

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

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра теплової та альтернативної енергетики

«На правах рукопису»  
УДК 697.7

До захисту допущено Завідувач  
кафедри

\_\_\_\_\_ Віталій ПЕШКО  
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**  
**за освітньо-професійною програмою**  
**«Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем»**  
**спеціальності 144«Теплоенергетика»**

**на тему:** «Комбіноване використання джерел теплозабезпечення дошкільного навчального закладу в м. Олександрія Кіровоградської області»

Виконав: студент II курсу, групи ТЕ-41мп

\_\_\_\_\_ Олександр ТАРАНЕНКО  
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Науковий керівник доцент, кандидат техн. наук, доцент  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

\_\_\_\_\_ Інна БІЛОУС  
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант з  
Охорони праці

\_\_\_\_\_ доцент, кандидат техн. наук, доцент  
(Посада, науковий ступінь, вчене звання)

\_\_\_\_\_ Ірина СУХОДУБ  
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ к.т.н. Ірина ЛЕЩЕНКО  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_

Науковий керівник \_\_\_\_\_

Київ – 2025 року

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

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра теплової та альтернативної енергетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма

«Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Віталій ПЕШКО  
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Олександра Тараненка

(Ім'я, Прізвище)

1. Тема дисертації: Комбіноване використання джерел теплозабезпечення дошкільного навчального закладу в м. Олександрія Кіровоградської області

Науковий керівник дисертації Інна БІЛОУС, к. т. н., доцент

(Ім'я, Прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «03» листопада 2025 р. №\_4779-с

2. Термін подання студентом дисертації 15 грудня 2025 року.

3. Об'єкт дослідження Система теплозабезпечення будівлі дошкільного навчального закладу

4. Вихідні данні до дисертації: будівля дитячого навчального закладу, з опалювальною площею 1944 м<sup>2</sup> і опалювальним об'ємом 5832 м<sup>3</sup>.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) створити математичну модель згідно ДСТУ 9190:2022, і розрахувати його енергопотребу та енергоспоживання; 2) розробити та проаналізувати заходи з термомодернізації огорожувальних конструкцій (утеплення фасаду, покрівлі, заміна віконних блоків) та реконструкції індивідуального теплового пункту; 3) обґрунтувати доцільність впровадження бівалентної системи теплопостачання на базі повітряного теплового насоса та електричного котла; 4) оцінити технічну можливість та економічну ефективність встановлення сонячної електростанції (у середовищі PVSol) та геліосистеми для потреб гарячого водопостачання (у середовищі TSol); 5) виконати розрахунок динамічних характеристик будівлі за методикою 5R1C (ISO 13790) та оцінити

параметри теплового комфорту в приміщеннях після модернізації; 6) розробити стартап-проект впровадження енергоефективних рішень; 7) розробити заходи з охорони праці.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Схема системи тепlopостачання об'єкту - 1 арк. ф. А1;
2. Поверховий план об'єкту дослідження (зазначення місця

встановлення теплового насосу) – 1 арк. ф. А1.

3. Схема розміщення ФЕС та сонячних колекторів на даху будівлі – 1 арк. ф. А1.

4. Схема керування системами теплозабезпечення – 1 арк. ф. А1.

5. Схема ІТП з інтеграцією ВДЕ – 1 арк. ф. А1.

6. Плакат (енергоспоживання та енергозбереження)– 1 арк. ф. А1.

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Ірина СУХОДУБ, доцент		

Дата видачі завдання «28» жовтня 2024р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Розрахунок енергопотреби та енергоспоживання за ДСТУ 9190	07.11.2025р.	
2	Створення базової та запропонованої моделі	17.11.2025р.	
3	Застосування програмних продуктів для моделювання використання теплових насосів для покриття теплового навантаження будівлі	24.11.2025р.	
4	Динамічне моделювання	26.11.2025р.	
5	Розробка стартап проекту	01.11.2025р.	
6	Заходи з охорони праці	05.11.2025р.	
7	Графічна частина	01.12.2025р.	
8	Оформлення пояснювальної записки	07.12.2025р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олександр ТАРАНЕНКО

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Інна БІЛОУС

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до магістерської дисертації «Комбіноване використання джерел теплозабезпечення дошкільного навчального закладу в м. Олександрія Кіровоградська обл.» складається з 6 розділів, пояснювальна записка містить 135 сторінок. Основний текст роботи містить 38 рисунків, 41 таблицю та 28 джерел у переліку посилань.

Метою магістерської дисертації є створення комплексної стратегії підвищення енергоефективності будівлі дошкільного навчального закладу шляхом моделювання його теплового балансу, термомодернізації огорожувальних конструкцій та інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Робота передбачає проведення детального аналізу існуючого стану інженерних систем, зокрема однотрубною системи опалення з чавунними радіаторами, та оцінку ефективності їх роботи. Розроблено та проаналізовано заходи з підвищення енергоефективності будівлі, що дозволяє знизити енергопотребу на 83%.

У дисертації обґрунтовано доцільність впровадження бівалентної системи теплопостачання на базі повітряного теплового насоса тепловою потужністю 73,6 кВт та електричного котла потужністю 320 кВт, які працюють через буферну ємність. Оцінено технічну можливість встановлення фотоелектричної системи (ФЕС) та геліосистеми на базі вакуумних колекторів для потреб гарячого водопостачання.

Проведена оцінка параметрів теплового комфорту за допомогою динамічного моделювання за методикою 5R1C підтвердила можливість забезпечення комфортних умов після модернізації. Крім того, робота включає розробку стартап-проекту «EcoHeat DC» щодо утилізації скидного тепла центрів обробки даних та заходів з охорони праці при монтажі фотоелектричного обладнання.

**Ключові слова:** енергетична ефективність, термомодернізація, тепловий насос, сонячна електростанція, 5R1C моделювання, енергоспоживання, тепловий комфорт, бівалентна система.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## SUMMARY

The explanatory note for the Master's thesis titled "Combined Use of Heat Supply Sources for a Preschool Educational Institution in Oleksandriia, Kirovohrad Region" consists of 6 chapters and comprises 135 pages. The main text includes 38 figures, 41 tables, and 28 references.

The aim of the Master's thesis is to create a comprehensive strategy for improving the energy efficiency of a preschool building through thermal balance modeling, thermal retrofitting of building envelopes, and the integration of renewable energy sources.

The study involves a detailed analysis of the existing state of engineering systems, specifically the one-pipe heating system with cast-iron radiators, and an evaluation of their operational efficiency. Measures to improve the building's energy efficiency have been developed and analyzed, enabling a reduction in energy demand by 83%.

The thesis substantiates the feasibility of implementing a bivalent heat supply system based on an air-source heat pump with a thermal capacity of 73.6 kW and an electric boiler with a capacity of 320 kW, operating via a buffer tank. The technical feasibility of installing a photovoltaic (PV) system and a solar thermal system based on vacuum collectors for domestic hot water supply has been assessed.

An assessment of thermal comfort parameters using dynamic modeling according to the 5R1C method confirmed the ability to maintain comfortable conditions following modernization. Additionally, the work includes the development of the "EcoHeat DC" startup project regarding the recovery of waste heat from data centers, as well as occupational safety measures during the installation of photovoltaic equipment.

**Keywords:** energy efficiency, thermal modernization, heat pump, solar power plant, 5R1C modeling, energy consumption, thermal comfort, bivalent system.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

**Пояснювальна записка  
до магістерської дисертації**

на тему: **Комбіноване використання джерел  
теплозабезпечення дошкільного навчального закладу в м.  
Олександрія Кіровоградської області**

Київ – 2025 року

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, скорочень, термінів.....	8
Вступ.....	9
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	13
1.1 Загальні відомості та призначення будівлі.....	13
1.2 Аналіз фактичного річного споживання енергоносіїв.....	16
1.3 Висновки за розділом 1.....	19
2 Аналіз систем енергопостачання об’єкту.....	20
2.1 Інженерні системи об’єкту дослідження: системи опалення, вентиляції, гарячого водопостачання.....	20
2.2 Оцінка стану та ефективності систем обліку, автоматизації, моніторингу та управління споживанням теплової енергії на об’єкті.....	21
2.3 Складання теплового балансу та визначення рівня енергоефективності дошкільного навчального закладу.....	23
2.4 Визначення сонячних теплонадходжень через елементи будівлі за рік.....	35
2.5 Висновки за розділом 2.....	49
3 УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ ТА ІНЖИНІРИНГ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.....	51
3.1 Вибір і розрахунок обладнання при реконструкції системи теплопостачання та ГВП.....	51
3.2 Рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів дошкільного навчального закладу.....	57
3.3 Техніко-економічне обґрунтування впровадження сучасного енергетичного обладнання чи альтернативного джерела енергії.....	59
3.4 Висновки за розділом 3.....	64
4 СПЕЦПИТАННЯ. «МОДЕЛЮВАННЯ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОМБІНОВАНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ». (ТЕПЛОВІ НАСОСИ, ФЕС, СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ).....	65
4.1 Комп’ютерне моделювання систем енергозабезпечення об’єктів в програмних середовищах: RETScreen, PV*Sol, T*Sol, GeoT*Sol, MathCAD.....	65
4.2 Енергетичне моделювання в програмному середовищі PV*Sol.....	73
4.3 Енергетичне моделювання в програмному середовищі T*Sol.....	81
4.4 Енергетичне моделювання в програмному середовищі GeoT*Sol.....	91
4.5 Динамічне енергетичне моделювання теплових режимів в будівлі.....	96
4.6 Схема під’єднання альтернативного джерела енергії до системи енергопостачання існуючого об’єкту.....	103
4.7 Висновки за розділом 4.....	107
5 СТАРТАП ПРОЄКТ.....	108
5.1 Опис ідеї стартап-проєкту.....	108
5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту.....	110
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	112
5.4 Розробка ринкової стратегії.....	114

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	115
5.6 Обґрунтування ресурсів витрат.....	116
5.7 Фінансово-економічний аналіз та розрахунок вартості проєкту.....	117
5.8 Ризики стартап-проєкту та заходи щодо їх мінімізації.....	119
5.9 Висновки за розділом 5.....	119
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	121
6.1 Нормативно-правові вимоги.....	121
6.2 Загальні вимоги безпеки.....	121
6.3 Роботи на висоті.....	122
6.4 Електробезпека.....	123
6.5 Механічна безпека.....	124
6.6 Пожежна безпека. ....	124
6.7 Засоби індивідуального захисту.. ....	125
6.8 Надзвичайні ситуації та медична допомога.....	126
6.9 Висновки за розділом 6.....	126
ВИСНОВКИ. ....	128
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	130
ДОДАТКИ.....	134

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

## УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- $Q$  – сумарна теплонадходження;  
 $q(t)$  – тепловий потік;  
 $C_z$  – теплоємність зони;  
 $m$  – масова витрата;  
 $P$  – тиск;  
 $\delta$  – товщина;  
 $\lambda$  – теплопровідність;  
 $R$  – опір теплопередачі;  
 $K$  – коефіцієнт теплопередачі;  
 $q_{rad}$  – радіаційний тепловий потік;  
 $q_{cond}$  – теплопровідний потік;  
 $U$  – коефіцієнт теплопередачі  
 $\alpha$  – коефіцієнт поглинання;  
 $M$  – метаболічний видобуток тепла;  
 $S$  – площа поверхні;  
 $S_s$  – площа, освітлена сонцем;  
 $I_b$  – інтенсивність променевого випромінювання.

