виконувалось на основі фактичних даних споживання електроенергії протягом тижня, місяця травня 2026 року.

Головною метою аналізу було проаналізувати як буде змінюватися навантаження протягом доби та за днями тижня, також встановити періоди найбільшого та найменшого споживання.

Для наочного представлення отриманих даних було побудовано погодинні графіки навантаження в програмному забезпеченні Excel .Отримані результати дозволяють оцінити особливості формування електричного навантаження та визначити потенційні заходи підвищення енергоефективності об'єкта.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Проведення аналізу графіків електричних навантажень будівлі Науково – технічної бібліотеки ім. Г.І. Денисенка

Використане обладнання для збору інформації та подальшої побудови графіків навантаження будівлі: В щитовій, що знаходиться на цокольному поверсі об'єкту дослідження встановлено смарт-лічильник, енергомоніторинг Smart Maic.



Рисунок 2.5 – Встановлений пристрій моніторингу в щитовій

Проведемо побудову та аналіз графіків електричного навантаження протягом одного тижня, на основі отриманих даних з монітору Smart Maic. Графіки погодинних електричних навантажень зображені на (рис.2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12).



Рисунок 2.6 – Графік погодинних електричних навантажень (Понеділок)

У понеділок спостерігається найвищий рівень навантаження серед усіх днів тижня. Мінімальне значення становить 12,78 кВт, середнє значення — 32,40 кВт, пікове досягає 69,18 кВт.



Рисунок 2.7 – Графік погодинних електричних навантажень (Вівторок)

У вівторок навантаження дещо знижується порівняно з понеділком, однак залишається досить високим. Мінімальне значення дорівнює 14,70 кВт, середнє — 29,11 кВт, максимально зафіксоване — 60,24 кВт.



Рисунок 2.8 – Графік погодинних електричних навантажень (Середа)

У середу електричне навантаження залишається стабільно високим. Мінімальне значення становить 15,27 кВт, середнє — 28,55 кВт, пікове — 54,03 кВт. Це означає, що в середині тижня будівля продовжує працювати в інтенсивному режимі.



Рисунок 2.9 – Графік погодинних електричних навантажень (Четвер)

У четвер відбувається подальше незначне зниження навантаження. Значення мінімуму дорівнює 14,13 кВт, середнє — 27,57 кВт, пікове — 50,17 кВт. Отримані дані свідчать про поступове зменшення споживання електроенергії.



Рисунок 2.10 – Графік погодинних електричних навантажень (П'ятниця)

У п'ятницю навантаження помітно зменшується порівняно з попередніми днями. Мінімальне значення становить 13,14 кВт, середнє — 23,68 кВт, пікове — 38,89 кВт. Такі зміни в графіку можуть бути пов'язаними зі зниженням активності наприкінці робочого тижня.



Рисунок 2.11 – Графік погодинних електричних навантажень (Субота)

У суботу бачимо доволі рівномірне споживання, що є характерним для вихідного дня.



Рисунок 2.12 – Графік погодинних електричних навантажень (Неділя)

У неділю спостерігаються найменші значення навантаження за тиждень. Мінімальне значення становить 10,83 кВт, середнє — 14,32 кВт, пікове — 16,45 кВт. Це підтверджує, що у вихідний день електроспоживання будівлі є найнижчим. Отримані результати проведеного аналізу наведено таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Зведені показники ГЕН по кожному дню

Дні тижня	Дата	$P_{\min}, \text{кВт}$	$P_{\text{сер}}, \text{кВт}$	$P_{\max}, \text{кВт}$	$P_{\text{доба}}, \text{кВт}\cdot\text{год}$
Понеділок	4	12,78	32,40	69,18	777,61
Вівторок	5	12,78	29,53	60,24	708,65
Середа	6	15,27	28,55	54,03	685,31
Четвер	7	14,13	27,57	50,17	661,61
П'ятниця	8	13,14	23,68	38,89	568,2
Субота	9	9,34	13,39	19,32	321,37
Неділя	10	10,83	14,32	16,45	343,64

2.6 Інструментальне вимірювання системи освітлення Науково – технічної бібліотеки

Головною метою інструментального вимірювання системи освітлення бібліотеки було дослідити, як змінюється кількість освітлення в робочих зонах та коридорах бібліотеки(рис.2.14, 2.15, 2.16, 2.17), а також визначити різницю в навантаженні при 3 різних режимах роботи освітлення. При дослідженні назви локацій в яких проводилися вимірювання було типізовано відповідно до їхнього актуального місцезнаходження. Нижче будуть наведені локації в яких проводилися вимірювання освітленості.

Нормовані показники освітленості для громадської будівлі, вказані в таблиці 2.5. Згідно [9].

Таблиця 2.5 – Нормативні показники освітленості

Приміщення	Нормована освітленість, лк
Робочі кабінети, офіси, кімнати персоналу	400 лк
Бібліотечні читальні зали	400–500 лк
Коридори громадських будівель	100 лк
Вестибюлі, холи	150–200 лк

Проведення вимірювання освітленості виконувалося за допомогою люксметра Tondaj LX-1010BS, прилад представлений на Рисунку 2.13



Рисунок 2.13 – Люксметр Tondaj LX-1010BS

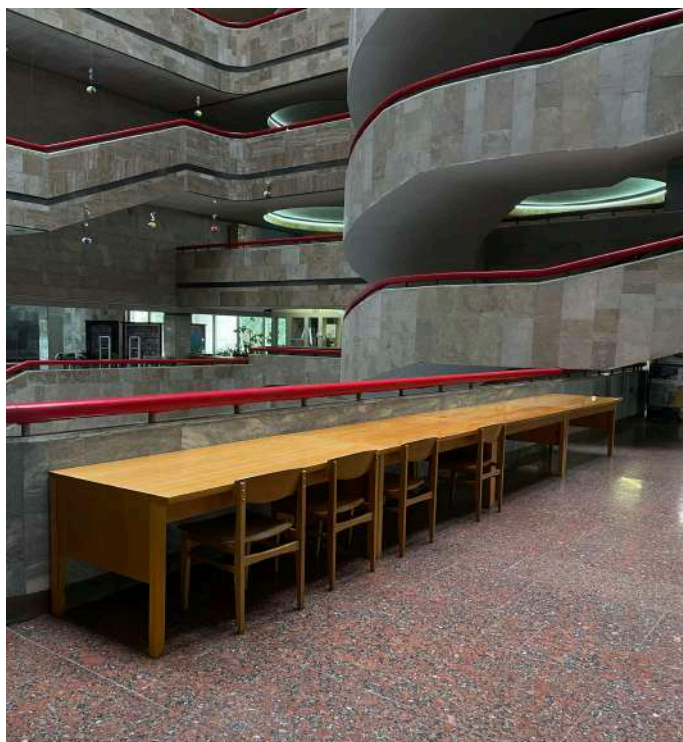


Рисунок 2.14 – Робоче місце з впливом zenітних ліхтарів

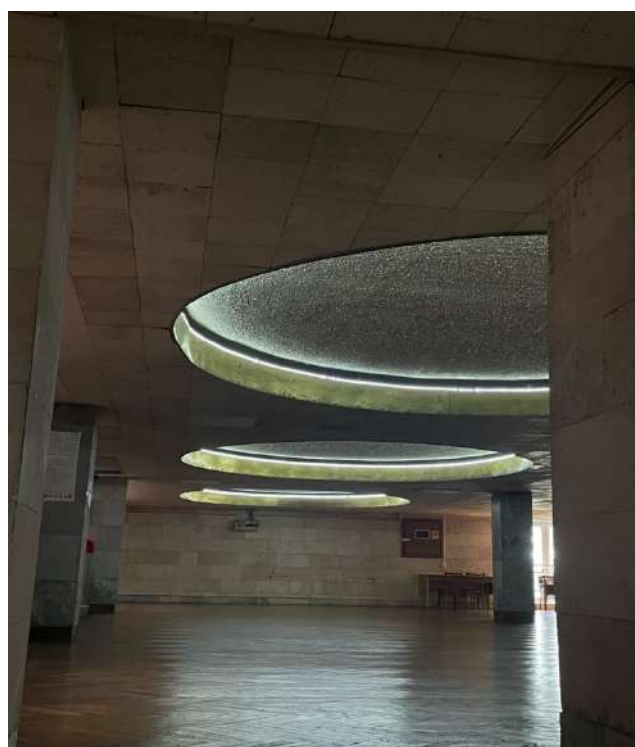


Рисунок 2.15– Коридор

					<i>ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

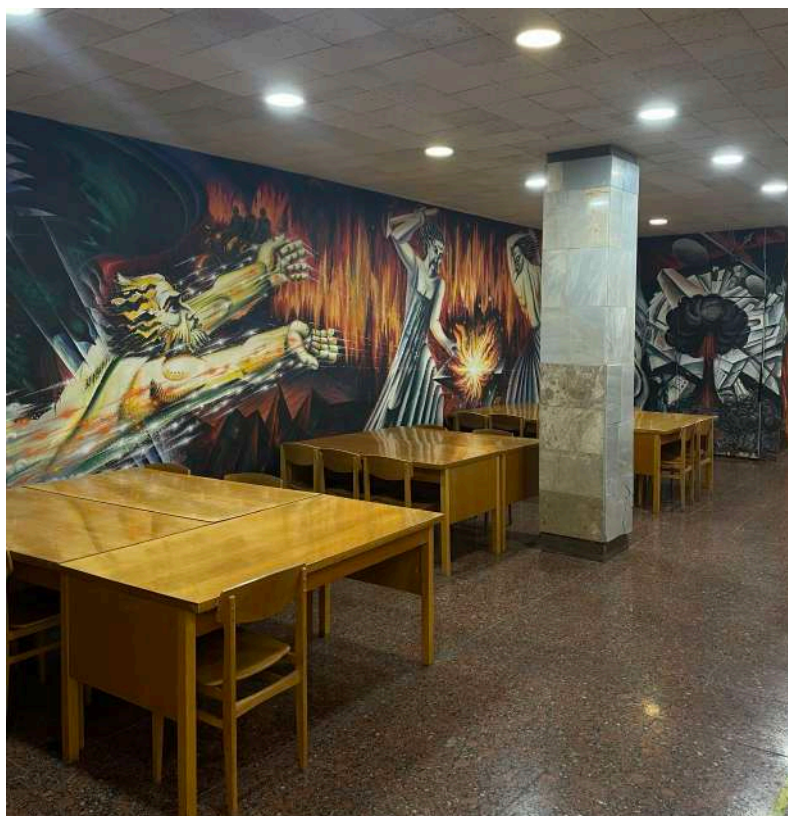


Рисунок 2.16 – Робоче місце біля мозаїки



Рисунок 2.17 – Робоче місце біля вікна

					<i>ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Отримані результати проведених замірів з люксометром Tondaj LX-1010BS для конкретного режиму роботи освітлення наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати показів люксометра

Поверх:	Локація:	Режим роботи освітлення (люкс)		
		Економічний	Максимальний	Природне
1 поверх	Роб.зона з вікном	390	612	387
	Роб.зона з впливом zenітних ліхтарів	750	800	750
	Роб. зона біля мозаїки	434	500	4
	Роб. зона біля дирекції	30	125	14
	Роб.зона з впливом zenітних ліхтарів	718	925	750
	Коридор	130	157	4
2 поверх	Книговидача	205	205	33
	Роб. зона з впливом zenітних ліхтарів	145	150	2
	Коридор	15	121	3
3 поверх	Роб.зона з вікном	2030	2240	240
	Роб.зона навпроти сходів	73	235	33
	Роб.зона біля мозаїки	335	335	5
	Коридор	15	135	10
4 поверх	Роб.зона з впливом zenітних ліхтарів	235	235	82
	Роб.зона біля мозаїки	290	290	5
	Коридор	128	132	10
5 поверх	Коридор	35	160	36
	Роб.зона з вікном	740	925	110
6 поверх	Роб.зона з впливом zenітних ліхтарів	165	297	130
	Роб.зона мозаїка	15	200	16
	Роб.зона навпроти сходів	89	248	70
	Коридор	37	190	5

За результатами інструментального дослідження системи освітлення можемо зробити висновок, що рівень освітленості в багатьох зонах дослідження є нерівномірним, та суттєво залежить від наявності чи відсутності природнього світла. Найвищі значення було зафіксовано у місцях де найбільше проникає світло, під zenітними ліхтарями або безпосередньо біля вікна, при таких умовах рівень освітленості досягає позначки від 700 до 2240 люксів. Для коридорів та окремих робочих місць значення були отримані значно меншими, в залежності від режиму роботи освітлення покази люксометра трималися від 2 до 130 люкс.

Результати вимірювання показали, що природне освітлення значною мірою впливає на світловий режим будівлі та в окремих зонах забезпечує нормативний рівень освітлення. Це свідчить про можливість впровадження автоматизованих систем керування освітленням із використанням датчиків освітленості та датчиків руху. Реалізація таких заходів дозволить скоротити споживання електроенергії та продовжити термін експлуатації освітлювального обладнання за рахунок зменшення часу роботи.

Аналіз навантаження при зміні режиму роботи освітлення бібліотеки

Проведення інструментального дослідження системи освітлення продемонструвало, що рівень освітленості в приміщеннях суттєво залежить від режиму роботи освітлення. Для виконання аналізу візьмемо данні з смарт-лічильника Smart-Maіc та побудуємо графіки навантаження на систему в залежності від роботи системи освітлення за допомогою інструментів Excel. Графік навантаження при базовому режимі роботи системи освітлення зображений на Рисунку 2.18.



Рисунок 2.18 – Базове навантаження при відсутності освітлення

В режимі базового навантаження, коли система освітлення бібліотеки була вимкнена, середнє значення за період маємо 13,72 кВт, а мінімальне 9,18 кВт.

Графік навантаження при ефективному використанні системи освітлення зображений на Рисунку 2.19.



Рисунок 2.19 – Графік навантаження при ефективній роботі освітлення

В режимі ефективної роботи системи освітлення, коли ввімкнена тільки частина обладнання, маємо зростання в навантаженні, $P_{\text{сер}} - 22,23$ кВт, а мінімально зафіксоване значення дорівнює 17,21 кВт.

Графік навантаження при інтенсивному використанні системи освітлення зображений на Рисунку 2.20.

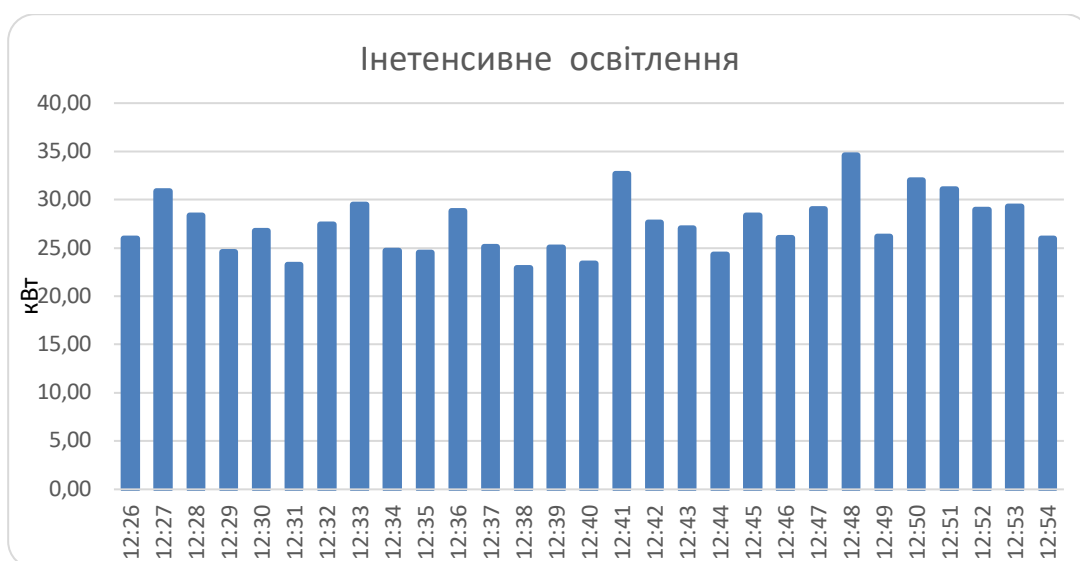


Рисунок 2.20 – Графік навантаження при інтенсивній роботі освітлення

За час повного ввімкнення системи освітлення навантаження $P_{\text{сер}}$ зросло до 27,44 кВт, а мінімальне 22,91 кВт. Для цього режиму системи освітлення характерне найбільше навантаження на електричні мережі бібліотеки.

Навантаження на систему електропостачання відповідно до змiну режиму роботи освітлення зображено на Рисунку 2.21. Мінімальні значення навантажень зафіксовані протягом дослідження трьох різних режимів роботи системи освітлення бібліотеки та значення ΔP_{min} , наведено в таблиці 2.7.

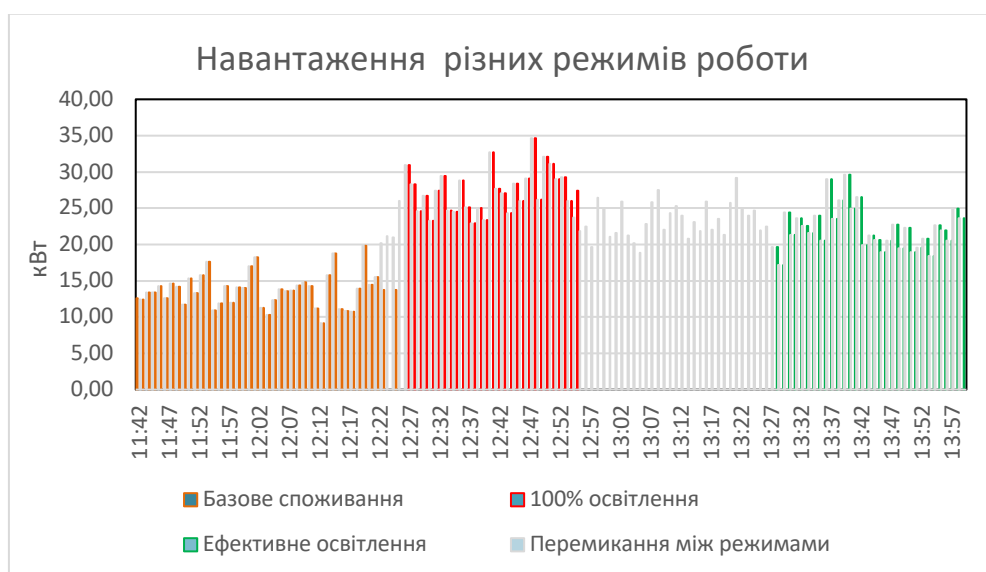


Рисунок 2.21 – Навантаження на систему електропостачання відповідно до змiну режиму роботи освітлення

Таблиця 2.7 – Мінімальні значення навантажень при різних роботах системи освітлення

Режими:	Базове споживання	Ефективне	Інтенсивне
P_{min} , кВт	9,18	17,21	22,91
ΔP_{min} , кВт	-	8,03	13,73

2.7 Розроблення заходів з енергоефективності для споживачів електричної енергії

У структурі електроспоживання бібліотеки виявлено ряд неефективних та застарілих споживачів, що формують підвищене навантаження. Зокрема, в читальних залах досі використовуються люмінесцентні лампи 18 та 36 Вт, які працюють на протязі всього робочого дня та вносять значний внесок у споживання електроенергії.