## ІНДЕКСИ

- з – зовнішній;  
вн – внутрішній;  
*rad* – радіаційна;  
*res* – респіраторна;  
*conv* – конвективний;  
тн – теплонадходження;  
р. – розрахункове;  
ф. – фактичне;

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

ср. о. – середня за опалювальний період;  
о – опалювальний період;  
ст – стіни.

## СКОРОЧЕННЯ

ГВП – гаряче водопостачання;  
ХВП – холодне водопостачання;  
ІТП – індивідуальний теплопункт;  
ДСТУ – державний стандарт України;  
ДБН – державні будівельні норми;  
СЕС – сонячна електростанція;  
ОВіК – опалення, вентиляція і кондиціювання;  
ФЕС – фотоелектрична електростанція;  
СЕНМ – система енергоменеджменту;  
ACS – Adaptive Comfort Standard;  
IWEC – International Weather for Energy Calculations;  
ТМУ – Typical Meteorological Year;  
KSU – Kansas State University;  
CTF – Conduction Transfer Function.

## ТЕРМІНИ

Енергоспоживання – це кількість енергії, яку споживає окремий пристрій, система, підприємство або суспільство в цілому за певний проміжок часу для забезпечення своєї діяльності.

Енергопотреба – це необхідна кількість енергії, яка потрібна об'єкту (людині, системі, будівлі, підприємству чи процесу) для нормального функціонування протягом певного періоду часу.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## ВСТУП

У сучасних умовах глобального розвитку питання енергетичної ефективності будівель набуло значення, що виходить далеко за межі суто економічних розрахунків і дедалі більше розглядається як складова національної безпеки, екологічної стійкості та соціальної стабільності. Для України, яка перебуває в умовах воєнного стану та системних загроз об'єктам енергетичної інфраструктури, забезпечення надійного, економічно обґрунтованого й автономного енергопостачання об'єктів соціальної сфери є критично важливим завданням. Особливу роль у цьому контексті відіграють дошкільні навчальні заклади, що належать до вразливих та водночас соціально значущих об'єктів, адже від стабільності їх функціонування безпосередньо залежить безпека, здоров'я та комфорт дітей.

Більшість будівель дошкільних навчальних закладів в Україні була зведена у другій половині ХХ століття за типовими радянськими проєктами, які формувалися в умовах низької вартості енергоресурсів та відсутності сучасних вимог до енергоефективності, теплового захисту і якості внутрішнього мікроклімату. Як наслідок, такі будівлі характеризуються значними тепловтратами через огорожувальні конструкції, неефективними інженерними системами та високими питомими витратами енергії. Об'єктом даного дослідження є будівля дошкільного навчального закладу № 42 у місті Олександрія Кіровоградської області, введена в експлуатацію у 1987 році.

Актуальність теми дослідження посилюється впровадженням оновленої нормативної бази у сфері будівництва та енергоефективності, зокрема ДБН В.2.6-31:2021 та ДСТУ 9190:2022, які орієнтують проєктування і реконструкцію будівель на комплексний підхід із застосуванням енергетичного моделювання, автоматизованих систем управління та відновлюваних джерел енергії. Використання сучасних програмних продуктів динамічного моделювання, дозволяє створити цифрову модель будівлі та з доволі високою точністю оцінити її енергетичні характеристики з

										Арк.
										11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

урахуванням кліматичних умов, режимів експлуатації та теплової інерції конструкцій. Це, у свою чергу, створює передумови для обґрунтованого вибору технічних рішень з термомодернізації та переходу до гібридних систем енергозабезпечення на основі теплових насосів, фотоелектричних станцій і сонячних теплових колекторів.

Метою магістерської дисертації є розробка науково обґрунтованої стратегії комплексної енергетичної модернізації дошкільного навчального закладу, спрямованої на підвищення класу енергоефективності будівлі, зниження експлуатаційних витрат та забезпечення енергетичної стійкості й часткової автономності в умовах кризових ситуацій. У межах дослідження розглядаються процеси енергоспоживання та формування мікроклімату в будівлі ДНЗ № 42, а також методи підвищення її енергетичної ефективності шляхом термомодернізації огорожувальних конструкцій, реконструкції інженерних систем, впровадження автоматизованого управління та інтеграції відновлюваних джерел енергії.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

# 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Загальні відомості та призначення будівлі

Об'єктом дослідження виступає будівля Дошкільного навчального закладу (ДНЗ) № 42, що знаходиться за адресою: Україна, Кіровоградська область, м. Олександрія, вул. Героїв Сталінграду, 23а. Локалізацію об'єкта на карті міста наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Місцерозташування будівлі

Будівля була введена в експлуатацію у 1987 році. Архітектурно-планувальне рішення являє собою окрему двоповерхову споруду.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Конструктив зовнішніх стін виконано з керамзитобетонних панелей товщиною 300 мм, фасад оздоблено штукатуркою; додаткова теплоізоляція відсутня. Візуальне обстеження зовнішніх огорожувальних конструкцій не виявило критичних пошкоджень. Особливістю північного фасаду є наявність закладених цегляною кладкою ( $\delta=250$  мм) віконних отворів загальною площею  $17 \text{ м}^2$ , що становить  $1,7\%$  від сумарної площі стін ( $1010,75 \text{ м}^2$ ).

Стан світлопрозорих конструкцій неоднорідний. Значна частина вікон представлена дерев'яними спареними рамами з подвійним склінням, технічний стан яких оцінюється як незадовільний: наявність щілин у притулах та часткова деструкція дерев'яних елементів призводять до значної інфільтрації зовнішнього повітря. Часткову модернізацію ( $44,3\%$  від загальної кількості) проведено шляхом встановлення металопластикових віконних блоків. Загальна площа скління об'єкта становить  $479,2 \text{ м}^2$ .

Вхідна група обладнана дерев'яними дверними блоками, які не мають утеплення та ефективних ущільнювачів, що зумовлює підвищені тепловтрати. Сумарна площа дверних отворів дорівнює  $62 \text{ м}^2$ .

Покрівля будівлі – пласка, суміщена. Несучою основою слугують залізобетонні багатопустотні плити товщиною 220 мм. Покрівельний піріг включає шар гравійної засипки (150 мм) та гідроізоляційний килим із двох шарів руберойду. Площа покрівлі складає  $1035,5 \text{ м}^2$ .

Під усією площею забудови розташоване неопалювальне напівпідвальне приміщення (технічне підпілля). Розрахункова опалювальна площа будівлі становить  $1944 \text{ м}^2$ , а опалювальний об'єм –  $5832 \text{ м}^3$ . Режим роботи закладу – з 7:00 до 19:00. Штатна чисельність персоналу становить 34 особи (гендерний розподіл: 30 жінок, 4 чоловіки). Кількість вихованців закладу – 210 дітей. Покажемо розмірні характеристики будівлі (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Розмірні характеристики будівлі

Площа забудови, $\text{м}^2$	1035,5	Кількість поверхів	2
Опалювальна площа, $\text{м}^2$	1944	Середня висота поверху, м	3
Опалювальний об'єм, $\text{м}^3$	5832	Висота будівлі, м	7

										Арк.
										14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

МД 25 144 25 07 ПЗ

Система електропостачання та освітлення організована наступним чином. Головна електрощитова розміщена в окремому ізольованому приміщенні на першому поверсі. Вузол комерційного обліку електричної енергії включає два лічильники, що забезпечують роздільний облік споживання харчоблоку та решти навантаження будівлі.

Тип: НІК 2301 АП1 № 0059918; коеф. перерахунку 100/5;

Тип: НІК 2301 АП1 № 0059856; коеф. перерахунку 100/5;

Система штучного освітлення реалізована на базі комбінації джерел світла: ламп розжарювання потужністю 60 Вт (173 шт.) та люмінесцентних ламп потужністю 18 Вт (410 шт.). В таблиці 1.2 наведено тарифи на енергоресурси.

Таблиця 1.2 – Тарифи на енергоресурси в м. Олександрія для адміністративних будівель станом на 2024 р.

Енергоресурси	Електроенергія	Водопостачання	Теплопостачання
Одиниця	Грн/кВт·год	грн/м <sup>3</sup>	грн/Гкал
Вартість	4,32	30,19	5401,52

Отже, наведені тарифи на енергоресурси для адміністративних будівель м. Олександрія у 2024 році свідчать про суттєве фінансове навантаження, особливо у сфері теплопостачання, яке має найвищу вартість. Вартість електроенергії та водопостачання також є значною складовою експлуатаційних витрат будівель. Це підкреслює актуальність впровадження енергоефективних заходів з метою зниження витрат на утримання адміністративних об'єктів.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			



Аналіз даних таблиці 1.3 свідчить, що споживання енергоресурсів у 2022 році має чітко виражений сезонний характер, особливо щодо теплопостачання. Найвищі обсяги споживання теплової енергії та відповідні витрати спостерігаються у зимові місяці (січень, лютий, грудень), що зумовлено опалювальним періодом. У літні місяці витрати на тепло різко зменшуються, що істотно знижує загальне енергоспоживання будівлі.