2.7.1 Заміна люмінесцентних ламп на енергоефективні

Для зменшення електроспоживання пропонується замінити існуючі лампи люмінесцентні потужністю 36 Вт.



Рисунок 2.22 Обрана модель ЛЕД лампи

Оберемо модель для заміни: LED T8 18W 1200 мм. Потужність: 18 Вт. Світловий потік: 1200 лм.

Розрахунок економії енергії

Визначення сумарної номінальної потужності обладнання за формулою:

$$P_{нл\Sigma} = P_n n,$$

$$P_{нл\Sigma} = 0,018 \cdot 137 = 2,46 \text{ кВт.}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Визначення $tg\varphi$ для групи електроприймачів (ЕП) за формулою:

$$tg\varphi = tg(\arccos(\cos\varphi)) ^g$$

$$tg\varphi = tg(\arccos(0,92)) = 0,43$$

Визначення проміжної активної потужності за формулою:

$$P_{П.л} = P_{н.Σ} k_φ,$$

$$P_{П.л} = 2,46 \cdot 0,4 = 0,98 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо різницю між розрахунковою потужністю старих та нових ламп:

$$P_{лм.різ} = 4,93 - 2,46 = 2,47 \text{ кВт}$$

Розрахуємо економію річного споживання електричної енергії:

$$E = 2,47 \cdot 2160 = 5335,2 \frac{\text{кВт год}}{\text{рік}}$$

Використовуючи наступну формулу, розрахуємо економію річного споживання в грошовому еквіваленті:

$$E_{грн} = 8,9676 \cdot 5335,2 = 47843,940 \text{ грн}$$

де 8,9676 – тариф на електричну енергію для навчальних корпусів

Розрахуємо період окупності даного заходу:

Заміні підлягають $N=137$ лампи, вартість одні моделі – $C=81$ грн.
Приймемо монтаж та підключення даного освітлення безкоштовним, цю ціну у лампах однакові отже заміна не потрібна, тоді:

$$T = \frac{CN}{E_{грн}}$$

$$T = \frac{81 \cdot 137}{47843} = 0,23 \text{ року}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Підсумовуючи вищенаведені розрахунки, можемо вважати захід окупним.

2.7.2 Встановлення датчиків руху в коридорах та вбиральнях бібліотеки

Згідно з результатами дослідження системи освітлення, кількість освітлювального обладнання у коридорах бібліотеки складає 186 штук.

На сьогоднішній день, освітлення коридорів працює повний робочий день, 8 з половиною годин. Потреба у штучному освітленні коридорів бібліотеки за сталих умов є 4 години, за рахунок малого часу перебування людей в цих транзитних ділянках. Встановлення датчиків руху дозволить зменшити споживання електричної енергії та автоматизувати процес керування освітленням, вмикаючи його за присутності людей у зоні дії сенсора. Для реалізації заходу було обрано датчик руху та освітленості виробника Videx VL-SPW02B, який має регульований поріг освітленості, час затримки вимкнення, та має ступінь захисту IP44. Датчик зображений на рисунку 2.23. Специфікацію датчику наведено в таблиці 2.8.



Рисунок 2.23 – Videx VL-SPW02B

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таблиця 2.8 – Специфікація датчику руху

Живлення	230В
Дальність дії	12 м
Кут охоплення по горизонталі	180 °
Тип	інфрачервоний
Функції та можливості	регулювання освітленості Регулювання часу спрацьовування
Клас захисту	IP44
Робоча температура	-20 ° С ~ +40 ° С
Ціна	408 грн

Розрахунок річної економії енергії за формулою:

$$\Delta W = n P_{\text{л}} (T_{\text{факт}} - T_{\text{кор}}) n_{\text{д}},$$

де n – кількість світильників;

$P_{\text{л}}$ – потужність одного світильника;

$T_{\text{факт}}, T_{\text{кор}}$ – фактичний та корисний час використання світильників;

$n_{\text{д}}$ – кількість робочих днів.

$$\Delta W_1 = 20 \cdot 0,12 \cdot (8,5 - 4) \cdot 261 = 2818,80 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

$$\Delta W_2 = 34 \cdot 0,036 \cdot (8,5 - 4) \cdot 261 = 1437,59 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

$$\Delta W_3 = 132 \cdot 0,018 \cdot (8,5 - 4) \cdot 261 = 2790,61 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

$$\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3$$

$$\Delta W = 7047,00 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Економія коштів в грошовому еквіваленті при вартості 1 кВт·год =5,5 грн. складе:

$$\Delta E = \Delta W T,$$

де T – тариф на електричну енергію.

$$\Delta E = 7047 \cdot 8,9676 = 63\,194,67 \text{ грн.}$$

Витрати на введення в експлуатацію даного заходу з енергозбереження 325 грн – ціна одного датчика руху, 400 грн – монтаж та встановлення.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

В бібліотеці маємо 6 поверхів з коридорами де було б доцільно встановити по одному датчику, та 2 в коридорі цокольного поверху

$$K = (408 + 400) \cdot 8 = 6464 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності

$$T_{\text{ок}} = \frac{6464}{63194,67} = 0,10 \text{ року.}$$

Висновки до розділу 2:

Після проведенного аналізу електропостачання системи будівлі Науково – технічної бібліотеки були визначені розрахункові навантаження будівлі, втрати спожитої електричної енергії, була побудована діаграма Sankey. Виходячи з аналізу побудованого балансу, аналізу навантаження на об'єкт дослідження, інструментальному аналізу системи освітлення були запропоновані заходи з енергозбереження, які наведені таблиці 2.9

Таблиця 2.9 – Запропоновані заходи з підвищення енергоефективності

№	Захід з енергозбереження	ΔW , кВт·год/рік	ΔE , грн/рік	$T_{\text{ок.}}$, роки
1	Заміна люмінесцентних ламп	5335,2	47 843,94	0,23
2	Встановлення датчиків руху в коридорах будівлі	7047,00	63 194,67	0,1

З ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ

3.1 Огляд нормативних вимог щодо енергоефективності

На сьогодні питання енергоефективності громадських будівель є одним із пріоритетних напрямів державної політики України у сфері енергозбереження та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів. Особливо актуальним це питання є для будівель освітнього та адміністративного призначення, які характеризуються значним рівнем споживання теплової та електричної енергії протягом року.

Науково-технічна бібліотека КПІ ім. Ігоря Сікорського належить до громадських будівель, тому під час оцінки її технічного стану та розробки заходів з енергозбереження необхідно враховувати вимоги чинних нормативних документів у сфері енергоефективності.

Основним законодавчим документом є Закон України «Про енергетичну ефективність будівель», який визначає основні вимоги до енергетичних характеристик будівель, порядок проведення енергетичної сертифікації та впровадження заходів із підвищення енергоефективності. Закон встановлює необхідність раціонального використання енергоресурсів та зменшення втрат теплової енергії під час експлуатації будівель.

Не менш важливим з переліку нормативних документів є ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». У даному документі визначаються вимоги до теплозахисних властивостей зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі, а саме стін, покрівлі, перекриттів, вікон та дверей.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Клочан Д.О			ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ ТА ЗАХОДІВ З ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Веремійчук Ю. А.								
Реценз.										
Н. Контр.										
Затверд.										
								НН ІЕЕ, кафедра ЕП		

Основною метою цих вимог є зменшення тепловтрат у холодний період року та зниження навантаження на систему опалення.

Також важливе значення мають норми ДСТУ9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель», які регламентують вимоги до систем теплопостачання, вентиляції та забезпечення нормативних параметрів мікроклімату у приміщеннях громадських будівель. Ефективність роботи систем опалення та вентиляції безпосередньо впливає на рівень споживання теплової енергії та комфорт перебування людей у будівлі.

Мінімально допустимі значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій згідно з таблицею 3.1, відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 [7].

Таблиця 3.1 - Мінімально допустимі значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

Параметр	Значення
Зовнішні стіни	4 м ² К/Вт
Суміщені покриття	6 м ² К/Вт
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,9 м ² К/Вт
Зовнішні двері	0,7 м ² К/Вт

3.2 Опис системи опалення

Тепло для бібліотеки ім. Г. І. Денисенка КПІ ім. Ігоря Сікорського отримується з теплових мереж міста (джерело - СТ-1).

Проектний температурний графік 150/70 °С, затверджений згідно договору на теплопостачання 115/70 °С. Розрахункове теплове навантаження будівлі на потреби опалювання складає 0,447 Гкал/год. Первинний проектний ліміт для системи вентиляції становив 1,354 Гкал/год; проте зараз системи калориферного нагріву повітря зовсім законсервовані.

Внутрішня система обігріву бібліотеки поділяється на декілька окремих контурів:

Контур книгосховища: організований по схемі вертикальної одноконтурної системи обігріву з нижньою розводкою труб. Нагрівальні прилади на цокольному поверсі - чавунні радіатори типу М-140-АО, а на поверхах книгосховища - реєстри зі зварних сталевих труб великого діаметра. Регулювальної арматури на реєстрах немає для запобігання випадкового розбалансування.

Контур читальних залів: зроблений за допомогою горизонтальних труб і вертикальних систем. Радіатори М-140-АО стоять у спеціальних місцях під вікнами за знімними дерев'яними решітками, та є ручні триходові крани для регулювання на трубах. Допоміжні лінії: окрема горизонтальна труба потрібна для обігріву лекційного залу.

3.3 Визначення теплового навантаження будівлі

Конструкція будови книгосховища відрізняється від загальної частини будівлі, відповідно виконуємо два окремих розрахунки.

Конструкція зовнішніх стін книгосховища:

- кладка з цегли $\delta=0,51$ м, $\lambda=0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; [1]
- зовнішня штукатурка $\delta=0,01$ м, $\lambda=0,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; [1]
- внутрішня штукатурка $\delta=0,01$ м, $\lambda=0,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; [1]
- облицювання вапняком $\delta=0,04$ м, $\lambda=1,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; [1]

Термічний опір зовнішніх стін визначається за формулою

$$R_c = \frac{1}{h_{se}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{si}};$$

де λ_i - коефіцієнт теплопровідності відповідного шару, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$;

δ - товщина відповідного шару, м;

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк. 54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

h_{si} - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до стінки, який приймається згідно з ДСТУ 9191:2022 [1] і дорівнює $8,7 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

h_{se} - коефіцієнт тепловіддачі від стіни до зовнішнього повітря, який приймається згідно з ДСТУ 9191:2022 [1] і дорівнює $23 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

Підставимо значення у формулу:

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,04}{1,3} \frac{1}{23} = 0,87 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Коефіцієнт теплопередачі стіни

$$k_c = \frac{1}{R_c},$$

$$k_{c.kh} = \frac{1}{0,869} = 1,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх стін

$$R_{q \min} = 4 \text{ м}^2\text{K/Вт}, [3]$$

$$R_\Sigma = 0,87 \text{ м}^2\text{K/Вт} < R_{q \min} = 4 \text{ м}^2\text{K/Вт}.$$

Теплозахисні властивості зовнішніх огорожень в незадовільному стані

Конструкція зовнішніх стін читальних залів:

- кладка з цегли $\delta=0,38 \text{ м}$, $\lambda=0,55 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; [1]
- альмінський камінь $\delta=0,02 \text{ м}$, $\lambda=0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; [1]
- внутрішня штукатурка $\delta=0,02 \text{ м}$, $\lambda=0,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ [1]
- цементний розчин $\delta=0,01 \text{ м}$, $\lambda=0,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ [1]
- облицювання вапняком $\delta=0,04 \text{ м}$, $\lambda=1,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ [1]

Термічний опір зовнішніх стін визначається за формулою

$$R_c = \frac{1}{h_{se}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{si}};$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

де λ_i - коефіцієнт теплопровідності відповідного шару, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$;

δ - товщина відповідного шару, м;

h_{si} - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до стінки, який приймається згідно з ДСТУ 9191:2022 [1] і дорівнює $8,7 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

h_{se} - коефіцієнт тепловіддачі від стіни до зовнішнього повітря, , який приймається згідно з ДСТУ 9191:2022 [1] і дорівнює $23 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

Підставимо значення у формулу:

$$R_{с.осн} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,55} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,03}{0,8} + \frac{0,04}{1,3} + \frac{1}{23} = 0,959 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Коефіцієнт теплопередачі стіни

$$k_c = \frac{1}{R_c},$$

$$k_{с.кн} = \frac{1}{0,959} = 1,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Теплозахисні властивості зовнішніх огорожень в незадовільному стані.

Світлопрозорі конструкції (вікна,двері)

Світлопрозорі конструкції будівлі (вікна, двері) представлені в широкому переліку різновидів, відрізняючись розмірами, матеріалами та різними скліннями.

Загальна кількість світлопрозорих конструкцій, матеріал рами, площа, наведені в таблиці 3.2.

Загальна кількість дверей зі світлопрозорими конструкціями, наведені в таблиці 3.3.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Таблиця 3.2 - Світлопрозорі віконні конструкції

Тип (Двері,Вікна)	Матеріал рами	Розмір вікна	Тип скління вікна	N	Площа одного вікна, м ²	Загальна площа, м ²
Вікно	Металева рама	200х240	подвійне скління	12	4,8	57,6
Вікно	ПВХ	200х240	однопаketне	12	4,8	57,6
Вікно	Металева рама	255х245	подвійне скління	94	6,25	587,5
Вікно	ПВХ	255х245	однопаketне	58	6,25	362,5
Вікно	Металева рама	195х195	подвійне скління	6	3,8	22,8
Вікно	Металева рама	200х130	подвійне скління	37	2,6	96,2
Вікно	Металева рама	120х325	подвійне скління	7	3,9	27,3
Вікно	Металева рама	70х125	подвійне роздільне скління	14	0,88	12,32
Вікно	Металева рама	300х325	однопаketне	1	9,75	9,75
Вікно	Дерев'яна рама	50х200	подвійне роздільне скління	163	1	163

Таблиця 3.3 - Двері зі світлопрозорими конструкціями

Тип (Двері,Вікна)	Матеріал	Розмір	Тип скління	N	Площа одного м ²	Загальна площам м ²
Двері	Металева рама	360x240	подвійне скління	4	8,7	34,8
Двері	ПВХ	360x240	однопакет	2	8,7	17,4
Двері	Дерево	140x200	глухі	2	2,8	5,6
Двері	Дерево	90x200	глухі	2	1,8	3,6

Віконні конструкції та двері з склінням будівлі були об'єднані у три групи відповідно до матеріалу рами та типу скління, оскільки ці характеристики визначають теплотехнічні властивості світлопрозорих огорожувальних конструкцій та величину їх опору теплопередачі.

До першої групи віднесено вікна з металевими рамами та подвійним склінням. Для таких конструкцій характерна висока теплопровідність металевих елементів рами та невисокі теплоізоляційні показники застарілого подвійного скління.

До другої групи віднесено вікна з ПВХ-профілем та однокамерними склопакетами. Дані конструкції мають кращі теплоізоляційні характеристики завдяки нижчій теплопровідності профілю та більшій герметичності склопакетів.

До третьої групи віднесено вікна з дерев'яними рамами та подвійним роздільним склінням. Дерев'яні рами характеризуються нижчою теплопровідністю порівняно з металевими конструкціями, що впливає на загальний опір теплопередачі вікон.

Розподіл конструкцій за такими групами дозволяє врахувати відмінності теплотехнічних характеристик існуючих вікон будівлі при визначенні опору теплопередачі та оцінці тепловтрат через світлопрозорі огорожувальні конструкції. Відповідно до дверей та вікон були прийняті розрахунки за [3].

Термічний опір вікон :

$$R_{\text{вМ}} = 0,52 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{вПВХ}} = 0,57 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{вД}} = 0,60 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Коефіцієнт теплопередачі вікон становить:

$$k_{\text{в1М}} = 1,92 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$k_{\text{в2ПВХ}} = 1,75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$k_{\text{в3Д}} = 1,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Виконаємо відповідні розрахунки для дверей:

$$R_{\text{двМ}} = 0,52 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{двПВХ}} = 0,57 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Коефіцієнт теплопередачі світлопрозорих дверей становить:

$$k_{\text{двМ}} = 1,92 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$k_{\text{двПВХ}} = \frac{1}{0,96} = 1,75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій $R_{q\min}=0,9 \text{ м}^2\text{К/Вт}$. Відповідно до [3].

Значення термічного опору вікон та дверей у будівлі бібліотеки не відповідають мінімально допустимим нормам, виходячи з цього, можна зробити висновок, щодо доцільності проведення заходу з заміни вікон та дверей на енергозберігаючі з вищим опором теплопередачі.

Зенітні ліхтарі на даху будівлі

Світлопрозорі зенітні ліхтарі покриття будівлі виконані секційного типу та призначені для забезпечення природного освітлення внутрішніх приміщень. Конструкції ліхтарів виготовлені із багатокамерного полікарбонату, встановленого на металевому каркасі. Світлопрозорі конструкції бібліотеки представлено на (рис.3.1, 3.2, 3.3, 3.4)

У межах будівлі виділено два типи зенітних ліхтарів:

- 1 тип забезпечують природне освітлення холу будівлі. Загальна площа світлопрозорих конструкцій даного типу становить 96 м^2 ;
- 2 тип призначені для природного освітлення лекційної зали. Загальна площа світлопрозорих конструкцій даного типу становить 36 м^2 .



Рисунок 3.1 – Встановлені зенітні ліхтарі на даху будівлі 1 типу



Рисунок 3.2 – Встановлені зенітні на даху будівлі 2 типу

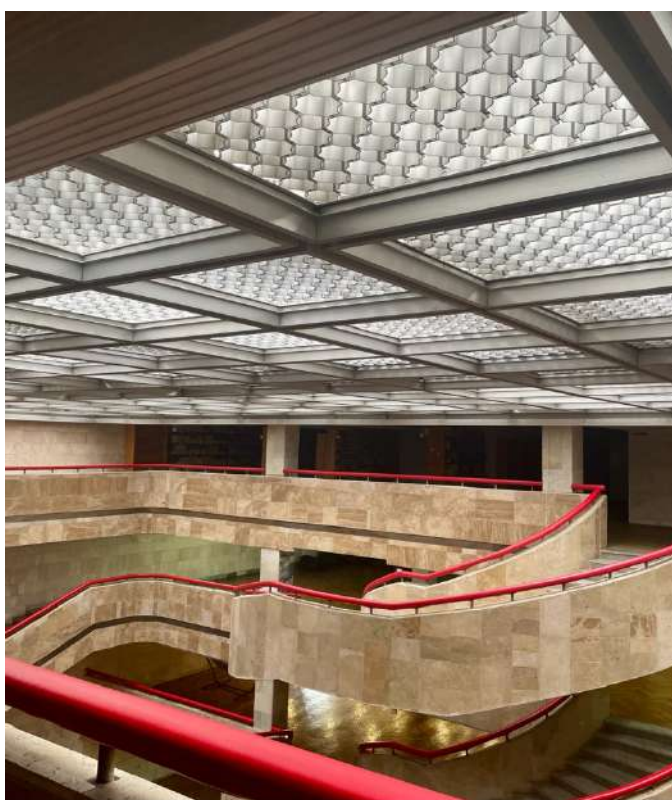


Рисунок 3.3 – Вид зсередни на зенітні ліхтарі 1 типу

					<i>ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61



Рисунок 3.4 – Вид зсередини лекційної зали на зенітні ліхтарі 2 типу

Заповнення зенітних ліхтарів виконане з багатокамерного полікарбонату товщиною 8 мм. Приведений опір теплопередачі конструкції становить близько до $R_{\text{зл}} = 0,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ за додатком [3]

$$R_{\text{зл}} = 0,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$k_{\text{зл}} = \frac{1}{0,33} = 3,03 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі для світлопрозорих конструкцій $R_{\text{q min}}=0,9 \text{ м}^2\text{К/Вт}$. [3]

$$R_{\Sigma}=0,33 \text{ м}^2\text{К/Вт} < R_{\text{q min}}=0,9 \text{ м}^2\text{К/Вт}.$$

Теплозахисні властивості зовнішніх світлопрозорих зенітних ліхтарів конструкцій в не задовільному стані та вимагають впровадження енергозберігаючих засобів, щодо збільшення їх опору теплопередачі.

Характеристика покрівлі

Конструкція покрівлі:

- залізо-бетонна круглопустотна плита $\delta=0,22$ м, $\lambda=2,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ [1]
- броньований рубероїд(4 шари) $\delta=0,015$ м, $\lambda=0,17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; [1]
- утеплювач пінобетон $\delta=0,12$ м, $\lambda=0,12; \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ [1]
- цементна стяжка $\delta=0,02$ м, $\lambda=0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; [1]
- пароізоляція $\delta=0,005$ м, $\lambda=0,17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ [1]

Термічний опір даху визначається за формулою:

$$R_d = \frac{1}{h_{se}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{si}};$$

h_{si} - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до стінки, який приймається згідно з ДСТУ 9191:2022 [1] і дорівнює $10 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

h_{se} - коефіцієнт тепловіддачі від стіни до зовнішнього повітря, , який приймається згідно з ДСТУ 9191:2022 [1] і дорівнює $23 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$;

$$R_d = \frac{1}{10} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,015}{0,17} + \frac{0,12}{0,12} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,005}{0,17} + \frac{1}{23} = 1,39 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$k_d = \frac{1}{R_d}$$

$$k_d = \frac{1}{1,39} = 0,72 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі перекриття неопалювальних горищ

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

$R_{q\min} = 6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ згідно з табл.1 ДБН В.2.6-31:2021 [3], то

$$R_{\Sigma} = 1,39 \text{ м}^2\text{К/Вт} < R_{q\min} = 6 \text{ м}^2\text{К/Вт}.$$

Теплозахисні властивості покрівлі у незадовільному стані.

Визначимо теплопередачу трансмісією згідно з ДСТУ 9190:2021 для будівлі з опалювальним підвалом під всією площею підлоги 1-го поверху.[2]

Визначимо коефіцієнт теплопередачі підлоги підвалу по ґрунту U_{bf} .

Так як $d_t + 0,5z < B'$ (неізольована підлога) розраховуємо коефіцієнт теплопередачі підлоги підвалу наступним чином

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right)$$

де λ – теплопровідність ґрунту, $\lambda = 2 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, [2]

B' – характерний розмір підлоги, [2]

d_t – еквівалентна товщина підлоги, [2]

z – висота стін, що контактують з ґрунтом, $z = 2,5 \text{ м}$. [2]

$$B' = \frac{A}{0,5 P},$$

де A – площа підлоги, $A = 590 \text{ м}^2$;

P – зовнішній периметр підлоги, $P = 99 \text{ м}$.

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

w – загальна товщина зовнішньої стіни, включаючи всі шари, $w = 0,65 \text{ м}$, [2]

R_{si} – тепловий внутрішній поверхневий опір, $R_{si} = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ для горизонтальної конструкції (підлога); [2]

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

R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір, $R_{se} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. [2]

$$R_f = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}.$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Підлога в підвалі:

- цементне покриття $\delta = 0,05$ м, $\lambda = 0,7 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$; [2]

- бетонна основа $\delta = 0,10$ м, $\lambda = 1,69 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$; [2]

$$R_f = \frac{0,05}{0,7} + \frac{0,10}{1,69} = 0,13 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

$$d_t = 0,65 + 2(0,17 + 0,13 + 0,043) = 1,336 \text{ м},$$

$$B' = \frac{590}{49,5} = 11,92 \text{ м},$$

$$d_t + 0,5z < B',$$

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 11,92 + 1,336 + 1,25} \ln \left(\frac{3,14 \cdot 11,92}{1,336 + 1,25} + 1 \right) = 0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Еквівалентна товщина стін розраховується за формулою

$$d_w = w + \lambda (R_{si} + R_w + R_{se}),$$

R_w – термічний опір стін, що контактують з ґрунтом включаючи всі шари, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; [2]

R_{si} – тепловий внутрішній поверхневий опір, $R_{si} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ для вертикальної конструкції; [2]

R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір, $R_{se} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. [2]

Стіни в підвалі:

- залізобетонні блоки $\delta = 0,65$ м, $\lambda = 1,69 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$; [2]

- внутрішнє оздоблення фарба [2]

$$R_w = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

$$R_w = \frac{0,65}{1,69} = 0,38 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}};$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$d_w = 0,65 + 2(0,115 + 0,38 + 0,043) = 1,726 \text{ м}$$

$$d_w > d_t \text{ тому}$$

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z}\right) \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right),$$

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 0,97} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 1,336}{1,336 + 2,5}\right) \ln\left(\frac{2,5}{1,726} + 1\right) = 0,43 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту

$$H_g = AU_{bf} + zPU_{bw} + P\psi_g,$$

де ψ_g – лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення вузла примикання конструкції підлоги по ґрунту до стіни підвалу, $\psi_g = 1,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. [2]

$$H_g = 590 \cdot 0,2 + 2,5 \cdot 99 \cdot 0,43 + 99 \cdot 1,05 = 328,33 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}.$$

Розрахункові теплові втрати будівлі можна обчислити за формулою:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{ок}} + Q_{\text{інф}}$$

Де $Q_{\text{ок}}$ – втрати тепла через огорожувальні конструкції, Вт;

$Q_{\text{інф}}$ – Витрати теплоти на потреби природньої інфільтрації, Вт

Тепловтрати здійснюються через огорожувальні конструкції (вікна, стіни, підлогу, стелю, зовнішні двері. Тепловтрати конструкцій визначаються за формулою:

$$Q_a = \sum K_i F_i \Delta t (1 + \sum \beta) n = \sum \frac{1}{R_0} F_i (t_{\text{вн}} - t_{\text{зв}}) (1 + \sum \beta) b_u$$

де K_i - коефіцієнт теплопередачі зовнішніх огорожень;

F – площа поверхні огорожувальної конструкції;

$t_{\text{вн}}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря, °С. Значення залежить від призначення будівлі і місця розташування. $t_{\text{вн}} = 20$ °С.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$t_{\text{зовн}} = t_{\text{р.о}}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення. $t_{\text{р.о}} = -22^{\circ}\text{C}$. [4]

b_u – коефіцієнт, який враховує зменшення розрахункової різниці температур, залежить від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря;

$\Sigma\beta$ - додаткові втрати теплоти. В даному розрахунку будуть включені тільки додаткові тепловтрати крізь огорожувальні конструкції в залежності від орієнтації будівлі відносно сторін світу. Значення β відповідно до сторін світу, відповідно до місця розположення будівлі для північно - західної стіни становитиме 10%, для східної та західної – 5%, для південно - західної 0%. Максимальні додаткові втрати теплоти приймаються 15%.

Графічне зображення додаткових тепловтрат відповідно до сторін світу зображено на Рисунку 3.5

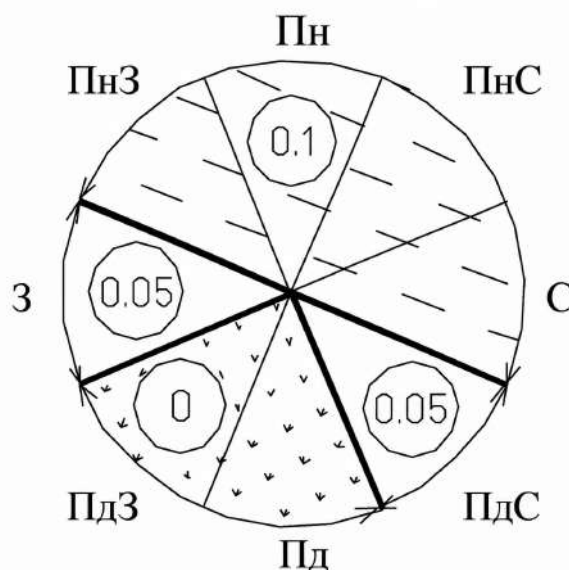


Рисунок 3.5 – Тепловтрати відносно сторін світу

Світлопрозорі конструкції будівлі, їх площа та розміщення по сторонам світу наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Світлопрозорі конструкції будівлі

Сторона	Фасад	Довжина	Висота	Площа	Площа без вікон	Вікна	Загальна площа стін	Загальна площа вікон
ПнЗх	Книгосховище	43,8	19,95	873,81	758,61	115,2	1033,71	377,70
	Головний вхід	32	16,80	537,6	275,1	262,50		
Зх	Крило 5 поверхів	30,65	19,95	611,4675	437,4675	174	620,74	371,25
	Крило 4 поверхи	22,65	16,8	380,52	183,27	197,25		
ПдЗх	Крило 4 поверхи	48,58	16,8	816,144	485,344	330,8	884,70	395,68
	Книгосховище	23,27	19,95	464,2365	399,3565	64,88		
Сх	Книгосховище	23,55	19,95	469,8225	407,1825	62,64	685,67	239,94
	Крило 4 поверхи	27,13	16,8	455,784	278,484	177,30		

Втрати теплоти крізь зовнішні стіни:

Стіни будівлі мають два основних фасади, які відрізняються між собою опором теплопередачі, тому для коректного розрахунку, розглянемо стіни окремо по сторонам, крім заходу, фасади збігаються.

$$Q_{з.ст} = \sum K_{з.ст} F_{з.ст} (t_{вн} - t_{зн}) \left(1 + \sum \beta \right) b_w,$$

Північний - Захід:

$$Q_{\text{кн}} = 1,15 \cdot 758,61 \cdot 42 \cdot 1,1 = 40304,95 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{чит.зали}} = 1,04 \cdot 275,10 \cdot 42 \cdot 1,1 = 13218,00 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{ПнЗх}} = 40304,95 + 13218,00 = 53522,95 \text{ Вт.}$$

Захід:

$$Q_{\text{чит.зали}} = 1,04 \cdot (437,4675 + 183,27) \cdot 42 \cdot 1,05 = 28469,50 \text{ Вт.}$$

Південний - Захід:

$$Q_{\text{ПдЗх}} = 1,04 \cdot 485,344 \cdot 42 \cdot 1,05 + 1,15 \cdot 399,3565 \cdot 42 \cdot 1,05 = 42513,18 \text{ Вт.}$$

Схід:

$$Q_{\text{Сх}} = 1,15 \cdot 407,1825 \cdot 42 \cdot 1,05 + 1,04 \cdot 278,484 \cdot 42 \cdot 1,05 = 33422,65 \text{ Вт.}$$

Загальні теплові втрати через зовнішні стіни:

$$Q_{\text{з.ст}} = Q_{\text{ПнЗх}} + Q_{\text{Зх}} + Q_{\text{ПдЗх}} + Q_{\text{Сх}}$$

$$Q_{\text{з.ст}} = 53522,95 + 28469,50 + 42513,18 + 33422,65 = 157928,29 \text{ Вт.}$$

Світлопрозорі вікна та двері мають 3 основні типи, розрахуємо окремо для кожного з них до кожної сторони світу.

Теплові втрати через вікна та скляні двері

$$Q_{\text{в}} = \sum K_{\text{в}} F_{\text{в}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) \left(1 + \sum \beta \right) b_{\text{в}},$$

$$Q_{\text{ПнЗх}} = (213,8 \cdot 1,92 + 84 \cdot 1,67 + 79,9 \cdot 1,75) \cdot 42 \cdot 1,10 = 31905,77 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Зх}} = (159,75 \cdot 1,92 + 24 \cdot 1,67 + 187,5 \cdot 1,75) \cdot 42 \cdot 1,05 = 29764,19 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{ПдЗх}} = (229,48 \cdot 1,92 + 51 \cdot 1,67 + 115,2 \cdot 1,75) \cdot 42 = 30549,61 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Сх}} = (219,94 \cdot 1,92 + 20 \cdot 1,67) \cdot 42 \cdot 1,05 = 20095,70 \text{ Вт.}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Загальний теплові втрати вікон та скляних дверей

$$Q_{\text{в}} = 31905,77 + 29764,19 + 30549,61 + 20095,70 = 112315,27 \text{ Вт}$$

Втрати теплоти через дах

Площа даху без зенітних ліхтарів становить 1135 м², тому

$$Q_{\text{дах}} = \sum K_{\text{дах}} F_{\text{дах}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) b_u,$$

$$Q_{\text{дах}} = 0,72 \cdot (1135,1 \cdot (20 - (-22))) \cdot 1 = 34325,424 \text{ Вт}$$

Втрати теплоти через зенітні ліхтарі:

$$Q_{\text{з.л.}} = \sum K_{\text{з.л.}} F_{\text{з.л.}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) b_u,$$

$$Q_{\text{з.л.}} = 3,03 \cdot 132 \cdot 42 = 16798,32$$

Втрати теплоти через підлогу та стіни підвалу:

$$Q_{\text{п}} = H_g (t_{\text{вн}} - t_{\text{гр}}) n_{\text{п}},$$

де $t_{\text{гр}}$ – температура ґрунту, $t_{\text{гр}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{\text{п}} = 328,33 \cdot (20 - 8) = 3939,96 \text{ Вт.}$$

Загальні втрати через огорожувальні конструкції знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{вт}} = Q_{\text{з.ст}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{дах}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{з.л}} + Q_{\text{пд}},$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{ок}} &= 157928,29 + 112315,27 + 34325,424 + 16798,32 + 3939,86 \\ &= 325307,164 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Загальні теплові втрати через огорожувальні конструкції наведені графічно, у вигляді діаграми на Рисунку 3.6:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70



Рисунок 3.6 – Загальні теплові втрати через огорожувальні конструкції

Витрати теплоти на потреби природної інфільтрації для існуючих житлових та громадських будівель, що експлуатуються, можна визначити за формулою:

$$Q_{\text{інф}} = 0,337 \cdot n_{\text{об}} \cdot V \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{п.о}})$$

де $n_{\text{об}}$ - кратність повітрообміну у громадській будівлі, приймаємо $n_{\text{об}}=0,5\text{год}^{-1}$;[1] Зумовлено значним внутрішнім об'ємом будівлі, також провідну роль несе наявність значної частини старих світлопрозорих конструкцій, інтенсивний рух людей через центральні входи та природну інфільтрацію через нещільності огорожувальних конструкцій.

V - кондиціонований об'єм приміщень будівлі, приймаємо 44369 м^3 .

$$Q_{\text{інф}} = 0,337 \cdot 0,5 \cdot 44360 \cdot (20 - (-22)) = 313985,16 \text{ Вт}$$

Сумарні втрати через огорожувальні конструкції та інфільтрацію будівлі:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{ок}} + Q_{\text{інф}},$$

$$Q_{\Sigma} = 325307,164 + 313985,16 = 639\,292,324 \text{ кВт}$$

Витрати тепла в трубопроводах системи опалення:

$$Q_{\text{тр}} = 0,04 \cdot (Q_{\Sigma})$$

$$Q_{\text{тр}} = 0,04 \cdot (639\,292,324) = 25571,17 \text{ Вт}$$

Врахуємо, кількість теплового надходження від людей і освітлення:

$$Q_{\text{л}} = 0,01 \cdot F_{\text{буд}}$$

$F_{\text{буд}}$ – площа об'єкту дослідження, 13869 м²;

$$Q_{\text{л}} = 0,1 \cdot 13869 = 1386,9 \text{ Вт}$$

Тепловий баланс будівлі наведений в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 - Тепловий баланс будівлі

Тепловтрати через зовнішні огородження	325307,164 Гкал
Природна вентиляція	313985,16 Гкал
Втрати в трубопроводах	25571,17 Гкал
Тепло від людей та освітлення	-1386,9 Гкал
Сумарні теплові втрати будівлі	663476,594 Гкал

Аналіз розрахункових та фактичних даних по споживанню з приведенням до нормативних погодних умов

$$Q_{\text{сум}} = 663476,594 \text{ Вт} = 0,571 \text{ Гкал/год}$$

Теплове навантаження будівлі за договором на опалення становить 0,447 Гкал/год, отже розраховане значення на 0,124 Гкал/год більше ніж за договором. На основі отриманих даних, можна вважати, що розрахунки проведені вірно.

Річні витрати теплової енергії будівлі бібліотеки :

$$Q_{\text{рік}}^{\text{сум}} = Q_{\text{сум}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_0 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163},$$

Де $t_{\text{с.о.}}$ - середня температура опалювального періоду, -0,1°C [4];

n_0 - тривалість опалювального періоду, 176 діб [4];

$$Q_{\text{рік}}^{\text{сум}} = 663476,594 \cdot \frac{20 - (-0,1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 2305,28 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

З отриманого розрахунку, зрозуміло, що отримані з розрахунку річні витрати відрізняються від фактичних даних спожитої теплової енергії

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

бібліотекою за 2025 р. Це пов'язано з недотриманням температурного графіку, відповідно і умов мікроклімату будівлі, застарілим обладнанням, відсутністю регулювання теплового потоку, а також тим, що терміни опалювального сезону скорочені. Крім того, договірне навантаження визначено при $t_{\text{вн}} = 18^{\circ}\text{C}$, а в дипломному проєкті прийнято 20°C , відповідно до [3].

3.4 Розроблення типових заходів з енергоефективності для огорожувальних конструкцій для будівлі бібліотеки

На основі проведеного обстеження було виявлено, що огорожувальні конструкції будівлі мають незадовільні теплотехнічні показники. Показники опору теплопередачі зовнішніх стін, покриття, а також віконних та дверних світлопрозорих конструкцій не відповідають чинним нормативним вимогам, що зумовлює високий рівень теплових втрат. Основними джерелами тепловтрат є стіни та світлопрозорі конструкції; крім того, великий вплив має інфільтрація повітря. Втрати тепла становлять 663476,594 кВт, що відповідає рівню будівлі з низьким рівнем енергоефективності.

Існуюча система теплопостачання характеризується високим рівнем зносу та низьким ККД. Вона функціонує за однотрубною схемою з верхнім розведенням і підключена через теплообмінне обладнання.

Ключовими дефектами системи є засмічення трубопроводів та теплообмінника, відсутність засобів автоматичного регулювання, також нестабільний режим гідравлічної системи. Через відхилення фактичного температурного графіка в бік зниження відносно розрахункових параметрів в опалювальний період спостерігається систематичний недотоп приміщень.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Аналіз теплового балансу підтверджує значну диспропорцію між реальними потребами споруди та фактичною тепловою потужністю системи. Водночас термомодернізація огорожувальних конструкцій дозволить знизити теплове навантаження. Таким чином, об'єкт потребує впровадження комплексу термомодернізаційних заходів для оптимізації енергоспоживання та підвищення ефективності опалення.

Для данної будівлі можемо запропонувати наступні заходи з енергозбереження:

1. Термомодернізація огорожувальних конструкцій: утеплення зовнішніх стін до нормативного рівня ($R \geq 4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$), утеплення покрівлі ($R \geq 6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$).