Таблиця 1.4 – Споживання енергоресурсів за 2023 рік

Рік	2023	ТАРИФ	Вода, грн/м <sup>3</sup>	Електроенергія, грн/кВтгод	Тепло, грн/Гкал		
			22,66	1,68	1480,31		
Енергоносії	Центр. теплопостач.		Електроенергія		Всього		
Місяць	Гкал	кВтг	Грн	кВтг	Грн	кВтг	Грн
Січень	90,77	105565,51	134367,74	2373	3986,64	107938,51	138354,38
Лютий	72,32	84108,16	107055,92	4110	6904,80	88218,16	113960,72
Березень	80,84	94016,92	119668,26	4329	7272,72	98345,92	126940,98
Квітень	41,51	48276,13	61447,67	4788	8043,84	53064,13	69491,51
Травень	12,62	14677,06	18681,51	4242	7126,56	18919,06	25808,07
Червень	2,08	2419,04	3079,04	2383	4003,44	4802,04	7082,48
Липень	7,56	8792,28	11191,14	2822	4740,96	11614,28	15932,10
Серпень	8,14	9466,82	12049,73	5007	8411,76	14473,82	20461,49
Вересень	11,16	12979,08	16520,35	3448	5792,64	16427,08	22312,99
Жовтень	28,06	32633,78	41537,50	5523	9278,64	38156,78	50816,14
Листопад	40,17	46717,71	59463,95	7286	12240,48	54003,71	71704,43
Грудень	77,87	90562,81	115271,74	5996	10073,28	96558,81	125345,02
Всього	473,1	550 215,3	700334,67	52 307	87875,76	602 522,3	788210,43

Аналіз даних таблиці 1.4 показує, що у 2023 році споживання енергоресурсів також має виражену сезонність, насамперед за рахунок теплопостачання. Найбільші обсяги теплової енергії та фінансові витрати припадають на зимові місяці – січень, лютий і грудень, що пов'язано з тривалістю опалювального періоду. У весняно-літній період спостерігається суттєве зниження споживання тепла, що позитивно впливає на загальні витрати.

Таблиця 1.5 – Споживання енергоресурсів за 2024 рік

Рік	2024	ТАРИФ	Вода, грн/м <sup>3</sup>	Електроенергія, грн/кВт*год		Тепло, грн/Гкал	
			26,28	1,68		1502,4	
Енергоносії	Центр. теплопостач.			Електроенергія		Всього	
Місяць	Гкал	кВтг	Грн	кВтг	Грн	кВтг	Грн
Січень	100,00	116300,00	150240,00	6100	10248,00	122400,00	160488,00
Лютий	80,00	93040,00	120192,00	4800	8064,00	97840,00	128256,00
Березень	82,00	95366,00	123196,80	4200	7056,00	99566,00	130252,80
Квітень	31,00	36053,00	46574,40	4300	7224,00	40353,00	53798,40
Травень	15,00	17445,00	22536,00	5000	8400,00	22445,00	30936,00
Червень	12,50	14537,50	18780,00	1900	3192,00	16437,50	21972,00
Липень	1,80	2093,40	2704,32	440	739,20	2533,40	3443,52
Серпень	5,50	6396,50	8263,20	3300	5544,00	9696,50	13807,20
Вересень	12,50	14537,50	18780,00	5900	9912,00	20437,50	28692,00
Жовтень	38,00	44194,00	57091,20	7500	12600,00	51694,00	69691,20
Листопад	50,00	58150,00	75120,00	7300	12264,00	65450,00	87384,00
Грудень	84,53	98308,39	126997,87	7009	11775,12	105317,39	138772,99
Всього	512,83	596 421,29	770475,78	57749	97018,32	646948,06	867494,1

Аналіз таблиці 1.5 свідчить, що у 2024 році споживання енергоресурсів характеризується зростанням загальних обсягів і витрат порівняно з попередніми роками. Найвищі показники теплової енергії та фінансових витрат припадають на зимові місяці, зокрема січень і грудень, що обумовлено

									Арк.
									18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

МД 25 144 25 07 ПЗ

інтенсивним опалювальним періодом. У літні місяці спостерігається різке зниження споживання тепла, проте витрати на електроенергію залишаються відносно стабільними протягом року. Помітно, що електроенергія формує значну частку загальних витрат, особливо в періоди активного використання обладнання.

### 1.3 Висновки до розділу 1

Будівля дошкільного навчального закладу № 42 розташованого за адресою: Україна, Кіровоградська область, місто Олександрія, вулиця Героїв Сталінграду, 23а характеризується низькими теплоізоляційними властивостями, зумовленими конструктивними особливостями, старими матеріалами стін та частково заміненими вікнами. Наявність неопалюваного підвалу сприяє значним тепловтратам. Для підвищення енергоефективності рекомендовано утеплення фасадів, заміну дерев'яних вікон та модернізацію систем енергозабезпечення. Реалізація цих заходів дозволить скоротити тепловтрати та підвищити комфорт відвідувачів.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## 2 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ

### 2.1 Інженерні системи об'єкту дослідження: системи опалення, вентиляції, гарячого водопостачання

Приєднання внутрішньої системи опалення будівлі до зовнішніх теплових мереж реалізовано за залежною схемою через двотрубний ввід. Тепловий пункт об'єкта оснащено засобами автоматичного регулювання теплового потоку, до складу яких входить циркуляційний насосний агрегат. Обстеження стану теплової ізоляції магістральних трубопроводів та запірної арматури (виконаної переважно з азбестовмісних матеріалів або скловати із захисним шаром руберойду) виявило її незадовільний стан, що спричинено тривалим терміном експлуатації та фізичним зносом матеріалів.

Підготовка гарячої води здійснюється за незалежною схемою з використанням індивідуального пластинчастого теплообмінного апарату (бойлера). Система обладнана автоматикою, що регулює подачу первинного теплоносія в залежності від температури води у контурі ГВП. Для забезпечення стабільної температури у точках водорозбору передбачено циркуляційну лінію, оснащену рециркуляційним насосом.

Архітектура системи опалення – однотрубна, з нижнім розведенням магістралей та використанням П-подібних стояків. Основний парк опалювальних приладів представлено чавунними секційними радіаторами типу М-140 АО. У ході поточної експлуатації було проведено часткову модернізацію, в результаті якої частину чавунних батарей замінено на сталеві радіатори (загальна кількість замінених приладів – 28 шт.). З метою мінімізації трансмісійних тепловтрат через зовнішні стіни, у зонах встановлення опалювальних приладів змонтовано тепловідбивні екрани (рефлектори) на основі фольгованого спіненого поліетилену.

Згідно з проектним рішенням, загальний повітрообмін у будівлі забезпечується системою природної витяжної вентиляції. Для приміщень

										Арк.
										20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

МД 25 144 25 07 ПЗ

специфічного призначення (харчоблок, пральня) передбачено механічну припливно-витяжну вентиляцію. За результатами обстеження встановлено, що у приміщеннях кухні та пральні функціонує виключно витяжний контур системи, тоді як обладнання припливної вентиляції знаходиться у неробочому стані.

## **2.2 Оцінка стану та ефективності систем обліку, автоматизації, моніторингу та управління споживанням теплової енергії на об'єкті**

Фундаментальною основою побудови енергоефективної будівлі є достовірна, прозора та дворівнева система обліку енергоресурсів, яка дозволяє не лише фіксувати факт споживання для фінансових розрахунків, але й аналізувати структуру енергетичного балансу в динаміці. Відповідно до положень Закону України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» та вимог міжнародного стандарту ISO 50001, система обліку повинна забезпечувати повноту даних для визначення базової лінії енергоспоживання та ключових показників енергоефективності.

Позитивним аспектом є фізичне розділення обліку харчоблоку та загальнобудинкових потреб. Це дозволяє розраховувати питомі показники енергоемності приготування їжі (кВт·год на 1 порцію або на 1 дитину) окремо від показників освітлення та опалення. Проте, відсутність окремого (суб-обліку) для циркуляційних насосів теплового пункту та вентиляційного обладнання пральні не дозволяє оцінити «паразитне» споживання інженерних систем. У сучасних системах класу енергоефективності «С» або «В» за EN 15232, окремий облік споживання насосними групами є обов'язковим для контролю гідравлічних режимів.

Облік теплової енергії реалізовано на ввіді теплової мережі в будівлю. Наявність деталізованих даних щодо помісячного споживання теплової енергії в Гкал за 2022–2024 роки (Таблиці 1.3, 1.4, 1.5) підтверджує функціонування вузла комерційного обліку.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Рівень автоматизації інженерних систем є визначальним фактором, що впливає на коефіцієнт корисної дії системи теплопостачання та комфорт перебування дітей.

Оскільки система опалення обладнана автоматичною системою регулювання теплового потоку, то це вказує на наявність електронного контролера, який керує регулюючим клапаном на основі температурного графіка. Незважаючи на наявність автоматики в ІТП, ефективність системи критично знижується через застарілу схему розподілу тепла всередині будівлі.

Однотрубна система з нижнім розведенням та П-подібними стояками є найскладнішою для автоматичного регулювання. У такій системі зміна витрати теплоносія на одному поверсі призводить до розбалансування всього стояка. Відсутність автоматичних балансувальних клапанів (АВ-QM або аналогів) на стояках призводить до гідравлічної дерегуляції. Встановлені чавунні радіатори М-140 АО мають високу теплову інерцію та великий об'єм води. Це робить систему повільною в реакції на зміни налаштувань контролера ІТП. Крім того, на радіаторах відсутні термостатичні регулятори (термоголовки). Це означає, що система працює виключно в режимі "якісного" регулювання, ігноруючи "кількісне" регулювання. Як результат, втрачається можливість використання внутрішніх теплонадходжень (від присутності 210 дітей, сонячної радіації через 479 м<sup>2</sup> вікон). Коли сонце нагріває південні приміщення, радіатори продовжують гріти з тією ж потужністю, що призводить до перегріву (температура > 22-24°C) та відкриття вікон персоналом, що є прямими втратами енергії.

Механічна припливна вентиляція харчоблоку та пральні знаходиться в неробочому стані. Автоматика управління (частотні перетворювачі вентиляторів, захист калориферів від замерзання, розклад роботи) відсутня. Вентиляція здійснюється шляхом провітрювання через нещільні вікна та двері, що є абсолютно некерованим процесом з точки зору енергозбереження.