2. Заміна та модернізація вікон і дверей: повна заміна старих вікон на енергоефективні склопакети, повна заміна тамбуру дверей вхідної групи на енергоефективні.

3. Заміна світлопрозорих зенітних ліхтарів відповідно до нормативного рівня $R \geq 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

4. Модернізація теплового пункту (ТП): встановлення погодозалежного регулювання, очищення або заміна теплообмінника, встановлення сучасних насосів з частотним регулюванням, гідравлічне балансування системи, встановлення датчиків температури та автоматики.

5. Оптимізація системи опалення: промивка системи опалення, встановлення терморегуляторів на радіаторах

6. Впровадження енергоменеджменту: аналіз та оптимізація режимів роботи систем.

В наступному блоці будуть розглянуті наведені вище заходи з енергозбереження.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Влаштування теплоізоляції зовнішніх стін

Аналіз тепловтрат будівлі показав, що значна їх частка припадає на огорожувальні конструкції, зовнішні стіни в цьому списку займають 1 місце за величиною втрат.

З метою зменшення тепловтрат та підвищення енергоефективності будівлі пропонується виконати зовнішнє утеплення стін із застосуванням сучасних теплоізоляційних матеріалів, таких як мінеральна вата, щоб забезпечити нормативний опір теплопередачі. Схема утеплення фасаду зображена на Рисунку 3.7. Обраний утеплювач зображений на Рисунку 3.8



Рисунок 3.7 – Схема утеплення фасаду будівлі

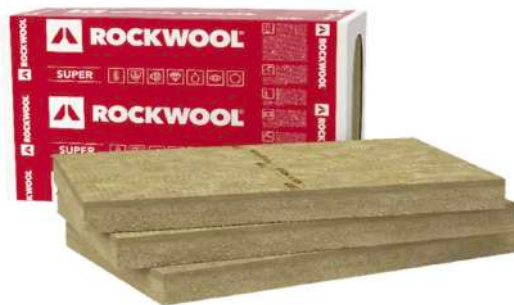


Рисунок 3.8 – Обраний утеплювач ROCKWOLL FRONTROCK

Пропонується використати мінеральну вату ROCKWOOL FRONTROCK SUPER на основі базальтового волокна густина якої складає 150 кг/м^3 товщиною $\delta=0,15 \text{ м}$, $\lambda=0,045 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$. [1]

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

$$R_{\text{с.кн.ут}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,04}{1,3} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{1}{23} = 4,27 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{с.очн.ут}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,55} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,03}{0,8} + \frac{0,04}{1,3} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{1}{23} \\ = 4,29 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх стін

$R_{q \min} = 4 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, за ДБН В.2.6-31:2021.[3]

$$R_{\Sigma} = 4,28 \text{ м}^2\text{C}^\circ/\text{Вт} > R_{q \min} = 4 \text{ м}^2\text{C}^\circ/\text{Вт}.$$

Розрахунок річної економії витрат

Для визначення щорічної економії енергоресурсів розрахуємо зменшення теплових втрат через зовнішні стіни маємо два різновиди з різн після утеплення за наступною формулою:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = \left(\frac{1}{R_{\text{ст}}} - \frac{1}{R_{\text{ут.ст}}} \right) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}) \sum F \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n$$

Підставимо данні у формулу:

$$\Delta Q_{\text{Пн.3х}} = \left(1,15 - \frac{1}{4,27} \right) \cdot 758,61 \cdot 42 \cdot 1,1 + \left(1,04 - \frac{1}{4,29} \right) \cdot 275,10 \cdot 42 \cdot 1,1 \\ = 42373,94 \text{ Вт}$$

Відповідні розрахунки були виконані до кожної сторони світу:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = 42373,94 + 22077,88 + 33403,19 + 26008,23$$

$$\Delta Q_{\text{ст}} = 123863,24 \text{ Вт}$$

Річні витрати теплової енергії бібліотеки:

$$Q_{\text{рік}}^{\text{ст.ут}} = Q_{\text{сум}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_o \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163},$$

Де $t_{\text{с.о.}}$ - середня температура опалювального періоду, $-0,1^\circ\text{C}$; [4]

n_o - тривалість опалювального періоду, 176 діб; [4]

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ст.ут}} = 123863,24 \cdot \frac{20 - (-0,1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 215,29 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$$\Delta E = \Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ст.ут}} \cdot T$$

де $T=4068,41$ грн/Гкал – тариф на теплову енергію для громадських будівель КПІ.

$$\Delta E_{\text{ст.ут}} = 215,29 \cdot 4068,41 = 875887,98 \text{ грн}$$

Для реалізації проєкту з утеплення стін був сформований кошторис, наведений в таблиці 3.6. Формування проєкту наведено в таблиці 3.7

Таблиця 3.6 – Кошторис на утеплення стін

Назва робіт і витрат	Один. виміру	Загальна к-сть	Поточна одинична ціна, грн	Витрати, грн
Мінеральна вата	1,2 м ² (уп)	2 688	1 050	2 822 400
Дюбель ВкретМЕТ фас. Пластик 10×260	шт	16 006	10	160060
Заглушка на дюбель	шт	16 006	2	32012
СР 190 рго Суміш МВ для кріплення і захисту мінеральної вати	кг	23 772	35	832020
Сітка CERESIT СТ 325 160 гр/кв.м.	м ²	3 400,00	55	187000
Церезіт СТ 15 Silikone (Грунтовка силіконова)	кг	505	105	53025
СТ 36 штукатурка декоративна	кг	9 905	43	425 915
Заробітна плата				300 000
Загальна вартість проєкту:				4 812 432

Таблиця 3.7 – Формування проєкту

Проект	Часовий горизонт, роки	Капітальні витрати, тис.грн	Щорічні експлуатаційні витрати, тис.грн	Щорічна економія від впровадження проєкту, тис.грн	Ставка дисконту, %
	15	4812	30	876	15%

Розраховані показники для запропонованого проєкту з утеплення, було обрані з часовим горизонтом в 15 років, так як мінімальний строк служби утепленого фасаду з мінеральної становить від 25 років, розрахунок придатності наведено в таблиці 3.8. Розрахунок основних значень окупності наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.8 – Розрахунок фінансових показників проєкту

Рік	Капітальні витрати	Експлуатаційні витрати, тис.грн	Вигоди, тис.грн	Грошовий потік, тис.грн	Кумулятивний грошовий потік, тис.грн	Кі	Дисконтований грошовий потік	ДГП, тис.грн
0	4812,432	0	0	-4812,4	-4812,4	1	-4812,4	-4812,4
1		30	876	846	-3966,4	0,8696	735,652	-4076,8
2		30	876	846	-3120,4	0,7561	639,698	-3437,1
3		30	876	846	-2274,4	0,6575	556,259	-2880,8
4		30	876	846	-1428,4	0,5718	483,703	-2397,1
5		30	876	846	-582,43	0,4972	420,612	-1976,5
6		30	876	846	263,57	0,4323	365,749	-1610,8
7		30	876	846	1109,6	0,3759	318,043	-1292,7
8		30	876	846	1955,6	0,3269	276,559	-1016,2
9		30	876	846	2801,6	0,2843	240,486	-775,67
10		30	876	846	3647,6	0,2472	209,118	-566,55
11		30	876	846	4493,6	0,2149	181,842	-384,71
12		30	876	846	5339,6	0,1869	158,123	-226,59
13		30	876	846	6185,6	0,1625	137,499	-89,09
14		30	876	846	7031,6	0,1413	119,564	30,474
15		30	876	846	7877,6	0,1229	103,969	134,44
		450		7877,6			134,44	

Таблиця 3.9 – Розрахунок основних значень окупності проєкту

Простий строк окупності(SPP)	5,688454	роки
Чистий прибуток проєкту(NPV)	134,44	тис.грн
Дисконтований строку окупності (DPP)	13,73155	роки
Внутрішня норма рентабельності (IRR)	16%	%

Проект утеплення може бути запропонований до впровадження відповідно до отриманих результатів. Простий строк окупності складає 5,68 року, дисконтований — 13,7 роки. Чиста приведена вартість є додатною і становить 134,4 тис. грн, а внутрішня норма рентабельності дорівнює 16%. Отже, проект є ефективним та може бути запропонованим до впровадження.

Крім того, реалізація проекту може здійснюватися за рахунок коштів програм підтримки енергоефективності, грантів міжнародних організацій або пільгових кредитів. Зменшення вартості залученого капіталу призведе до зниження ставки дисконту та покращення економічних показників проекту, що додатково підтверджує доцільність його впровадження.

Оцінка ризиків проекту

Для врахування ризиків і невизначеностей, пов'язаних із реалізацією проекту утеплення фасаду будівлі, було виконано аналіз чутливості його економічних показників, наведених в таблиці 3.10 та 3.11. Проведення такого аналізу дало змогу визначити, наскільки зміна вихідних параметрів впливає на загальну ефективність проекту та його інвестиційну привабливість.

У процесі дослідження проаналізовано динаміку основних показників економічної ефективності, чистої приведеної вартості та внутрішньої норми дохідності, а також простого і дисконтованого строків окупності для обраного проекту. Розрахунки виконувалися шляхом поетапної зміни ключових параметрів проекту — капітальних вкладень та величини річної економії енергоресурсів. Значення зазначених показників змінювалися в діапазоні від – 20 % до +20 % від базового рівня з інтервалом 10 %, що дозволило оцінити стійкість проекту до можливих відхилень вихідних умов.

Графічне зображення отриманих результатів наведено на рисунках 3.9 та 3.10

					ННІЕЕ.1910–с.ОН–21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Таблиця 3.10 – Аналіз чутливості проєкту до зміни початкових інвестицій

ЗМІНИ ПОЧАТКОВИХ ІНВЕСТИЦІЙ					
Сценарії:	+20%	+10%	0	-20%	-10%
Чистий прибуток проєкту(NPV)	-828,04	-346,80	134,44	615,69	1096,93
IRR	12%	14%	16%	18%	21%

Таблиця 3.11 – Аналіз чутливості проєкту до зміни річної економії

ЗМІНИ ЕКОНОМІЇ					
Сценарії	+20%	+10%	0	-10%	-20%
Чистий прибуток проєкту(NPV)	1158,90	646,67	134,44	-377,79	-890,02
IRR	20%	18%	16%	13%	11%

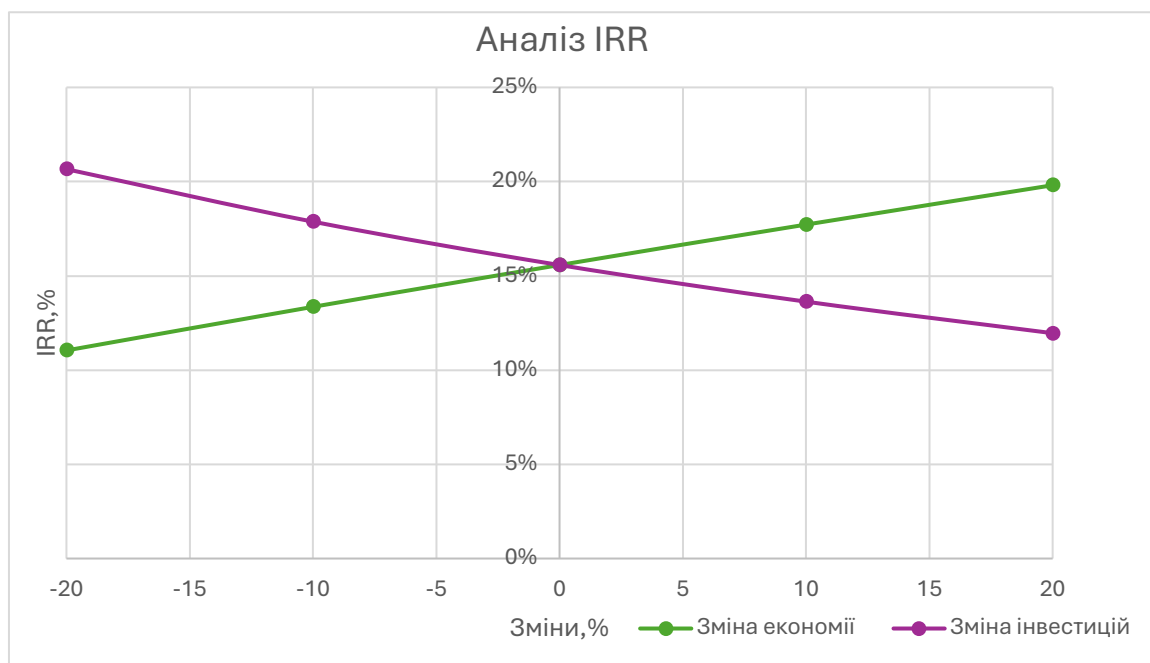


Рисунок 3.9 - Аналіз чутливості IRR до змін

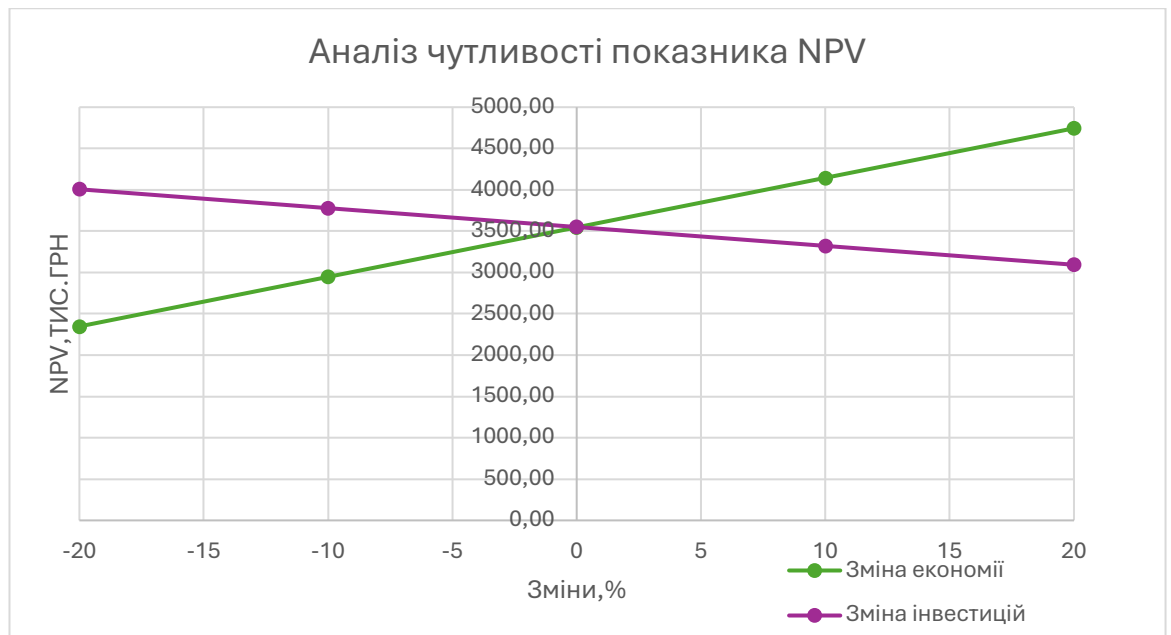


Рисунок 3.10 - Аналіз чутливості NPV до змін

Заміна вікон та дверей

Аналіз показав, що існуючі вікна та двері мають низькі теплозахисні характеристики і не відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2021[3]. Доцільним буде замінити старі світлопрозорі конструкції з металевими та дерев'яними рамами.

Вікна з ПВХ-профілю, встановлені під час попередніх ремонтних робіт у 2017 році, у межах даного проєкту не розглядаються до заміни. Незважаючи на те, що їх теплозахисні характеристики також не повністю відповідають сучасним вимогам, їх технічний стан є кращим порівняно зі старими металевими та дерев'яними конструкціями. Крім того, їх заміна потребувала б суттєвого збільшення капітальних витрат, що знижує економічну ефективність запропонованого заходу.

З метою підвищення енергоефективності пропонується виконати заміну старих вікон з металевими та дерев'яними рамами на сучасні металопластикові конструкції з двокамерними склопакетами.

Розрахунок річної економії енергії

Для заміни обираємо двокамерні склопакети 60 мм: 4i-10Ar-4-10Ar-4i з опором теплопередачі $R_{н.в} = 1,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$, що відповідає вимогам [3] .

Теплові втрати через віконні конструкції після їх заміни:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = \left(\frac{1}{R_{\text{н.вк}}} \right) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{п.о.}}) \sum F \cdot (1 + \sum \beta) \cdot b_u$$

Підставимо данні у формулу:

$$Q_{\text{с.в}} = \frac{1}{0,52} \cdot 42 \sum (213,18 \cdot 1,1 + 159,75 \cdot 1,05 + 229,48 \cdot 1 + 219,94 \cdot 1,05) \\ = 69675,78 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{н.в}} = \frac{1}{1,1} \cdot 42 \sum (213,18 \cdot 1,1 + 159,75 \cdot 1,05 + 229,48 \cdot 1 + 219,94 \cdot 1,05) \\ = 32937,64 \text{ Вт}$$

Відповідні розрахунки виконаємо для вікон з дерев'яними рамами:

$$Q_{\text{с.в}} = \frac{1}{0,60} \cdot 42 \sum (84 \cdot 1,1 + 24 \cdot 1,05 + 51 \cdot 1 + 20 \cdot 1,05) = 13272 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{н.в}} = \frac{1}{1,1} \cdot 42 \sum (84 \cdot 1,1 + 24 \cdot 1,05 + 51 \cdot 1 + 20 \cdot 1,05) = 7239,27 \text{ Вт}$$

Зведемо розрахунки та розрахуємо економію енергії:

$$\Delta Q_{\text{н.вк}} = Q_{\text{вк}} - Q_{\text{н.в}};$$

$$\Delta Q_{\text{н.вк}} = 82947,78 - 40176,91 = 42770,87.$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{н.вк}} = \Delta Q_{\text{н.вк}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{п.о.}}} \cdot n_o \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163},$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{н.вк}} = 42770,87 \cdot \frac{20 - (-0,1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163} = 74,27 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Опір теплопередачі нових частково заміненних дверних конструкцій з врахуванням тамбурів приймаємо $R_{\text{н.д}} = 1,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Теплові втрати через дверну конструкцію після їх заміни:

$$\Delta Q_{H,д} = \left(\frac{1}{R_{H,д}}\right) \cdot (t_{BH} - t_{p.o.}) \sum F_{H,д} \cdot (1 + \sum \beta) \cdot b_u$$

Підставимо данні у формулу:

$$Q_{H,д} = \frac{1}{1,1} \cdot 42 \sum (34,8 \cdot 1,1) = 1461,6 \text{ Вт}$$

Знайдемо економію енергії:

$$\Delta Q_{H,д} = Q_{д} - Q_{H,д};$$

$$\Delta Q_{H,д} = 3572,8 - 1461,6 = 1429,12.$$

$$\Delta Q_{рік}^{H,д} = \Delta Q_{H,д} \frac{t_{BH} - t_{c.o.}}{t_{BH} - t_{p.o.}} \cdot n_o \cdot 24 \cdot \frac{10^{-6}}{1,163},$$

$$\Delta Q_{рік}^{H,д} = 1429,12 \cdot \frac{20 - (-0,1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \frac{10^{-6}}{1,163} = 2,48 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Сумарна економія енергії від заміни дверей та вікон

$$\Delta Q_{рік}^{\text{сум.д-в}} = \Delta Q_{рік}^{H,вк} + \Delta Q_{рік}^{H,д}$$

Підставивши дані у формулу, маємо:

$$\Delta Q_{рік}^{\text{сум.д-в}} = 74,27 + 2,48 = 76,75 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}$$

Річна економія коштів від заходу заміни вікон да дверей розраховується за формулою:

$$\Delta E = \Delta Q_{рік}^{\text{сум.д-в}} \cdot T$$

де $T=4068,41$ грн/Гкал – тариф на теплову енергію для бюджетних установ на території КПІ.

$$\Delta E_{\text{ст.ут}} = 49,27 \cdot 4068,41 = 312250,47 \text{ грн}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Витрати на введення в експлуатацію

Необхідна кількість віконних конструкцій, які підлягають заміні, становить 1002 м². В якості нових вікон обрано двокамерні енергоефективні склопакети типу 4i-10Ar-4-10Ar-4i з опором теплопередачі 1,1 м²·К/Вт. Вартість таких вікон прийнята на рівні 3500 грн/м².

Вартість віконних конструкцій становить:

$$B_{н.в}=1002 \cdot 3500 = 3\,507\,000 \text{ грн}$$

Плата за виконання монтажних робіт, становить приблизно 100 000 грн за виконання робіт.

Щодо дверей, передбачено заміну 6 дверних блоків на металопластикові, для двох, що є головною входною групою з найбільшим використанням пропонується встановити систему автоматичного розсуву дверей, що скорочує інфільтрацію холодного повітря взимку та теплого влітку. Вартість звичайних дверей разом з монтажем, демонтажем старих, – 20 000 грн/шт. Вартість встановлення автоматизованих дверей, демонтажем старих, - 150 000 грн/шт.

Загальна вартість заходу:

$$B_{\text{сум.в-д}} = 3\,507\,000 + 80\,000 + 300\,000 + 100\,000 = 3\,987\,000 \text{ грн}$$

Економічна оцінка проекту

Тоді, простий термін окупності визначаємо за формулою:

$$T_{\text{ок.ст.ут}} = \frac{B_{\text{сум.в-д}}}{\Delta E_{\text{сум.в-д}}};$$

$$T_{\text{ок.ст.ут}} = \frac{3\,987\,000}{312\,250,47} = 12,8 \text{ роки}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Виходячи з розрахованого простого терміну окупності, можна зробити висновок, що цей захід не є швидко окупним, але враховуючи строк служби, можна вважати доцільним.

Утеплення даху

Мінімально необхідне значення товщини ізоляції даху

$$\delta_{iz} = [R_{q\ min} - R_d] \cdot \lambda_{iz},$$

де R_d – опір теплопередачі існуючого горищного перекриття, $[m^2 \cdot K / Wt]$; [5]

δ_{iz} , λ_{iz} – відповідно товщина, $[m]$, та коефіцієнт теплопровідності, $[Wt / (m \cdot K)]$, ізоляційного шару; [5]

$R_{q\ min}$ – мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для перекриття відповідно до вимог. [5]

Для утеплення пропонується матеріали категорії «Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна» з густиною $30\ kg/m^3$ і коефіцієнтом теплопередачі $0,046\ Wt / (m \cdot K)$.

$$\delta_{iz} = [6 - 1,39] \cdot 0,046 = 0,212\ m = 215\ mm.$$

Опір теплопередачі даху після утеплення:

$$R_{ут.д} = R_d + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}}.$$

$$R_{ут.д} = 1,39 + \frac{0,215}{0,046} = 6,06\ \frac{m^2 K}{Wt}.$$

Зменшення тепловтрат за рахунок утеплення горищного перекриття

$$\Delta Q_d = \left(\frac{1}{R_d} - \frac{1}{R_{ут.д}} \right) F_d (t_{вн} - t_{р.о.}) b_u;$$

де F_d – площа даху, $[m^2]$.

$$\Delta Q_d = \left(\frac{1}{1,39} - \frac{1}{6,06} \right) \cdot 1135 \cdot (20 - (-22)) \cdot 0,9 = 23793,26\ Wt.$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Річна економія теплової енергії за рахунок утеплення перекриття техповерху:

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.д}} = \Delta Q_{\Gamma} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о.}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_o \cdot 24 \frac{10^{-6}}{1,163},$$

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.д}} = 23793,26 \cdot \frac{20 - (-0,1)}{20 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 \frac{10^{-6}}{1,163} = 41,35 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Річна економія грошових витрат:

$$\Delta E = \Delta Q_{\text{рік}}^{\text{ут.д}} \cdot T,$$

де T – тариф на теплову енергію.

$$\Delta E = 41,35 \cdot 4061,8 = 167955,43 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності заходу з утеплення горищного перекриття:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1135 \cdot 1700}{167955,43} = 11,9 \text{ років}$$

Виходячи з розрахованого простого терміну окупності, можна зробити висновок, що цей захід з енергоефективності є не швидко окупним.

3.5 Розроблення типових заходів з енергоефективності для інженерних систем будівлі та джерел енергії

На сьогоднішній день система опалення бібліотеки працює недостатньо ефективно через тривалу експлуатацію та відсутність належного технічного обслуговування. Основною проблемою є недогрів приміщень, що виникає внаслідок засмічення трубопроводів і радіаторів, зношеності запірної арматури, відсутності теплової ізоляції трубопроводів та автоматичного погодозалежного регулювання.

Для підвищення ефективності роботи системи опалення бібліотеки пропонується реалізація комплексу заходів, що включає встановлення теплової ізоляції трубопроводів, впровадження погодозалежного регулювання в ТП,

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

заміну застарілої запірної арматури, а також промивання та очищення трубопроводів системи опалення. Реалізація зазначених заходів дозволить покращити циркуляцію теплоносія, зменшити тепловтрати та забезпечити нормативний температурний режим у приміщеннях бібліотеки.

Запропоновані заходи з підвищення енергоефективності теплового пункту наведені списком :

Система автоматики та погодозалежного регулювання

- Контролер погодозалежного регулювання Danfoss ECL Comfort 210 + Ключ A266 + Клемна панель
- Датчик зовнішньої температури Danfoss ESMT
- Датчик температури подачі Danfoss ESM-11
- Датчик температури зворотного трубопроводу Danfoss ESM-11
- Кімнатний датчик температури Danfoss ESM-10
- Шафа Schneider Electric Kaedra IP65 36 мод.
- Кабельна продукція та монтажні матеріали Lapp Kabel ÖLFLEX CLASSIC 110 3G1.5 + матеріали

Автоматичне регулювання теплоносія

- Регулюючий клапан Siemens VVG44.25-10 сідельний
- Електропривід клапана Siemens SAS31.03 лінійний

Модернізація трубопроводів та арматури

- Кульові крани Oventrop Optibal 1" з американкою (4 шт.)
- Фільтр грубого очищення Oventrop сітчастий d25
- Зворотний клапан Itap Europa 1"
- Балансувальна арматура Danfoss Leno MSV-BD DN25

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Розрахунок вартості за виконання налагоджувальних робіт:

Вартість монтажних та пусконаладжувальних робіт з впровадження системи погодозалежного регулювання і промивка внутрішньої системи опалення прийнята на рівні 300 тис.грн. До складу робіт входять демонтаж існуючої арматури, монтаж регулюючого клапана та електроприводу, встановлення датчиків температури, прокладання кабельних ліній, підключення контролера, електромонтажні роботи, налаштування системи автоматичного регулювання, а також пусконаладжувальні роботи та введення системи в експлуатацію.

З урахуванням вартості обладнання та матеріалів у розмірі 1 200 000 тис. грн, загальні капітальні витрати на реалізацію заходу становлять 1 500 000 тис. грн. Це значення прийнято для подальшої оцінки економічної ефективності впровадження системи погодозалежного регулювання теплоносія.

Приймаємо, що модернізація системи опалення призведе до економії теплової енергії не менше ніж на 10% та для промивки трубопроводів – не менше 5%. Отже, річна економія теплової енергії після реалізації комплексного заходу модернізації системи опалення гуртожитку розраховуємо наступним чином:

Річна економія витрат теплової енергії будівлею :

$$\Delta Q_{\text{рік}}^{\text{мод.оп}} = 0,15 \cdot 1150,39 = 172,56 \text{ Гкал/рік},$$

Річна економія коштів від заходу модернізації ТП розраховується за формулою:

$$\Delta E_{\text{мод.оп}} = 172,56 \cdot 4061,8 = 794086,60 \text{ грн}$$

Вартість проекту: $V_{\text{мод.оп}} = 1\,500\,000$ грн

Тоді, простий термін окупності при економічно обґрунтованому тарифі для заходу утеплення стін визначаємо за формулою

$$T_{\text{мод.оп}} = \frac{V_{\text{мод.оп}}}{\Delta E_{\text{мод.оп}}};$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

$$T_{\text{мод.оп}} = \frac{510000}{794086,60} = 1,88 \text{ роки.}$$

Виходячи з отриманих результатів розрахунків, можна зробити висновок, що запропоновані заходи з модернізації системи опалення є технічно та економічно доцільними для впровадження у об'єкті дослідження. Проведення промивки системи опалення, теплообмінників та трубопроводів дозволить зменшити гідравлічний опір системи, покращити циркуляцію теплоносія та підвищити ефективність теплопередачі. Це сприятиме зниженню втрат теплової енергії та підвищенню ефективності роботи системи опалення в цілому.

Висновки до розділу 3

У даному розділі було виконано розрахунок геометричних та теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій будівлі, визначено їх приведений опір теплопередачі та проведено оцінку відповідності до чинних нормативних вимог щодо. На основі зібраного матеріалу по об'єкту було здійснено комплексний розрахунок тепловтрат. На основі отриманих результатів були запропоновані заходи з підвищення енергоефективності, наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Запропоновані заходи з підвищення енергоефективності

Назва заходу з підвищення енергоефективності	Річна економія теплоти, Гкал/рік	Річна грошова економія, грн/рік	Капітальні витрати (інвестиції), грн	SPP, років
Модернізація ТП із впровадженням автоматики та промиванням системи опалення	172,56	702044,83	1 500 000	1,88
Влаштування теплоізоляції зовнішніх стін базальтовою ватою (150 мм)	215,29	875887,98	4 812 432	5,69
Утеплення суміщеного покриття даху мінеральною ватою (260 мм)	43,55	176891,39	1 929 500	11,9
Модернізація віконних прорізів та заміна зовнішніх вхідної групи	76,75	312250,47	3 987 000	12,8

4 ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

Для визначення факторів впливу для побудови базового рівня енергоспоживання було обрано найхолодніший та найтепліший будній день за період дослідження. Обраними датами є 29 квітня та 6 травня. Розглянемо ці дні окремо та побудуємо погодинний графік для кожного з обраних днів.



Рисунок 4.1 – Добовий графік навантаження на об’єкт дослідження за 29 квітня.



Рисунок 4.2 – Добовий графік навантаження на об’єкт дослідження за 6 травня

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.012 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Клочан Д.О			Впровадження системи енергоменеджменту	Літ.	Арк.
Перевір.		Веремійчук Ю. А.					Акрушів
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.						НН ІЕЕ, кафедра ЕП	

Форми обох графіків повторюють добовий графік роботи бібліотеки: стрімке зростання навантаження починається з 7:00–8:00 ранку, стабільний максимум утримується протягом робочого дня, а після 17:00–18:00 спостерігається спад. За допомогою інструментів Excel спробуємо продемонструвати залежності навантаження від температури за допомогою багатокритеріального рівняння, які наведені на рисунку 4.3 та 4.4.

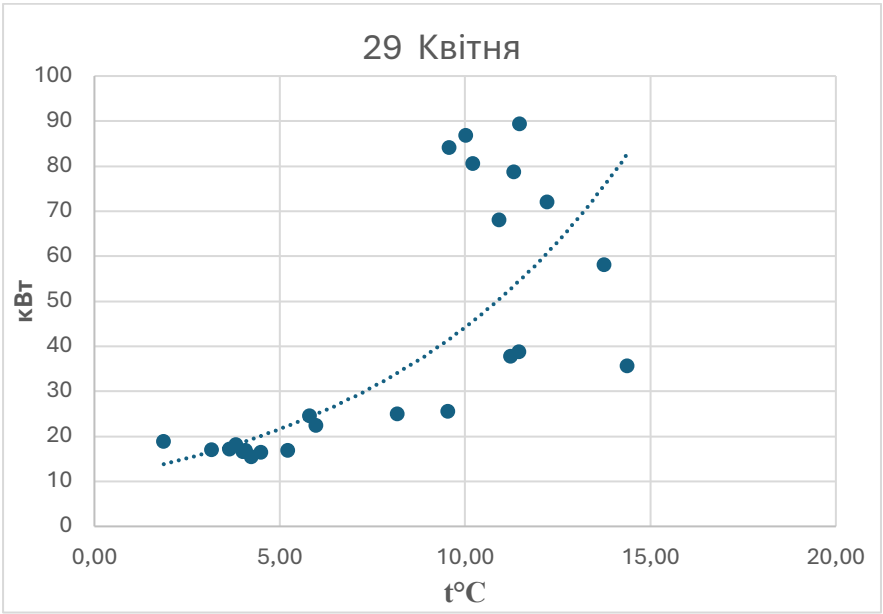


Рисунок 4.3 - Багатокритеріальне рівняння за 29 квітня

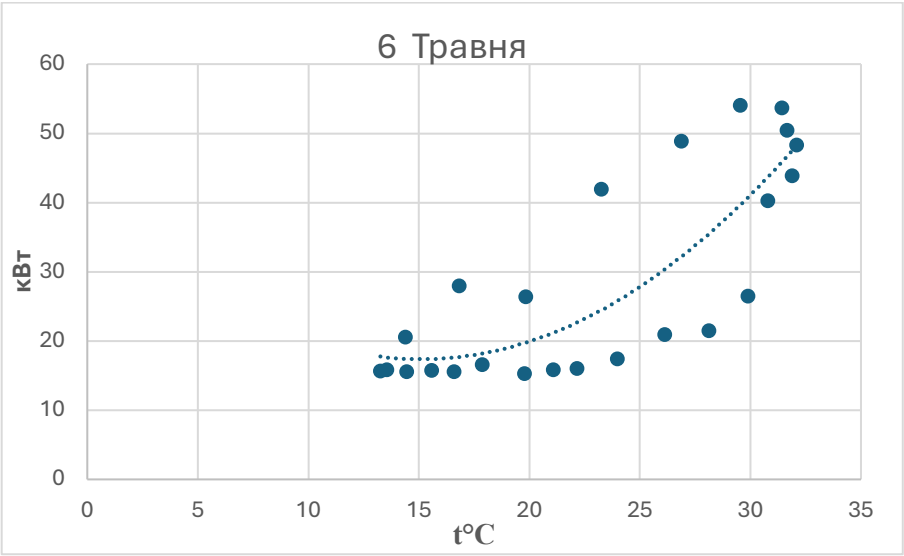


Рисунок 4.4 - Багатокритеріальне рівняння за 6 травня

Отримане значення рівняння R^2 , наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Отримане рівняння R^2

29 квітня	$y = 10573e^{0,1431x}$	$R^2 = 0,4186$
6 травня	$y = 107,16x^2 - 3240,4x + 41868$	$R^2 = 0,6479$

Отримані значення виконані шляхом аналізу погодинного навантаження не підтверджують прямого факту залежності, від зовнішньої температури, але в свою чергу демонструють певну тенденцію на збільшення навантаження в об'єкті дослідження Науково-технічній бібліотеці ім.Г.І Денисенка.

Для побудови базового рівня споживання відповідно до [7], переходимо до даних – помісячних показників, що охоплюють рік. На основі статистичних даних наведених в таблиці 4.1, проведемо регресійний аналіз враховуючи два фактори впливу: градусодоби на опалення та відвідуваності бібліотеки. Градусодоби розраховано відповідно до [4]

Таблиця 4.2 – Зведені статистичні характеристики бібліотеки за 2025 рік.

Місяць	Тсер, °С	Днів	ГДО	Відвідуваність, ос.	Ел. енергія, кВт·год	Теплоенергія, Гкал
Січень	2,1	31	555	9026	28620	156,17
Лютий	-3,7	28	664	10046	31540	110,88
Березень	7,4	31	391	11098	27500	82,66
Квітень	11,1	30	267	17233	41020	0
Травень	13,6	31	198	17421	20100	0
Червень	19,1	30	27	5388	16020	0
Липень	22,6	31	0	10078	19360	0
Серпень	20,2	31	0	2012	18660	0
Вересень	16,8	30	96	25335	24520	0
Жовтень	8,6	31	353	13734	32680	0
Листопад	6,2	30	414	15202	31280	15,37
Грудень	1	31	589	19860	30220	88,94
Разом 2025		365	3554	156433	321520	454,02

Отримані статистичні дані регресії наведено на рисунку 4.5. Отримані результати дисперсійного аналізу наведено на рисунку 4.6. Коефіцієнти регресії наведено на рисунку 4.7.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

Regression Statistics	
Multiple R	0,87871097
R Square	0,77213297
Adjusted R Square	0,721495852
Standard Error	35622,10429
Observations	12

Рисунок 4.5 – Статистичні данні регресії

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	38698332826	19349166413	15,24835935	0,001287
Residual	9	11420408828	1268934314		
Total	11	50118741654			

Рисунок 4.6 – Дисперсійний аналіз

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	28028,66038	25855,77067	1,084038869	0,30653203	-30461,16	86518,477	-30461,16	86518,477
X Variable 1	255,0699333	46,34436795	5,503795705	0,000378324	150,23169	359,90818	150,23169	359,90818
X Variable 2	-2,514285396	1,696029879	-1,48245348	0,172365262	-6,350972	1,3224007	-6,350972	1,3224007

Рисунок 4.7 – Коефіцієнти регресії

Отриманий шляхом розрахунків коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,772$ свідчить про те, що 77,2 % варіації залежної змінної пояснюється включеними факторами. Модель є статистично значущою ($F = 15,25$; $p = 0,001$). Коефіцієнт при змінній ГДО є значущим ($p < 0,001$), тоді як вплив кількості відвідувачів статистично незначущий ($p = 0,172$).

Отримане рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 28\,028,66 + 255,07 \cdot \text{ГДО} - 2,514 \cdot \text{Відвідувачі}$$

Висновки до розділу 4:

Отримане рівняння може бути використане для побудови базового рівня енергетичної ефективності для впровадження системи енергетичного менеджменту.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

5 ОЦІНКА РОБОТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ
НА ОБ’ЄКТІ

5.1 Аналіз роботи встановленої сонячної електростанції

На даху будівлі в 2024 році Науково – технічної бібліотеки ім.Г.І, Денисенка було встановлено сонячну електростанцію (рис 5.1) з системою накопичення, для забезпечення автономним живленням серверного обладнання.