Система обліку та управління енергоспоживанням ДНЗ №42 знаходиться на незадовільному рівні. Наявність комерційних лічильників та

										Арк.
										22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

формальної автоматики в ІТП не забезпечує реальної енергоефективності через відсутність комплексного підходу: гідравлічна система розбалансована, покімнатне регулювання відсутнє, моніторинг ведеться "постфактум", а потенціал організаційних заходів (нічне зниження температури) не використовується.

### 2.3 Складання теплового балансу та визначення рівня енергоефективності дошкільного навчального закладу

Оцінка показників енергетичної ефективності будівлі ґрунтується на комплексному дослідженні її теплового балансу, який формується сукупністю теплових втрат та надходжень. У даному підрозділі представлено результати розрахунків енергетичних потреб та фактичного енергоспоживання об'єкта дослідження для періодів опалення та охолодження. Методологічну основу обчислень становлять регламенти чинного національного стандарту ДСТУ 9190:2022 [1]. Дотримання даної методики дозволяє отримати об'єктивну характеристику поточного енергетичного стану споруди та коректно ідентифікувати її клас енергоефективності.

Сумарна теплопередача трансмісією  $Q_{tr}$ , Вт·год, для опалення та охолодження визначається для кожного місяця за формулою:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set} - \theta_e) \cdot t \quad (2.1)$$

де  $\theta_{int,set}$  – задана внутрішня температура в будівлі в опалювальний та охолоджуваний періоди, °С, приймати за табл.16 ДСТУ 9190:2022 [9];

$\theta_e$  – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

$t$  – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за табл. А1 (додаток А) в ДСТУ 9190:2022 [1];

$H_{tr,adj}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією, Вт/К, встановлений для різниці температур всередині-ззовні, знаходиться за формулою:

									Арк.
									23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

$$H_{tr,adj} = H_D + H_G + H_u + H_A \quad (2.2)$$

де  $H_u = \sum_{i=1}^n \frac{A_i B_i}{R_i}$  – коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К, підставимо у формулу:

$$H_u = \frac{A_{гор} B_{гор}}{R_{гор}} + \frac{A_{підл} B_{підл}}{R_{підл}} = \frac{1035.5 \cdot 0,9}{1.52} + \frac{1035.5 \cdot 1}{0.44} = 2966,53 \text{ Вт/К}$$

$H_A=0$  – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К;

$H_D - Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,set,H} - \theta_e)t$  узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К, за формулою:

$$H_D = b_{tr,x} \sum_{i=1}^n A_i U_i, \text{ де } U_i = \frac{1}{R_{\Sigma np}} \quad (2.3)$$

Під час розрахунків  $H_D$  поправочний коефіцієнт  $b_{tr,x} = 1$ , тоді:

$$H_D = A_{ст.} \frac{1}{R_{ст.}} + A_B \frac{1}{R_B} + A_{дв} \frac{1}{R_{дв}} \quad (2.4)$$

$$H_D = 2136,6 \frac{1}{1,1} + 629,1 \frac{1}{0,6} + 15 \frac{1}{0,6} = 3015,86 \text{ Вт/К}$$

де  $H_G = 0$  – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К.

Підставимо отримані значення у формулу 2.2:

$$H_{tr,adj} = 3015,86 + 2966,53 = 5982,4 \text{ Вт/К}$$

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі трансмісією за формулою (2.1) для січня місяця:

$$Q_{tr}^I = 5982,4 \cdot (22 - (-5.3)) \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 99284,9 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Теплопередача трансмісією для інших місяців опалювального періоду та періоду охолодження розраховується аналогічно.

									Арк.
									24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

Розрахунки теплопередачі трансмісією помісячно зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок теплопередачі трансмісією

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	$t, \text{год}$	$H_{tr,adj}, \text{Вт/К}$	$Q_{tr,H}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$Q_{tr,C}, \text{кВт}\cdot\text{год}$
I	-5,3	744	5982,4	121509,68	130411,4845
II	-4,2	672		105328,49	113368,8299
III	0,7	744		94804,25	103706,0611
IV	8,8	720		56856,71	65471,36073
V	15,1	744		30711,24	39613,04479
VI	18,5	720		15075,64	23690,295
VII	20,3	744		7566,54	16468,34446
VIII	19,5	744		11127,26	20029,06759
IX	14,4	720		32735,68	41350,33309
X	7,9	744		62757,75	71659,5 5294
XI	2	720		86146,53	94761,18
XII	-2,8	744		110382,42	119284,2248
Разом				735002,17	839813,78

Сумарна теплопередача вентиляцією  $Q_{ve}$ , Вт·год, визначається для кожного місяця за формулою:

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

де  $t$  – тривалість місяця, для якого проводиться розрахунок, год;

$H_{ve,adj}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К, що розраховується наступним чином:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \left( \sum (q_{ve,k,mn} \cdot b_{ve,k}) \right) \quad (2.6)$$

де  $\rho_a \cdot c_a$  – теплоємність повітря одиниці об'єму, за ДСТУ 9190:2022 [1] дорівнює 0,336 Вт · год/(м<sup>3</sup>·К);

$b_{ve,H}$  – температурний поправочний коефіцієнт для k-го елемента повітряного потоку зі значенням  $b_{ve,k} \neq 1$ , коли температура припливного повітря не дорівнює температурі зовнішнього середовища, для даного розрахунку приймаємо  $b_{ve,k} = 1$ ;

$q_{ve,mn}$  – усереднена за часом витрата повітря для вентиляції, м<sup>3</sup>/год, яка розраховується для кожної зони за формулою:

$$q_{ve,mn} = q_{ve} \cdot t_{ve}/168, \quad (2.7)$$

де  $q_{ve}$  – нормативна витрата повітря приймається згідно з проектними даними, 5832 м<sup>3</sup>;

$t_{ve}$  – період використання нормативної витрати вентиляційного повітря, год/тиждень, визначається за табл. 16 ДСТУ 9190:2022 [1], 112 год/тиждень;

$q_{inf,mn}$  – усереднена за часом витрата повітря для інфільтрації, м<sup>3</sup>/год;

$$q_{inf,mn} = n_{inf} \cdot V_{ve} \cdot v_v \cdot t_{int}/168, \quad (2.8)$$

де  $n_{inf}$  – кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації,  $n_{inf} = 0,65 \text{ год}^{-1}$ ;

$V_{ve}$  – об'єм вентиляованої зони, так як весь об'єм будівлі призначений для вентиляції об'єм вентиляованої зони дорівнює опалювальному об'єму будівлі, 5832 м<sup>3</sup>;

$v_v$  – коефіцієнт зниження об'єму повітря, яким враховується наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій, приймається 0,85;

$t_{int,H}$  – період використання витрати повітря для інфільтрації: за природної вентиляції становить (168 –  $t_{ve}$ ); за механічної вентиляції становить 108.

Усереднену за часом витрату повітря для вентиляції визначимо за формулою :

$$q_{ve,mn,H} = 5832 \cdot 60/168 = 1749,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Усереднену за часом витрату повітря для інфільтрації визначимо за формулою:

$$q_{inf,mn,H} = 0,65 \cdot 5832 \cdot 0,85 \cdot (168 - 60)/168 = 2089,77 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Тоді загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією за формулою:

$$H_{ve,adj} = 0,33 \cdot 1 \cdot (1749,6 + 2089,77) = 1290 \text{ Вт/К}.$$

										Арк.
										26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі вентиляцією за формулою для січня місяця:

$$Q_{ve}^I = 1275,4 \cdot (22 - (-5,3)) \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 25904,7 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для інших місяців опалювального та охолоджувального сезонів розрахунок виконується аналогічно. Підсумкові результати визначення теплопередачі вентиляцією зведено до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок теплопередачі вентиляцією для кожного місяця

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	$t, \text{ год}$	$H_{ve,adj}, \text{ Вт/К}$	$Q_{ve,H}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$	$Q_{ve,C}, \text{ кВт} \cdot \text{год}$
I	-5,3	744	1290	26202,05	28121,61
II	-4,2	672		22712,77	24446,57
III	0,7	744		20443,35	22362,92
IV	8,8	720		12260,44	14118,08
V	15,1	744		6622,49	8542,06
VI	18,5	720		3250,87	5108,52
VII	20,3	744		1631,63	3551,19
VIII	19,5	744		2399,45	4319,02
IX	14,4	720		7059,04	8916,68
X	7,9	744		13532,92	15452,49
XI	2	720		18576,42	20434,07
XII	-2,8	744		23802,59	25722,15
Разом				130264,5	181095,36

Сумарна теплопередача для кожної зони будівлі та для кожного місяця, кВт·год, визначається за формулою:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}. \quad (2.9)$$

Покажемо розрахунок сумарної теплопередачі на опалення для січня місяця:

$$Q_{ht}^I = 99284,9 + 25904,7 = 125189,6 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Визначення сумарної теплопередачі для решти розрахункових місяців,

										Арк.
										27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

включаючи період охолодження, виконується за аналогічною методикою.

Зведені результати обчислень систематизовано у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок сумарної теплопередачі для режиму опалення

Місяць	$Q_{tr,H}$ , кВт·год	$Q_{ve,H}$ , кВт·год	$Q_{ht,H}$ , кВт·год	$Q_{tr,C}$ , кВт·год	$Q_{ve,C}$ , кВт·год	$Q_{ht,C}$ , кВт·год
I	121509,6 8	26202,05	147711,7 2	130411,5	28121,6	158533,1
II	105328,4 9	22712,77	128041,2 6	113368,8	24446,6	137815,4
III	94804,25	20443,35	115247,6 1	103706,1	22362,9	126069,0
IV	56856,71	12260,44	69117,15	65471,4	14118,1	79589,4
V	30711,24	6622,49	37333,73	39613,0	8542,1	48155,1
VI	15075,64	3250,87	18326,52	23690,3	5108,5	28798,8
VII	7566,54	1631,63	9198,17	16468,3	3551,2	20019,5
VIII	11127,26	2399,45	13526,71	20029,1	4319,0	24348,1
IX	32735,68	7059,04	39794,72	41350,3	8916,7	50267,0
X	62757,75	13532,92	76290,67	71659,6	15452,5	87112,0
XI	86146,53	18576,42	104722,9 5	94761,2	20434,1	115195,2
XII	110382,4 2	23802,59	134185,0 1	119284,2	25722,2	145006,4
Разом	735002,1 7	158494,0 4	893496,2 1	839813,8	181095,4	1020909, 1

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у будівлі, що розглядається, кВт·год, для визначеного місяця розраховують за формулою:

$$Q_{int} = \left( \sum_k \Phi_{int,mn,k} \cdot S \right) \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (2.10)$$

де  $\sum_k \Phi_{int,mn,k}$  - усереднений за часом тепловий потік від  $k$ -го внутрішнього джерела, що включає теплонадходження від людей, освітлення та обладнання, Вт/м<sup>2</sup>, обирається за таблицею 6 з ДСТУ 9190:2022 [1];

$S$  – опалювальна площа будівлі;

$t$  – тривалість періоду використання, год/місяць.