Рисунок 5.1 – СЕС на даху об’єкта дослідження

СЕС оснащена 34 фотовольтаїчними модулями виробника Longi, номінальна потужність однієї фотовольтаїчної панелі - 430W, загальна потужність 14,62 кВт. Модулі встановлено на баластній системі кріплення з оцинкованого металу, що забезпечує міцність, стійкість до впливу корозії та тривалий термін експлуатації. Технічні характеристики фотовольтаїчних модулів наведені в таблиці 5.1

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОЦІНКА РОБОТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ’ЄКТІ		
Розроб.		Клочан Д.О					
Перевір.							
Реценз.							
Н. Контр.		Веремійчук Ю. А.					
Затверд.					НН ІЕЕ, кафедра ЕП		

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики фотовольтаїчних модулів

Параметр	Значення
Тип панелі	Монокристалічна
Номінальна потужність	430 Вт
ККД	22%
Напруга холостого ходу, V_{oc}	39,13 В
Струм короткого замикання, I_{sc}	14,15 А
Напруга за максимальної потужності, V_{mpp}	32,84 В
Струм за максимальної потужності, I_{mpp}	13,1 А
Максимальна напруга системи	1500 В
Кількість фотоелементів	108 (6×18)
Вихідний роз'єм	MC4
Клас захисту	IP68
Робоча температура	від -40 °С до +85 °С
Габарити	1722 × 1134 × 30 мм
Маса однієї	20,8 кг

Підключена на 4 поверсі до трьохфазного гібридного інвертора виробника Deye, модель SUN-12KSG03LP3-EU, потужністю 12 кВт. Гібридний інвертор зображено на рисунку 5.2, технічні характеристики наведені в таблиці 5.2



Рисунок 5.2 – Інвертор Deye SUN-12KSG03LP3-EU

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики інвертора Deue

Резервний, автономний режим	
Потужність, Вт	12000
Максимальна потужність, Вт	13200
Пікова потужність не більше 10 с, Вт	24000
Вихідний струм, А	17.4
Максимальний вихідний струм, А	19.1
Максимальний струм транзиту, А	26.1
Вихідна частота, Гц	50/60
Тип мережі	3ф (L / N / PE)
Коефіцієнт гармонік, %	THD <3% (лінійне навантаження <1,5%)
Сонячний контролер	
максимальна потужність сонячного поля, Вт	15600
Діапазон напруги, В	160-800
Номинальна напруга MPPT, В	550
Робочий діапазон MPPT, В	200-650
Старт MPPT, В	160
Струм MPPT, А	25+12,5
Кількість трекерів MPPT, шт	2
Кількість входів PV, шт.	2+1
Вхід акумулятора	
Тип батареї	AGM, GEL, LiFePO4, Li-ion
Діапазон напруги, В	40-60
Максимальний струм зарядки, А	240
Максимальний струм розрядки, А	240
Стадії зарядки	3 стадії + вирівнювання
Зовнішній датчик температури	є
Підтримка BMS	є CAN або RS485
Ефективність	
Максимальний ККД, %	97,6
ККД по євро класифікації, %	97
ККД MPPT, %	99,9
Температура експлуатації, С	-25 ... 60
Охолодження	примусове
Рівень шуму, dB	30
Ступінь захисту від навколишнього середовища	IP65
Фізичні характеристики	
Габаритний розмір, мм	658x422x281
Вага, кг	36.8

Накопичення електричної енергії відбувається в 4 акумуляторні батареї виробника Pylontech, модель US5000, ємність однієї 4,8 кВт·год, сумарна ємність 19,20 кВт·год. Акумуляторна батарея виробника Pylontech наведена на рисунку 5.3, технічні характеристики батареї наведені в таблиці 5.2.



Рисунок 5.3 – Акумуляторна батарея Pylontech US5000

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики виробника Pylontech

Найменування параметра	Значення
Бренд	Pylontech
Модель	US5000
Номінальна напруга	48 В
Тип акумулятора	LiFePO4
Ємність	100 А·год
Енергоємність	4800 Вт·год
Номінальна потужність	4800 Вт
Струм розряду	100 А
Інтерфейси зв'язку	CAN, RS485
Спосіб монтажу	На стійку
Комплектація	Набір кабелів
Маса	39,5 кг

Детально розглянемо роботу сонячної електростанції встановленої на даху будівлі, аналіз фактичних показників її функціонування дозволить оцінити ефективність використання сонячної енергії та визначити можливості часткового покриття електричних навантажень за рахунок ВДЕ.

Для оцінки роботи сонячної електростанції, проаналізуємо кількість сонячної генерації за 2025 рік. Для цього побудуємо помісячний графік за минулий рік, зображений на рисунку 5.4 та оцінимо кількість виробленої електричної енергії за обраний період, наведений в таблиці 5.3

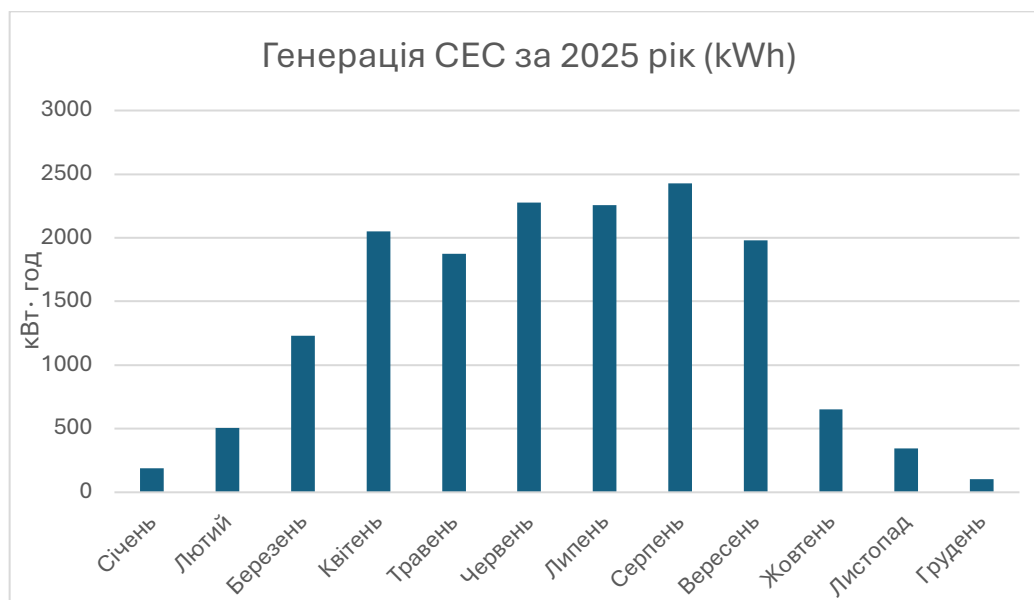


Рисунок 5.4 – Помісячний графік виробленої електроенергії за 2025 р.

Таблиця 5.3 – Показники СЕС за 2025 рік

Місяць	Вироблена електроенергія протягом місяця(кВт· год)	Тариф на електропостачання(грн)	Економічна вигода (грн)
Січень	188,5	8,9676	1690,39
Лютий	505,2	8,9676	4530,43
Березень	1228,1	8,9676	11013,11
Квітень	2048,4	8,9676	18369,23
Травень	1873,2	8,9676	16798,11
Червень	2276,6	8,9676	20415,64
Липень	2257	8,9676	20239,87
Серпень	2428,9	8,9676	21781,40
Вересень	1979,8	8,9676	17754,05
Жовтень	652,7	8,9676	5853,15
Листопад	343,6	8,9676	3081,27
Грудень	103,3	8,9676	926,35
Загалом за рік	15885,3		142453,02

Аналіз помісячних показників, занесених у таблицю 5, дозволяє оцінити загальну річну продуктивність сонячної електростанції та її сумарний економічний ефект. За 2025 за рахунок сонячної електростанції було згенеровано 15885,3 кВт·год електроенергії. Тим самим забезпечивши економію витрат на суму 142453,02 грн за діючим тарифом на електроенергію 8,9676 грн/кВт·год. З отриманих даних бачимо тенденцію, що пік генерації припадає на літні місяці з максимумом у серпні 2428,9 кВт·год, тоді як у зимовий період грудень — 103,3 кВт·год спостерігається суттєве зменшення виробництва електричної енергії через низьку інсоляцію та короткий світловий день.

Детально розглянемо режими роботи сонячної електростанції та навантаження на електричні мережі бібліотеки. Для цього проаналізуємо погодинні графіки генерації сонячної електростанції та електричне навантаження бібліотеки у робочі та вихідні дні, що дозволить визначити особливості роботи сонячної електростанції та зміну електричного навантаження в пікові години. Побудова графіків наведена на (рис.5.5, 5.6, 5.7, 5.8).

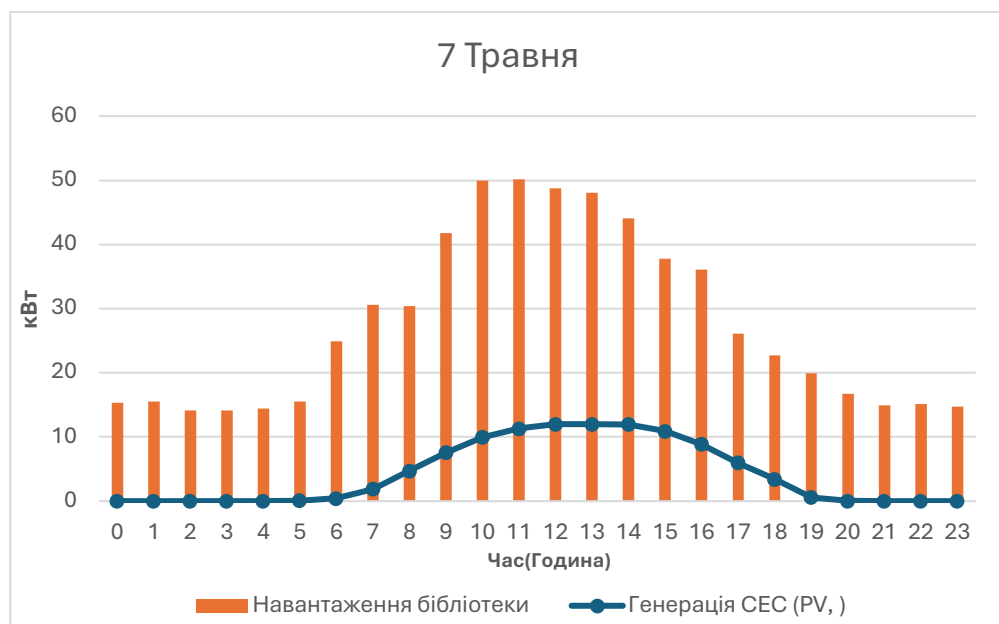


Рисунок 5.5 - ГЕН бібліотеки та генерація СЕС в робочий день(четвер)



Рисунок 5.6 - ГЕН бібліотеки та генерація СЕС в робочий день(понеділок)



Рисунок 5.7 - ГЕН бібліотеки та генерації СЕС в робочий день(п'ятниця)

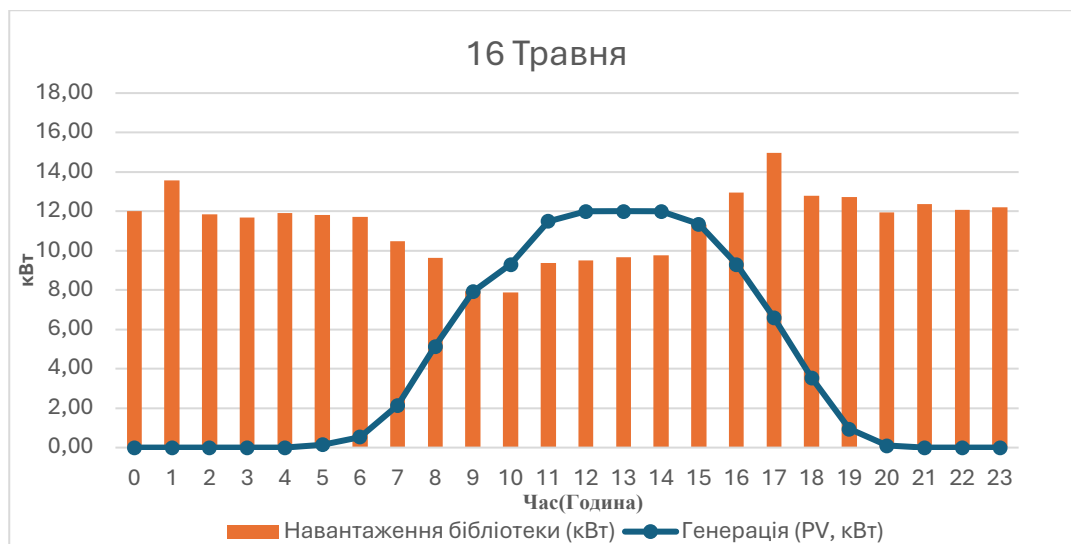


Рисунок 5.8 - ГЕН бібліотеки та генерації СЕС в вихідний день(субота)

Проаналізувавши погодинні графіки електричного навантаження бібліотеки та генерації СЕС, видно наявність збігу між періодами максимального навантаження та виробітку СЕС. Найбільша генерація спостерігається у денні години і припадає на збільшення інтенсивності навантаження на систему електропостачання будівлі, що дозволяє зменшити споживання і максимально ефективно використати сонячне випромінювання.

Збільшення потужностей фотовольтаїчних систем на даху бібліотеки обмежено наявністю вільних площ. Наразі використано близько 65% корисних площ. Конструкція даху має різномірне рішення та орієнтацію до сторін горизонту, але є можливість доповнити діючу СЕС новим рішенням, для забезпечення автономної роботи читального залу 4.2., в якому вже встановлено частково обладнання, а саме гібридний інвертор MUST 12 кВт та акумуляторні батареї ємністю 15 кВт · год, які були надані в межах благодійної допомоги. Зала періодичних видань НТБ КПІ є важливим інформаційним інструментом, оскільки забезпечує доступ до сучасних наукових журналів та фахових видань, тому пропонуємо облаштувати СЕС потужністю 9,46 кВт

5.2 Заходи підвищення автономної роботи об'єкта

Реалізацію цього проекту можемо запропонувати на базі фотовольтаїчних панелей виробника Longi , модель LR5-54HTD-430M .

Фотовольтаїчні панелі Longi Solar 430 W LR5-54HTD-430M, зображено на рисунку 5.9, технічні характеристики обраних панелей наведено в таблиці 5.9.



Рисунок 5.9 - Longi LR5-54HTD-430M

Таблиця 5.4 – Технічні характеристики Longi LR5-54HTD-430M

Параметр	Значення
Тип панелі	Монокристалічна
Номинальна потужність	430 Вт
ККД	22%
Напруга холостого ходу (V_{oc})	39.13 В
Струм короткого замикання (I_{sc})	14.15 А
Напруга за макс. потужності (V_{mp})	32.84 В
Струм за макс. потужності (I_{mp})	13.1 А
Максимальна напруга в системі	1500 В
Кількість фотоелементів	108 (6×18)
Вихідний роз'єм	MC4
Клас захисту	IP68
Робоча температура	від -40°C до +85°C
Розміри	1722 × 1134 × 30 мм
Маса	20.8 кг

Вибір фотовольтаїчних панелей Longi LR5-54HTD-430M обумовлений високими показниками ККД(22%), низьким температурним коефіцієнтом та тривалим гарантійним терміном експлуатації виробника/

Вибір конструкції кріплення панелей

Конструкцію кріплення обираємо з врахуванням особливостей покрівлі та ваги обраних модулів. Для запропонованого проєкту приймаємо баластне кріплення з оцинкованого металу, що забезпечує тривалий термін експлуатації та підходить для встановлення на плоскому даху будівлі бібліотеки.

Вибір кабелю підключення СЕС

Для з'єднання фотовольтаїчних модулів обираємо сонячний кабель перерізом 6 мм² у подвійній ізоляції виробника КВЕ, стійкий до ультрафіолету, озону та вологи. Відповідає вимогам ДСТУ EN 50618:2018 [10].

Економічна складова

Зведений кошторис капітальних витрат на реалізацію проєкту наведено в таблиці 5.6. Вартість інверторів не враховується, бо передані в межах безвідплатної благодійної ініціативи.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

Таблиця 5.5 – Кошторис капітальних витрат на реалізацію проекту

Найменування обладнання та робіт	Опис та характеристики	Кількість	Ціна за од., грн	Загальна вартість, грн
Панелі	LR5-54HTD-430M (430 Вт)	22 шт.	3 500	77 000
Інвертор MUST	PH11-12KL3-EU (12 кВт)	1 шт.	Благодійність	0
Акумулятори	Pylontech US5000	1 комплект	Благодійність	0
Баластне кріплення	Алюмінієва система на плоский дах	22 шт.	1 650	36 300
Сонячний кабель КВЕ	КВЕ Solar DB+ 6 мм ² (Німеччина)	150 м	51,8	7 770
Комутаційне та захисне обладнання	ПЗП, запобіжники, MC4-EVO2, щит	1 комплект	12 000	12 000
Монтажні та пусконаладжувальні роботи	Монтаж	Послуга	35 000	35 000
Капітальні витрати		-	-	168 070

Для визначення прогнозованих річних показників сонячної генерації для запропонованої сонячної електростанції на базі фотовольтаїчних панелей виробника Longi, скористаємося програмним забезпеченням PVGIS. Інтерфейс PVGIS, зображено на рисунку 5.10.

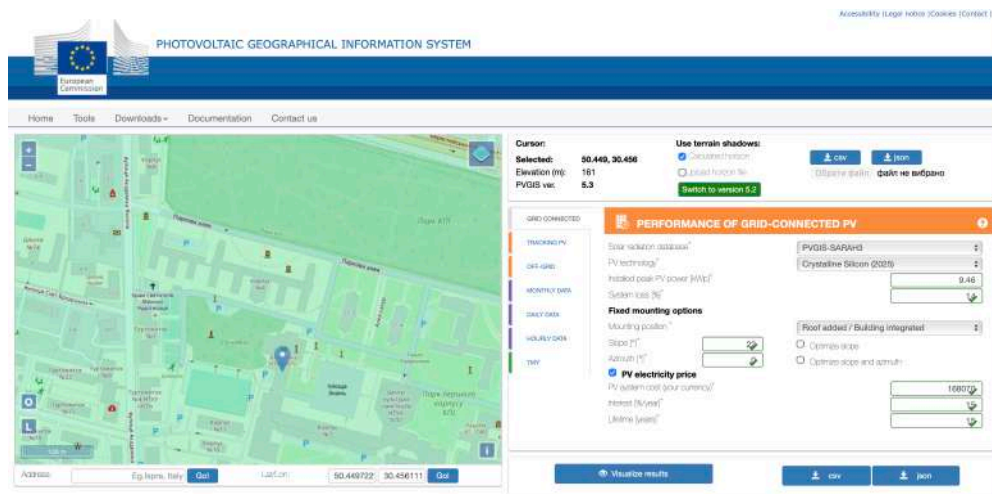


Рисунок 5.10– Інтерфейс програмного забезпечення PVGIS

З отриманих даних побудуємо помісячний графік, прогнозованої сонячної генерації. Побудований графік наведено на рисунку 5.11. Річні показники генерації наведено в таблиці 5.6.

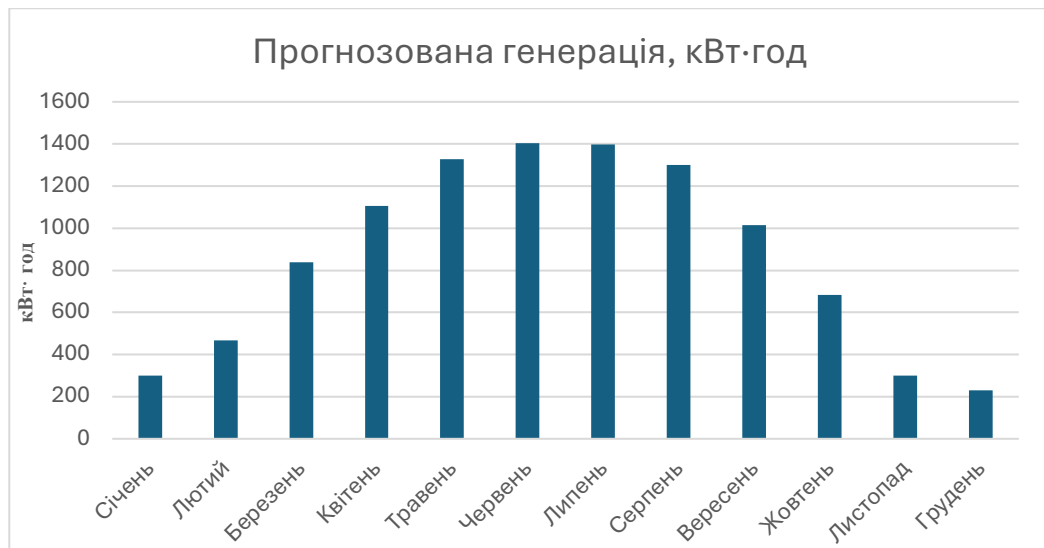


Рисунок 5.11 – Прогнозована генерація СЕС

Таблиця 5.6 – Річні показники генерації СЕС

Місяць	Прогнозована генерація, кВт·год	Тариф на електроенергію, грн/кВт·год	Економічна вигода, грн
Січень	298,8	8,9676	2 679,52
Лютий	466,8	8,9676	4 186,08
Березень	837,3	8,9676	7 508,57
Квітень	1104,4	8,9676	9 903,82
Травень	1328,8	8,9676	11 916,15
Червень	1402,3	8,9676	12 575,27
Липень	1398,1	8,9676	12 537,60
Серпень	1301,5	8,9676	11 671,33
Вересень	1014	8,9676	9 093,15
Жовтень	682,6	8,9676	6 121,28
Листопад	301,3	8,9676	2 701,94
Грудень	229	8,9676	2 053,58
Разом за рік	10 364,9	—	92 948,29

Простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{168\,090}{92\,948} = 1,81 \text{ року}$$

Висновки по 5 розділу:

Для вже встановленої сонячної електростанції за результатами проведеного аналізу роботи встановлено, що за 2025 рік було вироблено 15 885,3 кВт·год електричної енергії. Досягнутий економічний ефект від заміщення електроенергії з мережі генерацією СЕС склав 142 453,02 грн при діючому тарифі 8,9676 грн/кВт·год.

Аналіз погодинних графіків електричного навантаження будівлі та генерації СЕС для характерних робочих і вихідних днів підтвердив ефективний збіг пікового виробітку та пікового споживання в денні години. Це дозволяє максимально покривати потреби будівлі за рахунок власної генерації, зменшивши навантаження на діючі електричні мережі.

Запропоновано встановлення додаткової сонячної генерації потужністю 9,46 кВт з підключенням до вже наявного обладнання в читальному залі 4.2, а саме гібридного інвертора MUST PH11-12KL3-EU (12 кВт) та акумуляторів Rulontech US5000 загальною ємністю 15 кВт·год, отриманих у межах благодійної допомоги.

Прогнозована річна генерація отримана при використанні програмного забезпечення від PVGIS спроектованої СЕС становить 10 364,9 кВт·год, що при діючому тарифі на електроенергію дає щорічну економію 92 948,29 грн. Капітальні витрати на реалізацію проєкту з урахуванням усіх складників складають 168 070 грн, отриманий простий термін окупності в розмірі 1,81 року свідчить про доцільність впровадження даного проєкту.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

6.1 Загальна характеристика об'єкта розміщення та вимоги до виробничого середовища

У цьому проєктному рішенні розглядається безпека під час експлуатації системи накопичення енергії на основі літій-залізо-фосфатних (LiFePO₄) акумуляторних модулів Pylontech US5000, які введені в експлуатацію в об'єкті дослідження Науково-технічна бібліотека ім.Г.І Денисенка

Впроваджене рішення в читальному залі 4.2, представлене на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 – Розміщення акумуляторних батарей в читальному залі 4.2

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Клочан Д.О			ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ	Літ.	Арк.
Перевір.		Веремійчук Ю. А.					Акрушів
Реценз.							
Н. Контр.						НН ІЕЕ, кафедра ЕП	
Затверд.							

Класифікацію встановлених акумуляторних батарей за видом розміщення, категорією з електробезпеки та категорією з пожежної безпеки наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Класифікація встановлених акумуляторних батарей

Назва обладнання	Вид розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія з електробезпеки	Категорія з пожежної безпеки, клас зони
Акумуляторні батареї Pylontech US5000	Відкрита підлогова установка (вертикально на боці) без захисної шафи	Читальний зал 4.2; публічний простір, вільний доступ відвідувачів без ЕТ-підготовки	Приміщення з підвищеною небезпекою (наявність струмопровідних підлог, заземлених систем)	Категорія В, пожежонебезпечна зона класу П-Па (наявність книг, дерев'яних меблів та паркету)

6.2 Технічні характеристики акумуляторних батарей

Акумуляторний модуль Pylontech US5000 розроблений за технологією LiFePO₄, що забезпечує високу термічну стабільність і тривалий циклічний ресурс, але варто зазначити, що він є джерелом постійного струму на базі хімії. Зовнішній вигляд акумуляторного модуля показано на рисунку 6.2, а його технічні характеристики наведено в таблиці 6.2.



Рисунок 6.2 – Акумуляторний модуль Pylontech US5000. [8]

Таблиця 6.2 – Технічні характеристики акумуляторних модулів Pylontech

Технічна характеристика акумуляторного обладнання	Одиниця виміру	Значення показника
Маса одного акумуляторного блока	кг	39,7
Габаритні розміри модуля	мм	442 × 420 × 161
Допустима робоча температура під час заряджання	°C	від 0 до +50
Допустима робоча температура під час розряджання	°C	від -10 до +50
Оптимальний температурний діапазон експлуатації	°C	від +15 до +25

6.3 Організація обслуговування, перелік робіт та кваліфікація

Особи, які здійснюють нагляд за безпечним виконанням робіт на електроустановках АКБ, мають належати до кваліфікованих електротехнічних працівників і мати групу з електробезпеки не нижче IV, а виконавці — не нижче III. Регламентні роботи та вимоги до складу обслуговуючого персоналу наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Перелік робіт та вимоги до складу обслуговуючого персоналу

Найменування та опис робіт	Спосіб виконання та заходи безпеки	Періодичність та тривалість робіт	Склад бригади виконавців	Мінімальна група з електробезпеки
Поточний контроль електричних з'єднань, підтяжка силових контактів та вимірювання опору	Використання сертифікованого ізольованого інструменту до 1000 В	Один раз на 6 місяців, тривалість — 4 години	2 особи (допускач та виконавець)	Керівник робіт — IV група, виконавець — не нижче III групи
Періодичний візуальний огляд, контроль індикації та температурного режиму	Візуальний контроль світлодіодів, перевірка відсутності пилу та бруду	Щомісячно, тривалість — 1 година	1 особа (черговий електротехнік)	Не нижче III групи з електробезпеки
Комплексне технічне обслуговування в робочій зоні	Огородження зони доступу на відстань 1.5 м із встановленням знаків безпеки	Один раз на рік відповідно до графіка обслуговування	Не менше 2 осіб (наглядач + виконавець)	Виконавець — не нижче III групи, наглядач — не нижче IV групи

6.4 Моніторинг стану виробничого середовища та умов праці за допомогою методу Елмері

Для оцінювання фактичного стану безпеки робочого місця застосовано метод Елмері, що передбачає перевірку відповідності робочого середовища встановленим вимогам за переліком контрольних пунктів. Результати спостереження та виявлені невідповідності наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Зведена анкета оцінювання стану безпеки за методом Елмері

Об'єкт спостереження та критерії відповідності нормам безпеки	Оцінка (+)	Оцінка (-)	Опис фактичного стану та виявлених невідповідностей
Ширина проходу перед акумуляторами становить не менше 1.0 м	+		Вимогу дотримано, забезпечено вільний простір для ТО.
Висота проходу обслуговування у просвіті становить не менше 1.9 м	+		Висота проходу відповідає вимогам ПУЕ та будівельним нормам.
Відсутність сторонніх предметів та матеріалів у зоні обслуговування	+		Робочий простір очищений від сміття та сторонніх речей.
Використання персоналом перевірених діелектричних рукавичок	+		Рукавички мають чинний штамп про періодичне випробування.
Наявність на робочому місці затверджених інструкцій з охорони праці	+		Тексти інструкцій розміщені на інформаційному стенді.
Використання інструменту з неушкодженою ізоляцією руків'їв	+		Інструменти сертифіковані, ізоляція витримує до 1000 В.
Попереднє вирівнювання заряду модулів при паралельному підключенні	+		Різницю в рівні заряду модулів понад 10% SOC при підключенні не виявлено.
Обмеження доступу відвідувачів бібліотеки до зони розміщення АКБ		-	Відсутнє
Відсутність пилу, бруду та окислень на силових клеммах батарей	+		Поверхні модулів сухі та очищені від забруднень.
Підлога в приміщенні чиста, суха та виконана з негорючого матеріалу		-	Горючий дерев'яний паркет без вогнетривкої підкладки.
Відсутність горючих матеріалів (книги, папір) у радіусі 1,5 від шафи АКБ		-	Недотримання нормативних вимог

Продовження до таблиці 6.4

Відсутність деформацій та механічних пошкоджень корпусів модулів	+		Корпуси цілісні, ознак здуття чи тріщин не виявлено.
Наявність та працездатність світлодіодних індикаторів RUN і ALARM	+		Світлодіоди RUN відображають штатний режим.
Наявність захисного заземлення корпусу кожного модуля	+		Заземлювальні провідники приєднані до шини РЕ.
Надійність гвинтових з'єднань та відсутність ознак нагріву контактів	+		Ознак термічного розплавлення або ослаблення клем не зафіксовано.
Відсутність тимчасових електричних з'єднань у колах постійного струму	+		Застосовано мідні перемички з комплекту постачання.
Температура повітря у зоні розташування АКБ (+15 °С... +25 °С)	+		Автоматично підтримується побутовим кондиціонером залу.
Рівень відносної вологості повітря не перевищує 80% (без конденсації)	+		Вологість становить 55%, небезпека конденсації відсутня.
Відсутність джерел прямого ультрафіолетового чи теплового випромінювання	+		Відстань до радіаторів > 0,5 м.
Рівень шуму в приміщенні не перевищує нормативні 40 дБА	+		Модулі мають природне самоохолодження, робочий шум повністю відсутній.
Висота розташування органів керування та клем не перевищує 1.8 м	+		Розміщені на підлозі, доступ вільний.
Виключення надмірного фізичного навантаження при монтажі важких модулів		-	Підйом блоку масою 39,7 кг здійснювався вручну без засобів малої механізації.
Поверхня підлоги рівна, без порогів та перепадів висоти понад 10 мм	+		Забезпечено гладкий шлях для безпечного пересування вантажних візків.
Робоче та аварійне освітлення забезпечує нормовану видимість	+		Світильники чисті, рівень освітленості відповідає санітарним нормам.

Продовження до таблиці 6.4

Наявність первинних засобів пожежогасіння (вогнегасник ВВК-5)	+		Вогнегасник ВВК-5 опломбований
Ефективність природної вентиляції читального залу для підтримання умов	+		Забезпечується загальнообмінна вентиляція будівлі бібліотеки.
Наявність засобів нейтралізації електроліту та першої допомоги	+		У приміщенні лабораторії є аптечка та нейтралізувальний 5%-вий розчин соди.
Наявність інтеграції сигналізації АКБ із загальною системою сигналізації НТБ		-	Відсутня координація між індикацією ВМС АКБ та черговим персоналом бібліотеки.

Визначення індексу Елмері та оцінювання ефективності системи охорони праці

Для визначення рівня безпеки на робочому місці обчислюється Індекс Елмері, що розраховується за формулою :

$$IE = \frac{\text{Кількість пунктів з оцінкою "Позитивно"}}{\text{загальна кількість пунктів}}$$

$$IE = \frac{20}{28} \cdot 100 = 82,1 \%$$

Значення індексу безпеки 82,1%, що класифікує стан охорони праці на об'єкті дослідження як "задовільний".

6.5 Оцінювання ризику на робочому місці

Оцінка базового ризику для працівників та відвідувачів, що знаходяться в зоні розташування систем накопичення енергії, розраховується за формулою :

$$R = D_i \cdot B_i \cdot P_i$$

де R_i - показник ступеня ризику (в балах) ;

D_i - ступінь важкості наслідків небезпечної події (від 1 до 5 балів) ;

B_i - частота або тривалість перебування в зоні дії небезпеки (від 1 до 3 балів);

P_i — ймовірність виникнення небезпечної події (від 1 до 5 балів);

Виконаємо кількісне оцінювання базових ризиків та занесемо отримані значення до таблиці 6.5

Таблиця 6.5 – Кількісне оцінювання базових ризиків в умовах об'єкту дослідження

Опис небезпечний чинників	D_i , бали	B_i , бали	P_i , бали	R , бали	Категорія та висновок
Термічний удар та опіки електричною дугою при КЗ силових клем підлогової СНЕ	4	3	3	24	Високий ризик. Необхідний металевий захисний корпус.
Гостре інгаляційне отруєння газами при тепловому розгоні	5	3	1	15	Середній ризик. Знижується за рахунок прецизійної роботи BMS та вентиляції будівлі.
Травмування опорно-рухового апарату при падінні важких модулів	3	2	3	18	Середній ризик. Необхідне залучення підйомників під час заміни та встановлення модулів.
Поширення пожежі на бібліотечні фонди та дерев'яний паркет при тепловому розгоні СНЕ	5	3	3	45	Високий ризик. Необхідні вогнетривка підкладка та тепловий екран, для СНЕ

Відповідно до проведеного аналізу, можемо зробити висновок, що відкрите підлогове розміщення батареї на горючому дерев'яному паркеті заборонено.

6.6 Вибір технічних засобів і організаційних заходів безпеки роботи

Для перешкоджання високим пожежним та електричним ризикам відкритої установки акумуляторних батарей, розташованих у читальному залі можемо запропонувати такий набір рішень:

1. Встановлення захисного огородження струмовідних частин

Проектне рішення: Демонтувати акумуляторні блоки з дерев'яного паркету та розмістити їх усередині спеціальної захисної перфорованої металевої шафи з рівнем захисту оболонки не нижче IP44, двері якої зачиняються на механічний замок.

Згідно з вимогами [11], у житлових та громадських приміщеннях пристрої, що служать для огородження і закриття струмовідних частин, мають бути виключно суцільними для запобігання доступу сторонніх осіб. Це рішення також відповідає безпеки стаціонарних акумуляторних систем згідно з [12], які зобов'язують обмежувати доступ сторонніх осіб у публічних зонах та забезпечувати ступінь захисту оболонки не нижче IP44.

2. Встановлення вогнетривкої підкладки та теплоізоляційного екрана

Проектне рішення: Під каркасом металевої шафи пропонується встановити суцільний сталевий лист, з мінімальною товщиною 2 мм, з виступом за межі корпусу шафи на 100 мм з усіх боків. Сталевий лист монтується поверх діелектричного гумового килимка товщиною 6 мм. Зі сторони, де знаходиться стелаж з паперовим фондом, монтується вертикальний вогнетривкий теплоізоляційний екран з базальтового картону товщиною не менше 10 мм.

Обране проектне рішення, дотримується вимог пожежної безпеки, згідно з [12], який вимагає термічного ізолювання від суміжних пожежонебезпечних середовищ.

3. Нанесення маркування та знаків безпеки

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

Проектне рішення: Нанести на двері захисної металевої шафи попереджувальні знаки: знак «Обережно! Електрична напруга» і «Небезпека пожежі». Закріпити табличку із значенням номінальної напруги постійного струму (48 В), телефонами пожежно-рятувальної служби (101, 112) та ПІБ особи, відповідальної за експлуатацію.

Обов'язкове нанесення маркування обладнання під напругою та зон з підвищеною небезпекою регламентується [12] та [13].

4. Визначення відповідального за експлуатацію

Проектне рішення: Наказом по НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» призначити відповідальну особу відповідальну за безпечне використання обладнання з числа електротехнічного персоналу з групою з електробезпеки не нижче IV. Для ведення експлуатаційного журналу та контролю виконання вимірювань опору заземлення.

Вимогу встановлено Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів [15], а також [12], які зобов'язують призначити відповідальну кваліфіковану особу для нагляду за електрообладнанням.

5. Захисне заземлення акумуляторних модулів

5.1 Заземлення між модулями

Захисне заземлення між встановленими акумуляторними модулями виконано послідовним каскадом.

5.2 Підключення до РЕ- шини Науково – технічної бібліотеки

Від крайнього акумуляторного модуля відходить зведений провідник РЕ, що включається до розподільного щита, а саме шини захисту, захисного заземлення РЕ.

5.3 Заземлення захисної металевої шафи

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115

При встановленні акумуляторного блоку в захисну шафу, металевий каркас шафи та її дверцята окремо приєднуються мідним провідником перерізом не менше 6 мм² до цієї ж РЕ-лінії для вирівнювання потенціалів та забезпечення надійного захисту будівлі Науково – технічної бібліотеки ім. Г.І.Денисенка

Мінімальний переріз мідного заземлювального провідника згідно з ПУЕ[11] має бути не меншим ніж 6 мм². Опір заземлювального пристрою будівлі бібліотеки, до якого приєднано систему, $R < 4$ Ом відповідно до [11].

6. Системи аварійного відключення акумуляторних модулів:

BMS - електронний блок, який постійно контролює роботу акумулятора. Вона захищає батарею від пошкоджень, відстежує стан, балансує комірки та забезпечує безпечну експлуатацію і довговічність.

Інтегрована в акумуляторні модулі система BMS, забезпечує захист від надструму розряду, температурний захист на розряд та заряд, а також від надмірного розряду, зведені показники та параметри відключень, занесені в таблицю 6.6.

Таблиця 6.6 – Параметри аварійного відключення системи BMS

Вид захисту	Умова спрацювання	Параметр відключення
Захист від надструму розряду	Струм понад 100 А; піковий 101–120 А понад 15 хв; 121–200 А понад 15 с	Миттєве розмикання силового кола
Температурний захист (розряд)	Температура комірок понад +55 °С	Розмикання силового кола
Температурний захист (заряд)	Температура комірок понад +50 °С	Розмикання силового кола
Захист від надмірного розряду	Напруга комірки нижче 2,5 В (модуль 40,5 В)	Відключення від навантаження
Захист від перезаряду	Напруга комірки понад 3,65 В (модуль 54 В)	Відключення від джерела заряду

Проектне рішення: Між модулями та інвертором, встановити окремий двополюсний автоматичний вимикач постійного струму із номінальним робочим струмом 125 А, напругою не менше 60 В, для захисту встановленого обладнання від КЗ.

6.7 Засоби індивідуального захисту та електрозахисту

Засоби індивідуального захисту та електрозахисні засоби передбачені виключно кваліфікованим персоналом, які виконують монтаж, підключення, вимірювальні роботи та періодичне обслуговування акумуляторних модулів.