Для будівлі закладу дошкільної освіти:

									Арк.
									28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

МД 25 144 25 07 ПЗ



$$Q_{sol} = \left( \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (2.11)$$

де  $t$  – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за табл. А1 (додаток А) в ДСТУ 9190:2022 [1];

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

Сонячні теплонадходження через  $k$ -ий елемент будівлі, Вт:

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \Phi_{r,k}, \quad (2.12)$$

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

$A_{sol,k}$  – еквівалентна площа інсоляції  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, м<sup>2</sup>, визначається окремо для світлопрозорих та непрозорих поверхонь;

$I_{sol,k}$  – сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м<sup>2</sup>, визначена за додатком А ДСТУ 9190:2022 [1];

$F_{r,k}$  – коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом, який приймають:

$F_r = 1$  – для незатіненого горизонтального даху;

$F_r = 0,5$  – для незатіненої вертикальної стіни;

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

За відсутності фактичних даних понижувальний коефіцієнт затінення  $F_{sh,ob,k}$  необхідно розраховувати за формулою (враховуємо лише зовнішнє затінення, а засоби рухомого затінення не враховуємо):

$$F_{sh} = F_{hor} F_{ov} F_{fin}, \quad (2.13)$$

										Арк.
										30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

де  $F_{hor}$  – частковий поправочний коефіцієнт затінення горизонту, визначають за табл.12 ДСТУ 9190:2022 [1]);

$F_{ov}$  – частковий поправочний коефіцієнт затінення для звисів, визначають за табл.13 ДСТУ 9190:2022 [1]);

$F_{fin}$  – частковий поправочний коефіцієнт затінення для ребер, визначають за табл.14-1 та табл.14-2 ДСТУ 9190:2022 [1]); якщо ребра з обох боків від вікна, то відповідні значення з таблиць перемножуються (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 - Понижувальні коефіцієнти затінення

	Пн	Сх	Пд	Зх
Fhor	0.99	0.94	0.96	0.95
Fov	0.99	0.99	1	0.99
Ffin	1	1	1	0.98
Fsh	0.98	0.93	0.96	0.92

Тоді, підставляючи в формулу (2.13), отримаємо наступні результати:

- Пн:  $F_{sh} = F_{hor}F_{ov}F_{fin} = 0,99 \cdot 0,99 \cdot 1,0 = 0,98$ ;
- Сх:  $F_{sh} = F_{hor}F_{ov}F_{fin} = 0,94 \cdot 0,99 \cdot 1,0 = 0,93$ ;
- Пд:  $F_{sh} = F_{hor}F_{ov}F_{fin} = 0,96 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,96$ ;
- Зх:  $F_{sh} = F_{hor}F_{ov}F_{fin} = 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 0,92$ ;

Еквівалентна площа інсоляції заскленого елемента (вікна):

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}, \quad (2.14)$$

де  $F_{sh,gl}$  – понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів, у випадку їх відсутності приймаємо  $F_{sh,gl} = 1$ ;

$F_F$  – частка площі обрамлення ; за відсутності точних даних:

- $F_F = 0,3$  – для віконних та дверних блоків,
- $F_F = 0,2$  – для світлопрозорих фасадів будівлі;

$A_{w,p}$  – загальна площа проекції заскленого елемента (наприклад, площа вікна), м<sup>2</sup>;

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

$$g_{gl} = F_w g_n, \quad (2.15)$$

де  $F_w$  – поправочний коефіцієнт для нерозсіюючого скління, приймають  $F_w = 0,9$ ;

$g_n$  – коефіцієнт загального пропускання сонячної енергії при нормальному куті падіння, приймають за таблицею 8 ДСТУ 9190:2022 [1];  $g_n = 0,75$ .

Тоді:

$$g_{gl} = 0,9 \cdot 0,75 = 0,675.$$

Тоді за формулою еквівалентна площа інсоляції вікна та зашкленних вхідних дверей:

$$A_{sol}^{Вік.Пн} = 1 \cdot 0,9 \cdot 0,675 \cdot 114,55 \cdot (1 - 0,3) \cdot 0 = 54,12 \text{ м}^2,$$

Заносимо дані в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 - Еквівалентна площа інсоляції вікна та зашкленних вхідних дверей

		Пн	Сх	Пд	Зх
A sol, м <sup>2</sup>	Вікна	54,12	90	54,12	98,99
	Двері				7,08

Еквівалентна площа інсоляції непрозорого елемента будівлі:

$$A_{sol} = a_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c, \quad (2.16)$$

де  $a_{S,c}$  – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною, приймають за даними таблиці 10 ДСТУ 9190:2022 [1];

- для стін  $a_{S,c} = 0,7$  (штукатурка вапняна темно-сіра або теракотова);

- для даху  $a_{S,c} = 0,9$  (сталь листовая, пофарбована темно-червоною фарбою);

										Арк.
										32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

$R_{se}$  – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ,  
приймають  $R_{se} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$  згідно ДСТУ 9190:2022 [1];

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

$A_c$  – площа проекції непрозорої частини (стіни, дах),  $\text{м}^2$ .

Тоді, підставляючи значення до формули (3.20), отримаємо для стін і даху відповідно до орієнтації по сторонам світу.

$$A_{sol}^{Пн} = 0.7 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{1,1} \cdot 318,3 = 8,7 \text{ м}^2,$$

Заносимо дані в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 - Еквівалентна площа інсоляції стін та даху

		Пн	Сх	Пд	Зх
$A_{sol}, \text{м}^2$	Стіни	8,7	20,52	8,7	20,52
	Дах	26,36	-	-	-

Значення сонячної радіації,  $I_{sol,k}$ , що характеризують енергетичну освітленість  $k$ -ої приймальної поверхні з визначеною орієнтацією та кутом нахилу за умов середньої хмарності ( $\text{Вт} / \text{м}^2$ ), визначено відповідно до положень Додатка А (таблиця А.4) ДСТУ 9190:2022 [1]. Відповідні нормативні дані систематизовано у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Середньомісячна сумарна сонячна радіація, що надходить на вертикальну та горизонтальну поверхню для середніх умов хмарності (м. Олександрія)

Місяць	$I_{sol}, \text{Вт} / \text{м}^2$ (м. Олександрія)				
	Пн	Сх	Пд	Зх	горизонтальна
I	14	23	56	24	36
II	25	38	73	41	64
III	32	57	91	61	107

Продовження таблиці 2.8.

IV	40	81	96	77	158
V	55	106	100	100	219
VI	67	120	101	113	252
VII	61	116	102	112	237
VIII	44	101	110	95	202
IX	28	80	119	75	151
X	20	46	93	45	85
XI	12	20	47	20	37
XII	9	15	37	16	24

Додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від  $k$ -го елемента будівлі  $\Phi_{r,k}$  в загальному випадку визначається наступним чином, Вт:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \quad (2.17)$$

де  $U_c$  – коефіцієнт теплопередачі для кожного елемента будівлі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$A_c$  – площа проекції елемента, м<sup>2</sup>;

$h_r$  – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні, Вт/(м<sup>2</sup>·К), який наближено можна визначити наступним чином:

$$h_r = 5 \cdot \varepsilon \quad (2.18)$$

де  $\varepsilon = 0,7$  для стіни;  $\varepsilon = 0,5$  для вікон.

Тоді для стін коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні дорівнюватиме:

$$h_r = 5 \cdot 0,7 = 3,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Для вікон коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні дорівнюватиме:

										Арк.
										34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

$$h_r = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$\Delta\theta_{er}$  – середня різниця між температурою зовнішнього повітря та уявною температурою атмосфери, для помірних широт приймають  $\Delta\theta_{er} = 11 \text{ К}$  згідно з ДСТУ 9190:2022 [1].

Розрахуємо додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу за попередньою формулою:

– для світлопрозорих поверхонь (вікна, заklenі вхідні двері):

$$\Phi_{r(\text{вікна})}^{\text{Пн}} = 225,76 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{r(\text{вікна})}^{\text{Сх}} = 375,44 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{r(\text{вікна})}^{\text{Пд}} = 225,76 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{r(\text{вікна})}^{\text{Зх}} = 412,89 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{r(\text{вхідні двері})}^{\text{Зх}} = 29,56 \text{ Вт}$$

– для непрозорих конструкцій (стіни, дах):

$$\Phi_r^{\text{Пн}} = 615,91 \text{ Вт}$$

$$\Phi_r^{\text{Сх}} = 1451,25 \text{ Вт}$$

$$\Phi_r^{\text{Пд}} = 615,91 \text{ Вт}$$

$$\Phi_r^{\text{Зх}} = 1451,25 \text{ Вт}$$

$$\Phi_r^{\text{пл.дах}} = 1450 \text{ Вт}$$

## 2.4 Визначення сонячних теплонадходжень через елементи будівлі за рік

Визначимо сонячні теплонадходження через  $k$ -ий елемент будівлі за формулою, зазначеною на початку підрозділу, Вт:

(на прикладі одного місяця - січня)

$$\Phi_{\text{sol,mn},k} = F_{\text{sh,ob},k} A_{\text{sol},k} I_{\text{sol},k} - F_{r,k} \Phi_{r,k}. \quad (2.19)$$

– стіни:

$$\Phi_{\text{sol,mn,ст.Пн}} = -188,44 \text{ Вт}$$

									Арк.
									35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

$$\Phi_{\text{sol,mn,ст.Сх}} = -286,36 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,ст.Пд}} = 160,29 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,ст.Зх}} = -271,65 \text{ Вт}$$

– вікна:

$$\Phi_{\text{sol,mn,вік.Пн}} = 629,79 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,вік.Сх}} = 1738,86 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,вік.Пд}} = 2796,87 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,вік.Зх}} = 1983,24 \text{ Вт}$$

– вхідні засклені двері:

$$\Phi_{\text{sol,mn,дв.ПнЗх}} = 142 \text{ Вт}$$

– дах:

$$\Phi_{\text{sol,mn,пл.дах}} = -508,28 \text{ Вт}$$

Разом за січень через усі елементи огороження:

$$\left( \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right) = 6196,32 \text{ Вт}$$

Тоді за попередньою формулою визначимо теплонадходження від сонця для січня місяця. кВт·год:

$$Q_{\text{sol}} = \left( \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right) \cdot t \cdot 10^{-3} = 6196,32 \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 4610,06 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Далі розрахунок для інших місяців року та періоду охолодження відбувається аналогічно.