Вимоги до застосування ЗІЗ та ЕЗЗ при роботі з акумуляторними батареями регламентуються згідно [14] та [12]. Перелік засобів індивідуального захисту описано в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Перелік засобів індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Виробник/ Модель	Термін використання	Технічні характеристики
Захисне взуття	Захист ніг від травм при падінні модулів	МЗ «Електра», черевики	12 місяців	Захисний металевий підносок до 200 Дж
Захист рук	Захист шкіри від хімічних речовин та опіків	Рукавички кислотостійкі	До зносу	Неопрен, стійкий до кислот та лугів
Захист очей	Захист від УФ- випромінювання та бризок електроліту	Окуляри захисні закриті	До зносу	Ударостійкий полікарбонат, бічний захист

Перелік електрозахисних засобів, необхідних для роботи під напругою, занесено в таблицю 6.8.

Таблиця 6.8 – Перелік електрозахисних засобів

Вид ЕЗЗ	Найменування	Технічні характеристики	Призначення та норми періодичних випробувань
ЕЗЗ індивідуального захисту	Діелектричні рукавички	Безшовні, з натурального латексу, клас 0	Захист рук від контакту з клемами 48 В. Випробування кожні 6 місяців.
Контрольно-сигнальні прилади	Двополюсний показчик напруги постійного струму	Діапазон вимірювань 12 ~ 1000 В	Перевірка відсутності напруги на вихідних шинах перед ТО. Випробування кожні 12 місяців.
Захисні пристосування	Слюсарно-монтажний інструмент з ізовольованими ручками	Діелектричне покриття руків'їв до 1000 В	Запобігання виникненню КЗ при монтажі силових перемичок.

6.8 Пожежна безпека у читальному залі

Для запобігання пожежі в читальному залі 4.2 вже були реалізовані такі заходи:

- Система заземлення: Підключено до заземлювального контуру будівлі
- Заміна порошкового вогнегасника на вуглекислотний (ВВК-5)

Проектні рішення для підвищення пожежної безпеки в читальному залі:

- Облаштування акумуляторних модулів усередині спеціальної захисної перфорованої металевої шафи з рівнем захисту оболонки не нижче IP44.
- Облаштування вогнетривкої підкладки та теплоізоляційного екрана шляхом встановлення під металевий каркас шафи суцільного сталевго листа товщиною не менше 2 мм з виступом за межі корпусу на 100 мм з усіх боків, укладеного поверх діелектричного гумового килимка товщиною 6 мм, а також монтажу з боку дерев'яного книжкового стелажа вертикального вогнетривкого теплоізоляційного екрана з базальтового картону товщиною не менше 10 мм.

- Організаційні пожежні заходи: Для бібліотекарів та технічного персоналу було проведено інструкцію щодо дій при спрацюванні червоного світлодіодного індикатора “ALARM” на акумуляторних модулях або при появі перших ознак диму.

Інструкція передбачає:

- Термінову евакуацію всіх відвідувачів читального залу.
- Повне знеструмлення системи накопичення енергії силовим рубильником на зовнішній панелі шафи.
- Виклик оперативно-рятувальної служби ДСНС за телефоном (101,112).
- Локалізація початкового осередку за використання вогнегасника ВВК-5 після знеструмлення.

Перелік первинних засобів пожежогасіння, передбачених у приміщенні читального залу, наведено в таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Первинні засоби пожежогасіння в приміщенні читального залу

Тип та марка пожежного інвентарю	Технічні характеристики та параметри	Сфера та критерії застосування, місце розміщення
Вуглекислотний вогнегасник ВВК-5	Маса заряду CO ₂ — 5 кг, довжина струменя — 5 м	Гасіння осередків пожеж під напругою до 1000 В; мінімальна шкода бібліотечним фондам.
Ящик із сухим піском та совкова лопата	Об'єм піску — 0.5 м ³ , вологість не більше 5%	Локалізація розливів гарячого хімічно активного електроліту в аварійних ситуаціях. Зберігати в технічному приміщенні.

6.9 Розрахункове завдання

Розрахунок загальної кількості вогнегасників для поверху

Відповідно до [16], для громадських будівель із площею поверху більше 100 м², кількість вогнегасників на поверсі визначається з розрахунку:

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

1 кг вогнегасної речовини на кожні 10 м² площі підлоги

Розрахуємо відповідну масу вогнегасної речовини:

$$M = \frac{S_{\text{підлоги}}}{10} \cdot 1$$

Відповідно для площі 970 м²:

$$M = \frac{970}{10} \cdot 1 = 97 \text{ кг}$$

Громадські будівлі на кожному поверсі повинні мати не менше двох переносних вогнегасників з масою заряду вогнегасної речовини 5 кг і більше. Визначимо загальну кількість переносних вогнегасників із зарядом масою 5 кг для забезпечення нормативної потреби поверху:

$$N_{\text{вогн}} = \frac{97}{5} = 19,4 \approx 20 \text{ шт.}$$

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

Висновки до розділу 6:

За результатами анкетного моніторингу безпеки у читальному залі індекс безпеки за методом Ельмері становить 82,1%. Це відповідає «задовільному» рівню, однак наявність п'яти пожежних та електричних порушень роблять експлуатацію системи у поточному стані забороненою. Моніторинг виявив п'ять основних недоліків.

Відповідно до отриманих результатів було запропоновано комплексні заходи, що спрямовані на покращення умов охорони праці та пожежної безпеки.

Був проведений розрахунок первинних засобів пожежогасіння. Для всього поверху площею 970 м² необхідно близько 97 кг вогнегасної речовини, що відповідає 20 переносним вогнегасникам по 5 кг кожен..

Отже, первинне встановлення акумуляторних батарей було спроєктоване з порушеннями вимог з електробезпеки та пожежної безпеки . Після впровадження рекомендованих технічних та організаційних заходів індекс безпеки системи зросте до 100%, що забезпечить відповідність установки нормам безпеки.

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломного проєкту було проведено комплексний аналіз енергетичної ефективності Науково-технічної бібліотеки ім. Г. І. Денисенка НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Дослідження оцінку технічного стану будівлі та інженерних систем, аналіз споживання енергетичних ресурсів, визначення ефективності використання електричної та теплової енергії, а також розроблення комплексу заходів, спрямованих на зниження енергоспоживання та підвищення рівня енергоефективності об'єкта. Проведений аналіз показав, що будівля має значний потенціал для модернізації, оскільки значна частина конструкцій та обладнання морально і фізично застаріла та не відповідає сучасним вимогам енергоефективності.

В першому розділі дослідження було визначено, що будівля бібліотеки була введена в експлуатацію у 1980 році та має значний ступінь фізичного зносу огорожувальних конструкцій та інженерних систем. Встановлено, що без активного впровадження енергозберігаючих заходів витрати за експлуатацію будівлі будуть зростати.

У другому розділі виконано аналіз системи електропостачання будівлі та побудовані графіки електричних навантажень. Встановлено, що найбільшу частку електроспоживання формують електричні засоби опалення, система освітлення та офісно-комп'ютерна техніка. Інструментальне вимірювання системи освітлення виявило нерівномірний розподіл по поверхах та недотримання нормованих значень у ряді зон. Розроблено та економічно обґрунтовано заміну 137 люмінесцентних ламп та встановлення датчиків руху в коридорах бібліотеки.

У третьому розділі виконано дослідження рівня енергетичної ефективності будівлі відповідно до чинних нормативних вимог. За допомогою розрахунків було встановлено, що наявні огорожувальні конструкції не відповідають вимоги чинним ДБН. Запропоновано комплекс заходів термомодернізації будівлі спрямовані на зменшення тепловтрат та

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

покращення мікроклімату будівлі. Виконані техніко – економічні розрахунки, отримані результати свідчать про доцільність впровадження запропонованих заходів.

У четвертому розділі для впровадження системи енергоменеджменту побудовано базовий рівень споживання електричної енергії на основі регресійного аналізу за 2025 рік з урахуванням градусодіб опалення та відвідуваності бібліотеки. Отримане рівняння може бути використане для нормування та моніторингу споживання в рамках системи енергетичного менеджменту.

У п'ятому розділі оцінено роботу сонячної електростанції встановленої на даху будівлі у 2024 році. Отримані результати підтвердили перспективність використання відновлюваних джерел енергії для покриття частини потреб будівлі в електричній енергії. Також було запропоновано розширення СЕС та виконано розрахунок прогнозованої кількості генерації.

У шостому розділі проведено оцінку умов охорони праці та пожежної безпеки при експлуатації акумуляторних батарей. Встановлено, що первісне розміщення акумуляторних модулів було виконано з порушенням вимог, що унеможлиблює підключення фотовольтаїчних панелей до усунення виявлених недоліків. Після обробки результатів моніторингу за методом Елмері були визначенні конкретно наведені порушення електричної та пожежної безпеки. Після впровадження запропонованого комплексу технічних та організаційних заходів індекс безпеки системи зростає до 100%, що стає аргументом для подальшого підключення запропонованих фотовольтаїчних панелей до обладнання читального залу 4.2.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель
2. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання
3. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія
5. Енергосервісні контракти та послуги у комунальній сфері: Розрахункова робота [Електронний ресурс] : рек. до виконання розрахунк. роботи : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.:М.М.Шовкалюк, О.І.Яценко – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 68 с.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/77242>
6. Підготовка бакалаврських кваліфікаційних робіт. Організація, вимоги до структури, змісту та оформлення [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Дерев'янка Д.Г., Бориченко О.В., М.М. Шовкалюк – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 63 с.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52305>
7. ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT)
8. PYLONTECH US5000 <https://www.nkon.nl/pylontech-us-5000-48-v.html>

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк. 124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення , https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
- 10.ДСТУ EN 50618:2018 (EN 50618:2014, IDT), https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=79241
- 11.Правила улаштування електроустановок, <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>
- 12.ДСТУ EN IEC 62485-5:2022 Вимоги щодо безпеки для вторинних батарей і батарейних установок. Частина 5. Безпечна експлуатація стаціонарних літій-іонних батарей (EN IEC 62485-5:2021, IDT; IEC 62485-5:2020, IDT), https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106550
- 13.ДСТУ EN ISO 7010:2019, Графічні символи. Кольори та знаки безпеки, https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83263
- 14.ДСТУ EN IEC 62485-2:2022, Вимоги щодо безпеки для вторинних батарей і акумуляторних установок. Частина 2. Стаціонарні батареї https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106579
- 15.НПАОП 40.1-1.21-98, <https://pozhezhni-systemy.org.ua/pravyla-tehnichnoyi-ekspluatatsiyi-elektroustanovok-spozhyvachiv/>
- 16.НАПБ Б.01.008-2018, <https://antifire.ua/pravyla-ekspluatatsii-vohnehasnykiv-n25/>
- 17.Веремійчук Ю.А., Опришко В.П., Притискач І.В., Ярмолюк О.С. Моделі та методи управління процесами енергозабезпечення енергетичних спільнот. К. : 7БЦ, 2025. – 201 с. ISBN 978-617-549-516- DOI: <https://doi.org/10.20535/978-617-549-516-2>
- 18.А. Пустовий, Ю. Веремійчук Особливості функціонування сонячної генерації малої потужності в ОЕС України в умовах зеленої трансформації ЕНЕРГЕТИКА І АВТОМАТИКА № 1 (2024) ISSN: 2223-0858 DOI: [http://dx.doi.org/10.31548/energiya1\(71\).2024.102](http://dx.doi.org/10.31548/energiya1(71).2024.102) С. 102-113
- 19.Енергоефективні технології споживання електричної енергії. Лабораторний практикум за темою «Освітлення» [Електронний

ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Системи забезпечення споживачів електричною енергією», «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А. В. Чернявський, Ю. А. Веремійчук, О. О. Закладний, Г. І. Черкашина.– Електронні текстові дані (1 файл: 2,62 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 73 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52411>

20. Енергетичний менеджмент. Частина 1: практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Бориченко, Ю. А. Веремійчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,08 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 50 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48735>

					ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		126

ДОДАТОК А

Таблиця 2.3 – Зведений повірочний розрахунок навантажень будівлі

4	№ п/п	Назва споживача (ЕІП)	Рн, кВт	N, од.	Рн.Σ, кВт	Кв	cosφ	tanφ	Рн, кВт	Qп, квар	Sn, кВА	Тр, год	W, кВт·год
5	1	Обігрівачі та кондиціонери			118,2				82,74	13,19	83,78		126798
6	1.1	Обігрівачі	1,5	57	85,5	0,7	1	0	59,85	0	59,85	1500	89775
7	1.2	Тепловентилятори	1,5	9	13,5	0,7	0,95	0,33	9,45	3,11	9,95	1500	14175
8	1.3	Кондиціонери	1,2	16	19,2	0,7	0,8	0,75	13,44	10,08	16,8	1700	22848
9	2	Освітлення бібліотеки			39,93				19,64	8,46	21,38		54726,7
10	2.1	T8 18W	0,018	703	12,654	0,4	0,92	0,43	5,06	2,18	5,51	2160	10933,1
11	2.2	LED 24W	0,024	24	0,576	0,4	0,92	0,43	0,23	0,1	0,25	2160	497,7
12	2.3	LED 18 w	0,018	330	5,94	0,6	0,92	0,43	3,56	1,53	3,88	3500	12474
13	2.4	LED 36w	0,036	199	7,164	0,6	0,92	0,43	4,3	1,85	4,68	3500	15044,4
14	2.5	LED 4x4 120w	0,12	18	2,16	0,6	0,92	0,43	1,3	0,56	1,41	3500	4536
15	2.6	Люмінесцентна 36W	0,036	137	4,932	0,4	0,92	0,43	1,97	0,85	2,15	2160	4261,3
16	2.7	Люмінесцентна 18W	0,018	6	0,108	0,4	0,92	0,43	0,04	0,02	0,05	2160	93,3
17	2.8	Лампочка 10W Led	0,01	42	0,42	0,7	0,92	0,43	0,29	0,13	0,32	2160	635
18	2.9	T8 36W	0,036	96	3,456	0,4	0,92	0,43	1,38	0,59	1,51	2160	2986
19	2.10	Лампочка 12W LED	0,012	210	2,52	0,6	0,92	0,43	1,51	0,65	1,65	2160	3265,9
20	3	Освітлення Clust Space			4,218				2,493	1,071	2,71		7480,5
21	3.1	D20, точковий	0,018	14	0,252	0,55	0,92	0,43	0,14	0,06	0,15	3000	415,8
22	3.2	EAE STL mini 24W	0,024	80	1,92	0,6	0,92	0,43	1,15	0,5	1,25	3000	3456
23	3.3	EAE STL mini 33W	0,033	18	0,594	0,6	0,92	0,43	0,36	0,15	0,39	3000	1069,2
24	3.4	EAE STL 37W	0,037	8	0,296	0,65	0,92	0,43	0,19	0,08	0,21	3000	577,2
25	3.5	трековий, 7,8W	0,008	23	0,184	0,5	0,92	0,43	0,09	0,04	0,1	3000	276
26	3.6	Підвісний, точковий D120	0,015	20	0,3	0,55	0,92	0,43	0,17	0,07	0,18	3000	495
27	3.7	Накладний, точковий D200	0,018	9	0,162	0,55	0,92	0,43	0,09	0,04	0,1	3000	267,3
28	3.8	Підвісний, кільце, D600	0,045	2	0,09	0,65	0,92	0,43	0,06	0,03	0,06	3000	175,5
29	3.9	Підвісний, кільце, D880	0,08	2	0,16	0,65	0,92	0,43	0,1	0,04	0,11	3000	312
30	3.10	Підвісний, кільце D1200	0,1	1	0,1	0,7	0,92	0,43	0,07	0,03	0,08	3000	210
31	3.11	EAE GALIS MINI 20W	0,02	4	0,08	0,6	0,92	0,43	0,05	0,02	0,05	3000	144
32	3.12	Торшер, Örsjö Apla	0,01	7	0,07	0,35	0,92	0,43	0,02	0,01	0,03	3000	73,5
33	3.13	Настінний, декоративний	0,005	2	0,01	0,3	0,92	0,43	0,003	0,001	0,003	3000	9
34	4	Побутова техніка			58,6				8,51	0,91	8,559		29743,6
35	4.1	Кавомашини	4,3	1	4,3	0,55	1	0	2,37	0	2,37	2200	5203
36	4.2	Електричні чайники	2	20	40	0,08	1	0	3,2	0	3,2	150	480
37	4.3	Холодильники	0,2	5	1	0,55	0,75	0,88	0,55	0,48	0,73	8760	4818
38	4.4	Холодильник дарь	0,5	1	0,5	0,55	0,75	0,88	0,28	0,24	0,37	8760	2409
39	4.5	Бойлери 50 літрів	1,5	2	3	0,3	1	0	0,9	0	0,9	8760	7884
40	4.6	Бойлери 100 літрів	2,4	2	4,8	0,2	1	0	0,96	0	0,96	8760	8409,6
41	4.7	Мікрохвильові печі	1	5	5	0,05	0,8	0,75	0,25	0,19	0,31	2160	540
42	5	Офісна та комп'ютерна техніка			48,2				28,36	21,27	35,45		61437
43	5.1	АРМ.С	0,3	120	36	0,6	0,8	0,75	21,6	16,2	27	1600	34560
44	5.2	АРМ.к	0,3	19	5,7	0,5	0,8	0,75	2,85	2,14	3,56	1200	3420
45	5.3	Мережеві Сервери	0,5	5	2,5	1	0,8	0,75	2,5	1,88	3,13	8760	21900
46	5.4	Сканери	0,1	3	0,3	0,15	0,8	0,75	0,05	0,03	0,06	600	27
47	5.5	Принтери	0,1	6	0,6	0,25	0,8	0,75	0,15	0,11	0,19	800	120
48	5.6	Копіювальний апарат	0,6	1	0,6	0,35	0,8	0,75	0,21	0,16	0,26	1000	210
49	5.7	БФП	0,5	5	2,5	0,4	0,8	0,75	1	0,75	1,25	1200	1200
50	6	Кліматичне обладнання Clust Space			31,8				16,14	12,1	20,172		52494,4
51	6.1	ПВУ ПВ1	4	1	4	0,9	0,8	0,75	3,6	2,7	4,5	5000	18000
52	6.2	ПУ П1 (вентилятор)	2,2	1	2,2	0,9	0,8	0,75	1,98	1,49	2,48	5000	9900
53	6.3	Витяжка В1	0,48	1	0,48	0,85	0,8	0,75	0,41	0,31	0,51	4500	1836
54	6.4	Витяжний вентилятор К1	0,24	1	0,24	0,8	0,8	0,75	0,19	0,14	0,24	4500	864
55	6.5	Зовнішній блок VRF	12,44	1	12,44	0,4	0,8	0,75	4,98	3,73	6,22	2200	10947,2
56	6.6	Зовнішній блок VRF	12,44	1	12,44	0,4	0,8	0,75	4,98	3,73	6,22	2200	10947,2
57	7	Ліфти та підйомне обладнання			21,5				3,45	4	5,2823		5445
58	7.1	Ліфт	7,5	1	7,5	0,2	0,65	1,17	1,5	1,76	2,31	1800	2700
59	7.2	Ліфт	11	1	11	0,15	0,65	1,17	1,65	1,93	2,54	1500	2475
60	7.3	Книжкові транспортери	1,5	2	3	0,1	0,7	1,02	0,3	0,31	0,43	900	270
61		Всього			322,448				161,33	61,001	172,48		338125,2

ННІЕЕ.1910-с.ОН-21.ДП.013 ПЗ

Арк.

127

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

ДОДАТОК Б