Проміжні розрахунки для кожного місяця наведені в таблиці 2.9

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			



Безрозмірний коефіцієнт використання теплових надходжень для режиму опалення  $\eta_{H,gn}$  – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти,  $\gamma_H$ , та числового параметра  $\alpha_H$ , який залежить від інерції будівлі.

Покажемо розрахунок цього коефіцієнту на прикладі січня місяця. Знайдемо безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}, \quad (2.21)$$

$$\gamma_H^I = \frac{13391,39}{147711,72} = 0,09.$$

Так як  $\gamma_H^I > 0$  та  $\gamma_H^I \neq 1$  скористаємося наступною формулою (у разі інших співвідношень потрібно використати формули з розділу 12.2 ДСТУ 9190:2022 [1]):

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{\alpha_H}}{1 - \gamma_H^{\alpha_H + 1}}, \quad (2.22)$$

де  $\alpha_H$  – безрозмірний числовий параметр, що залежить від часової константи будівлі  $\tau_H$ , визначений за формулою:

$$\alpha_H = \alpha_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad (2.23)$$

де  $\alpha_{H,0}$  – довідковий безрозмірний числовий параметр, приймають рівним 1,0 ДСТУ 9190:2022 [1];

$\tau_{H,0}$  – довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год ДСТУ 9190:2022 [1];

$\tau$  – часова константа зони будівлі, год:

$$\tau = \frac{c_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (2.24)$$

									Арк.
									38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

де  $H_{tr,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К, розраховане в п. вище;

$H_{ve,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К, розраховане в п. вище;

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

$c_m$  – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт·год/К:

$$c_m = C \cdot A_f, \quad (2.25)$$

де  $C$  – внутрішня теплоємність будівлі, обирається за табл.15 ДСТУ 9190:2022 [9], для розрахунку обираємо  $C = 80$  Вт·год/(м<sup>2</sup>·К);

$A_f$  – кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м<sup>2</sup>.

Тоді підставляємо значення у формулу:

$$c_m = 80 \cdot 1944 = 155520 \text{ Вт} \cdot \text{год/К}$$

Тоді, підставляючи значення до формули (2.24), отримаємо:

$$\tau = \frac{155520}{5982,4 + 1290} = 21,38 \text{ год.}$$

Тоді безрозмірний числовий параметр за формулою (2.23):

$$\alpha_H = 1 + \frac{21,38}{15} = 2,43.$$

Підставимо отримане значення у формулу (2.22):

$$\eta_{H,gn}^I = \frac{1 - 0,09^{2,43}}{1 - 0,09^{2,43+1}} = 0,997.$$

Результати розрахунку безрозмірного коефіцієнту для кожного з місяців опалювального періоду наведені у таблиці 2.11.

									Арк.
									39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

Таблиця 2.11 – Розрахунок безрозмірного коефіцієнту для кожного місяця

Місяць	$\gamma_H$	$c_m, \text{Вт} \cdot \text{год}/\text{К}$	$\tau, \text{год}$	$\alpha_H$	$\eta_{H,gn}$
I	0,09	155520	21,38	2,43	1,00
II	0,13				0,99
III	0,20				0,98
IV	0,39				0,94
V	0,91				0,74
VI	1,97				0,45
VII	3,95				0,25
VIII	2,41				0,38
IX	0,68				0,83
X	0,26				0,97
XI	0,11				1,00
XII	0,08				1,00

Для визначення сумарної енергопотреби на опалення скористаємося формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad (2.26)$$

де  $Q_{H,ht}$  – сумарна теплопередача в режимі опалення, кВт·год, визначені в п.3.3;

$\eta_{H,gn}$  – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень, визначений в п.3.7;

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

Покажемо розрахунок на прикладі січня місяця:

$$Q_{H,nd}^I = 125189.6 - 1 \cdot 8516.2 = 116673.4 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Результати розрахунків енергопотреби на опалення зведені у таблицю 2.12, а на потреби охолодження – в таблицю 2.13.

Таблиця 2.12 – Енергопотреба на опалення

Місяць	$Q_{H,ht}$ , кВт·год	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,gn}$ , кВт·год	$Q_{H,nd}$ , кВт·год
I	147711,72	1,00	13391,39	134356,37
II	128041,26	0,99	16113,01	112020,64
III	115247,61	0,98	23014,13	92604,94
IV	69117,15	0,94	26947,62	43912,42
V	37333,73	0,74	33836,72	12225,99
VI	18326,52	0,45	36085,37	1933,25
VII	9198,17	0,25	36366,70	247,10
VIII	13526,71	0,38	32626,43	983,89
IX	39794,72	0,83	27037,53	17381,71
X	76290,67	0,97	19885,35	56974,58
XI	104722,95	1,00	11940,87	92836,70
XII	134185,01	1,00	10764,01	123442,77
Разом				688920,35

Таблиця 2.13 – Енергопотреба на охолодження

Місяць	$Q_{C,ht}$ , кВт·год	$\eta_{C,gn}$	$Q_{C,gn}$ , кВт·год	$Q_{C,nd}$ , кВт·год
I	158533,09	1,00	13391,39	-144779,93
II	137815,40	1,00	16113,01	-121034,71
III	126068,98	0,99	23014,13	-101384,81
IV	79589,44	0,95	26947,62	-48740,42
V	48155,10	0,82	33836,72	-5645,78
VI	28798,81	0,62	36085,37	18091,07
VII	20019,54	0,48	36366,70	26683,55
VIII	24348,09	0,60	32626,43	18036,92
IX	50267,02	0,88	27037,53	-17367,46
X	87112,04	0,98	19885,35	-65346,79
XI	115195,25	1,00	11940,87	-102831,44
XII	145006,38	1,00	10764,01	-133997,82

Згідно з приміткою в підпункті 14.1 ДСТУ 9190:2022, якщо питоме значення енергопотреби для певного місяця не перевищують значення в 0,1 кВт·год/м<sup>2</sup>, то результати розрахунку цього місяця можна приймати рівним 0.

Питоме значення енергопотреби визначається за наступною формулою:

$$q_{H,nd} = \frac{Q_{H,nd}}{S} \quad (2.27)$$

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Розрахунок питомого значення для опалення

$$q_{H,nd} = \frac{134356.37}{1944} = 5,05 \text{ (кВт} \cdot \text{год) / м}^2$$

Розрахунок питомого значення для опалення

$$q_{C,nd} = \frac{-144779,93}{1944} = -6,27 \text{ (кВт} \cdot \text{год) / м}^2$$

Результати оновлених розрахунків енергопотреби наведені в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 - Енергопотреба на опалення та охолодження після врахування примітки

Місяць	$Q_{H,nd}$ , кВт·год	$Q_{C,nd}$ , кВт·год
I	134356,37	0,00
II	112020,64	0,00
III	92604,94	0,00
IV	43912,42	0,00
V	12225,99	0,00
VI	1933,25	18091,07
VII	0,00	26683,55
VIII	983,89	18036,92
IX	17381,71	0,00
X	56974,58	0,00
XI	92836,70	0,00
XII	123442,77	0,00
Разом	688673,25	62811,545

Надалі значення з нулями розраховуватись не будуть.

Енергоспоживання визначається як сума енергетичної потреби та сукупних теплових втрат, що виникають у процесах генерації, акумулювання, транспортування, регулювання, розподілу й віддачі теплової енергії.

Розрахунок загальних тепловтрат підсистеми тепловіддачі виконується на щомісячній основі за наведеною формулою (у Вт·год):

$$Q_{H,em,ls,i} = \left( \frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,em,out}, \quad (2.28)$$

де  $Q_{H,em,out,i} = Q_{H,nd,i}$  – енергія виходу від підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць, Вт год, визначається в п. 3.8;

$f_{hydr}$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи, визначається за таблицею 18 ДСТУ 9190:2022 [1],  $f_{hydr} = 1,03$ ;

$f_{im}$  – коефіцієнт, що враховує застосування періодичного теплового режиму приміщення,

-  $f_{im} = 1$  для постійного теплового режиму;

$f_{rad}$  – коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку використовується тільки для променевих систем опалення, тож

-  $f_{rad} = 1$ ;

$\eta_{em}$  – загальний рівень ефективності тепловіддавальної складової системи, визначається за формулою:

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})]} \quad (2.29)$$

де  $\eta_{ctr}$  – складова, яка враховує регулювання температури в приміщенні, визначається за табл. 17 ДСТУ 9190:2022 [1],  $\eta_{ctr} = 0,86$ ;

$\eta_{emb}$  – складова, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень, використовується для вбудованих систем опалення, тож  $\eta_{emb} = 1$ ;

$\eta_{str}$  – складова, яка враховує вертикальний профіль температури повітря в приміщенні, визначається, як середнє значення "температурного напору" та "питомих тепловтрат зовнішніх огорожувальних конструкцій" за формулою:

$$\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2} \quad (2.30)$$

де  $\eta_{str1}, \eta_{str2}$  – обираються за табл. 17 ДСТУ 9190:2022 [1],  $\eta_{str1} = 0,88$  для температурного напору 42,5 К та, враховуючи, що прилади опалення встановлені під вікнами без радіаційного захисту  $\eta_{str2} = 0,83$ .

Підставимо значення у формулу:

											Арк.
											43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис								

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (0,855 + 0,86 + 1)]} = 0,778.$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми для січня за формулою:

$$Q_{H,em,ls}^I = \left( \frac{1,03 \cdot 1 \cdot 1}{0,778} - 1 \right) \cdot 134356,37 = 43471 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергію входу для підсистеми тепловіддачі розраховується за формулою:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out,i} - k \cdot W_{H,em,aux,i} - Q_{H,em,ls,rvd,i} + Q_{H,em,ls,nrvd,i} \quad (2.31)$$

де  $k$  – коефіцієнт для розрахунку утилізованої частини додаткової енергії впродовж  $i$ -го місяця, показує, що частину додаткової енергії можна утилізувати безпосередньо в підсистемі тепловіддачі як теплоту;

$W_{H,em,aux,i}$  – додаткова енергія впродовж  $i$ -го місяця, Вт·год, розраховується за наявності додаткових джерел енергії, в даному випадку  $W_{H,em,aux,i} = 0$ ;

$Q_{H,em,ls,nrvd,i}$  – неутілізовані тепловтрати для підсистеми тепловіддачі впродовж  $i$ -го місяця, Вт·год, приймають  $Q_{H,em,ls,nrvd,i} = Q_{H,em,ls,i}$ ;

$Q_{H,em,ls,rvd,i}$  – утилізовані тепловтрати підсистем тепловіддачі впродовж  $i$ -го місяця, Вт·год, приймають  $Q_{H,em,ls,rvd,i} = 0$ .

Визначимо енергію входу для підсистеми тепловіддачі для січня місяця, підставивши значення у формулу:

$$Q_{H,em,in,i}^I = 134356,37 + 43471 = 143144,14 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми тепловіддачі для кожного місяця опалювального періоду зведено в таблицю 3.10.

Енергія входу для підсистеми розподілення розраховується за наступною формулою:

$$Q_{H,dis,in,i} = Q_{H,dis,out,i} + Q_{H,dis,ls,nrvd,i} \quad (2.32)$$

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

де  $Q_{H,dis,out,i}$  – енергія виходу з підсистеми розподілення упродовж  $i$ -го місяця, Вт·год,  $Q_{H,dis,out,i} = Q_{H,em,in,i}$ ;

Покажемо розрахунок на прикладі січня місяця:

$$Q_{H,dis,in,i}^I = 143144,14 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми розподілення для кожного місяця опалювального періоду зведено в таблицю 3.10.

Загальні тепловтрати підсистеми генерування (виробництва) теплоти визначаються помісячно за формулою, Вт·год:

$$Q_{H,gen,ls,i} = Q_{H,gen,out,i} \cdot (1 - \eta_{H,gen}) / \eta_{H,gen}, \quad (2.33)$$

де  $Q_{H,gen,out,i}$  – енергія виходу з підсистем генерування упродовж  $i$ -го місяця, Вт·год,

$$- \quad Q_{H,gen,out,i} = Q_{H,dis,in,i};$$

$\eta_{H,gen}$  – ефективність підсистеми генерування теплоти, визначається за табл. 26 ДСТУ 9190:2022 [1], для розглянутої будівлі, де централізоване теплопостачання з центральним якісним регулюванням за температурним графіком до 110°C без зрізки та без коригування в ІТП,  $\eta_{H,gen} = 0,86$ .

Визначимо тепловтрати підсистеми генерування для січня за формулою:

$$Q_{H,gen,ls,i}^I = 143144,14 \cdot (1 - 0,86) / 0,86 = 23302,54 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергоспоживання на потреби опалення визначається за формулою:

$$Q_{H,use,i} = Q_{H,gen,out,i} + Q_{H,gen,ls,i}. \quad (2.34)$$

Визначимо енергоспоживання, підставивши значення у формулу:

$$Q_{H,use,i}^I = 143144,14 + 23302,54 = 166446,68 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Результати розрахунку енергоспоживання підсистемами зведені до таблиці.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Таблиця 2.15 – Енергоспоживання для опалення

Місяць	$Q_{H,em,out}$ , кВт·год	$Q_{H,em,ls}$ , кВт·год	$Q_{H,em,in} =$ $Q_{H,dis,out}$ , кВт·год	$Q_{H,dis,in} =$ $Q_{H,gen,out}$ , кВт·год	$Q_{H,gen,ls}$ , кВт·год	$Q_{H,use}$ , кВт·год
I	134356,37	43471,00	143144,15	143144,15	23302,54	166446,68
II	112020,64	36244,28	119435,74	119435,74	19443,03	138878,77
III	92604,94	29962,33	98984,29	98984,29	16113,72	115098,02
IV	43912,42	14207,86	47489,12	47489,12	7730,79	55219,91
V	12225,99	3955,72	13833,51	13833,51	2251,97	16085,48
VI	1933,25	625,50	2331,42	2331,42	379,53	2710,96
VIII	983,89	318,34	1204,33	1204,33	196,05	1400,38
IX	17381,71	5623,85	19276,01	19276,01	3137,95	22413,96
X	56974,58	18434,12	61083,57	61083,57	9943,84	71027,41
XI	92836,70	30037,31	98954,06	98954,06	16108,80	115062,87
XII	123442,77	39939,91	131495,38	131495,38	21406,22	152901,60
Разом						857246,03

Втрати теплоти підсистемою розподілення охолодження,  $Q_{C,dis,ls}$  кВт·год, визначаються за формулою:

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} \cdot \left( (1 - \eta_{C,ce}) + (1 - \eta_{C,ce,sens}) + (1 - \eta_{C,d}) \right), \quad (2.35)$$

де  $Q_{C,nd}$  – енергопотреба для охолодження;

$\eta_{C,ce}$  – ступінь утилізації теплообміну в системі охолодження, визначається за табл. 29 ДСТУ 9190:2022 [1], для системи охолодження даної будівлі (холодна вода 7/12) обираємо  $\eta_{C,ce} = 1$ ;

$\eta_{C,ce,sens}$  – ступінь явної утилізації теплообміну в системі охолодження, визначається за табл. 29 ДСТУ 9190:2022 [1], для системи охолодження даної будівлі (холодна вода 7/12) обираємо  $\eta_{C,ce,sens} = 0,87$ ;

$\eta_{C,d}$  – ступінь утилізації підсистеми розподілення, визначається за табл. 29 ДСТУ 9190:2022 [9], для системи охолодження даної будівлі (холодна вода 7/12) обираємо  $\eta_{C,d} = 0,9$ .

Покажемо приклад розрахунку за формулою (4.7) для червня місяця:

$$Q_{C,dis,ls}^{VI} = 18091,07 \cdot \left( (1 - 1) + (1 - 0,87) + (1 - 0,9) \right) = 4160,95 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

									Арк.
									46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

Енергія входу для підсистеми розподілення визначається за формулою, кВт·год:

$$Q_{C,dis,in} = Q_{C,dis,out} + Q_{C,dis,ls}, \quad (2.36)$$

де  $Q_{C,dis,out}$  – енергія виходу підсистеми розподілення упродовж  $i$ -го місяця, Вт·год,  $Q_{C,dis,out} = Q_{C,nd}$ .

Підставимо значення у формулу (4.8):

$$Q_{C,dis,in}^{VI} = 18091,07 + 4160,95 = 22252 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Енергія виходу для підсистеми генерування (виробництва) визначається за формулою, кВт·год:

$$Q_{C,gen,out} = Q_{C,dis,in} / \eta_{C,ac}, \quad (2.37)$$

де  $Q_{C,dis,in}$  – енергія входу для підсистеми розподілення, визначена у п. 4.9.1;  
 $\eta_{C,ac}$  – ефективність автоматичного управління/регулювання, обирається в залежності від класу ефективності системи [1], для системи класу В  $\eta_{C,ac} = 0,93$ .

Покажемо розрахунок за формулою для червня місяця:

$$Q_{C,gen,out}^{VI} = 22252 / 0,93 = 23926,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми генерування (виробництва), кВт·год, за формулою:

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} (1 - \eta_{C,gen}) / \eta_{C,gen}, \quad (2.38)$$

де  $\eta_{C,gen}$  – ефективність підсистеми генерування (виробництва), визначається шляхом множення сезонного коефіцієнта енергоефективності на ефективність генерування (виробництва) енергії для установки, обирається за табл. 30 ДСТУ 9190:2022 [1], так як охолодження відбувається за допомогою компресорної машини з тепловідведенням до зовнішнього повітря:

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

$$\eta_{c,gen} = 2,25\eta_{pg} \quad (2.39)$$

де  $\eta_{pg} = 1$  – ефективність генерації електроенергії при відсутності електрогенератора.

Розрахуємо загальні тепловтрати підсистеми генерування для червня:

$$Q_{C,gen,ls}^{VI} = 23926,9 \cdot (1 - 2,25)/2,25 = -13292,7 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергоспоживання для охолодження визначається за формулою:

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,gen,ls}. \quad (2.40)$$

Визначимо енергоспоживання для червня за формулою:

$$Q_{C,use}^{VI} = 23926,9 + (-13292,7) = 10634,2 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Розрахунок енергоспоживання для періоду охолодження наведено у табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Енергоспоживання для охолодження

Місяць	$Q_{C,dis,out}$ , кВт·год	$Q_{C,dis,ls}$ , кВт·год	$Q_{C,dis,in}$ , кВт·год	$Q_{C,gen,out}$ , кВт·год	$Q_{C,gen,ls}$ , кВт·год	$Q_{C,use}$ , кВт·год
VI	18091,1	4160,9	22252,0	23926,9	-13292,7	10634,2
VII	26683,5	6137,2	32820,8	35291,1	-19606,2	15685,0
VIII	18036,9	4148,5	22185,4	23855,3	-13252,9	10602,3
Разом						36921,5

Визначення класу енергетичної ефективності будівлі здійснюється відповідно до критеріїв, затверджених Наказом № 261 (Таблиця 1) [17]. Класифікація базується на величині показника  $\Delta_{EP}$ , який відображає відсоткове відхилення розрахункового питомого енергоспоживання на потреби опалення та охолодження  $EP_{use}$ , кВт·год/м<sup>3</sup> від нормативно встановленого граничного значення  $EP_p$  або кВт·год/м<sup>3</sup>). Показник  $\Delta_{EP}$  визначається за формулою, %:

$$\Delta_{EP} = [(EP_{use} - EP_p) / EP_p] \cdot 100, \quad (2.41)$$

де  $EP_{use}$  – загальне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні, кВт·год/м<sup>2</sup>, [кВт·год/м<sup>3</sup>]:

$$EP_{use} = EP_{H,use} + EP_{C,use}, \quad (2.42)$$

де  $EP_{H,use}$ ,  $EP_{C,use}$  – питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні відповідно, кВт·год/м<sup>2</sup>, [кВт·год/м<sup>3</sup>].

Для розглянутої будівлі:

$$- EP_{H,use} = 166446,68/5832 = 146,99 \text{ кВт·год/м}^3;$$

$$- EP_{C,use} = 36921,5/5832 = 6,33 \text{ кВт·год/м}^3.$$

Підставимо значення у формулу:

$$EP_{use} = 146,99 + 6,33 = 153,32 \text{ кВт·год/м}^3.$$

$EP_p$  – граничне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні; Відповідно до Додатку до Наказу №260 [18] для будівлі дитячих дошкільних, розміщеної у I температурній зоні України становить, кВт·год/м<sup>3</sup>:

$$EP_p = 32 \text{ кВт·год/м}^3,$$

Розрахуємо показник  $\Delta EP$ , підставивши значення у формулу:

$$\Delta EP = [(153,32 - 32) / 32] \cdot 100 = 379\%.$$

За допомогою таблиці 1 Наказу №261 [17] визначаємо клас енергоефективності даної будівлі. Отримане значення відповідає класу енергоефективності G.

## 2.5 Висновки за розділом 2

У другому розділі виконано комплексний аналіз існуючих систем енергопостачання об'єкта, зокрема систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, а також засобів обліку, автоматизації та управління енергоспоживанням. Встановлено, що інженерні системи лікарні

									Арк.
									49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

функціонують переважно за застарілими схемами, які не забезпечують ані гнучкого регулювання теплових режимів, ані ефективного використання внутрішніх та зовнішніх теплонадходжень. Двотрубна система опалення з високою тепловою інерцією приладів та відсутністю покімнатного регулювання призводить до гідравлічної розбалансованості та локальних перегрівів приміщень.

Проведена оцінка систем обліку та автоматизації показала, що наявність комерційного обліку теплової та електричної енергії не супроводжується повноцінним енергетичним моніторингом і аналізом, що унеможлиблює впровадження дієвої системи енергоменеджменту. Відсутність субобліку та автоматизованого управління вентиляційними системами значно знижує загальну енергоефективність будівлі. Отримані результати підтверджують необхідність комплексної модернізації як інженерних систем, так і підходів до управління енергоспоживанням.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

### 3 УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОФЕКТИВНІСТЮ ТА ІНЖИНІРИНГ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

#### 3.1 Вибір і розрахунок обладнання при реконструкції системи теплопостачання та ГВП

Необхідну теплову потужність визначаємо за середньогодинною витратою гарячої води. Згідно з фактичними, добова витрата становить 18,83 м<sup>3</sup>/добу. Припускаючи рівномірний розподіл протягом робочого дня (з 7:00 до 19:00) розраховується за формулою:

$$G_{\text{год}} = \frac{G_{\text{роб}}}{\tau_{\text{роб}}} \quad (3.1)$$

де,  $G_{\text{роб}}$  – добова витрата 18,83 м<sup>3</sup>/добу;

$\tau_{\text{роб}}$  – час роботи будівлі, год

$$G_{\text{год}} = \frac{18,83}{12} = 1,57 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахункова теплова потужність для нагріву води від  $t_{\text{хол}} = 10^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{гар}} = 60^\circ\text{C}$  розраховується за формулою:

$$P = \frac{(G_{\text{год}} * c * (t_{\text{гар}} - t_{\text{хол}}))}{0,86 * 1000} \quad (3.2)$$

де  $c$  – питома теплоємність води

$$P = \frac{(1,57 * 1000 * (60 - 10))}{0,86 * 1000} = 91,28 \text{ кВт}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу 10% для покриття пікових навантажень, приймаємо до встановлення розбірний пластинчастий теплообмінник потужністю 100 кВт Danfoss XB 51 [13], що зображений на рисунку 3.1.

									Арк.
									51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						



Рисунок 3.1 - Пластинчастий теплообмінник Danfoss XB 51 [13]

Для забезпечення миттєвої подачі гарячої води у віддалені точки водорозбору (групові осередки, харчоблок) передбачено лінію рециркуляції. Витрату циркуляційного насоса приймаємо на рівні 30% від розрахункової витрати ГВП:

$$G_{\text{цирк}} = 0,3 * 1,57 = 0,47 \text{ м}^3/\text{год}$$

Однак, враховуючи можливі гідравлічні втрати у розгалуженій системі будівлі, обираємо насос із запасом продуктивності. Орієнтовний напір насоса для подолання опору термостатичних клапанів та трубопроводів:

$$H = 4,0 - 5,0 \text{ м}$$

Для цього підійде циркуляційний насос Wilo Star-Z NOVA T [14] з робочою точкою  $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{год}$ , що зображений на рисунку 3.2.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			



$$G_{\text{мер}} = \frac{P * 0,86}{\Delta T} \quad (3.4)$$

де  $P$  – потужність теплообмінника, кВт.

$$G_{\text{мер}} = \frac{91,28 * 0,86}{30} = 2,62 \text{ м}^3/\text{год}$$

Пропускна здатність клапана ( $K_v$ ) при перепаді тиску  $\Delta P = 0,5$  бар знаходиться за формулою:

$$K_v = \frac{G_{\text{мер}}}{\sqrt{\Delta P}} \quad (3.5)$$

$$K_v = \frac{2,62}{\sqrt{0,5}} = 3,7$$

Обирається клапан з найближчим більшим значенням пропускної здатності, а саме  $K_v = 4 \text{ м}^3/\text{год}$ . Для цього підходить клапан Danfoss VB 2 DN 20 [15], що зображений на рисунку \*\*.



Рисунок 3.3 - Регулюючий клапан Danfoss VB 2 DN 20 [15]

Наступним кроком необхідно розрахувати об'єм розширювального бака за наступною формулою:

$$V_{\text{бака}} = \frac{V_{\text{sys}} * e}{D} \quad (3.6)$$

де,  $V_{\text{sys}}$  - повний об'єм води в системі гарячого водопостачання, л;

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

$e$  – коефіцієнт теплового розширення води;

$D$  - коефіцієнт ефективності (використання об'єму) бака

Оскільки точна довжина всіх трубопроводів на етапі проектування визначається орієнтовно, об'єм системи складається з об'єму води в теплообміннику та трубопроводах.

- Об'єм теплообмінника (Danfoss XB 51) – 5л.

- Об'єм трубопроводів.

Для ДУ 32 –  $0,53 \text{ л/м} * 60 \text{ м} = 32 \text{ л}$ . Для ДУ 20 –  $0,20 \text{ л/м} * 150 \text{ м} = 30 \text{ л}$ .

Змійовики, підводки, рушникосушарки приблизно 50 л.

Сумарний об'єм системи складає:

$$5+32+30+50 = 117 \text{ л.}$$

Приймаємо  $V_{\text{sys}} = 120 \text{ л}$ .

Коефіцієнт розширення води показує, на скільки збільшиться об'єм води при нагріванні. Він визначається за різницею густини води за формулою:

$$e = \frac{\rho_{\text{хол}} - \rho_{\text{гар}}}{\rho_{\text{гар}}} \quad (3.7)$$

де  $\rho_{\text{хол}}$  – густина води при  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $999,7 \text{ кг/м}^3$

$\rho_{\text{гар}}$  – густина води при  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $983,2 \text{ кг/м}^3$

$$e = \frac{999,7 - 983,2}{999,7} = 0,017$$

Коефіцієнт ефективності бака показує, яку частину повного об'єму бака може зайняти вода, розраховується за формулою нижче. Він залежить від налаштувань тиску.:

$$D = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{P_{\text{max}} + 1} \quad (3.8)$$

де,  $P_{\text{max}}$  – максимальний допустимий тиск в системі, приймається 6 бар;

$P_{\text{min}}$  – початковий тиск холодної води на вході у систему, приймається 4 бар.

										Арк.
										55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							



### 3.2 Рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів дошкільного навчального закладу

Для підвищення енергоефективності дошкільного закладу доцільно реалізувати комплекс організаційно-управлінських заходів. Одним із ключових кроків є гідравлічне балансування системи опалення та впровадження покімнатного регулювання температури повітря. Це усуне перегрів окремих приміщень (особливо на південній стороні будівлі) і відповідно зменшить потребу в неефективному провітрюванні через відчинені вікна, що наразі призводить до прямих втрат тепла. Оптимізація розподілу теплоносія між приміщеннями й встановлення терморегуляторів на опалювальних приладах забезпечить рівномірний комфортний мікроклімат без перевитрат енергії.

Крім того, необхідно впровадити раціональний тепловий режим шляхом нічного зниження температури у неопалювальні години. Перехід на такий переривчастий графік опалення (з тимчасовим зниженням температури повітря в приміщеннях на кілька градусів у нічний час або під час відсутності вихованців та персоналу) дозволить скоротити споживання теплової енергії приблизно на 10% за рік без негативного впливу на комфорт. Це підтверджується розрахунками та літературними даними, згідно з якими зниження внутрішньої температури на 3°C протягом ~12 годин щодоби не погіршує умов перебування, але дає суттєву економію тепла. Таким чином, нічне зниження температури є ефективним організаційним заходом енергозбереження для даного закладу.

Важливим напрямом підвищення ефективності є також вдосконалення вентиляції. Необхідно відновити працездатність наявної механічної припливної вентиляції харчоблоку та пральні, оснастивши її сучасними засобами автоматизації – частотними перетворювачами на вентиляторах, системою захисту калориферів від замерзання і автоматизованим регулюванням графіка роботи. Налагодження керованого вентиляційного

										Арк.
										57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

режиму усуне хаотичний повітрообмін через нещільності у вікнах та дверях, який зараз відбувається без контролю і призводить до зайвих тепловтрат. Іншими словами, замість постійного некерованого провітрювання слід забезпечити організований обмін повітря відповідно до потреб: наприклад, вентиляція має працювати за розкладом і інтенсивністю, оптимальною для реальних умов кухні та пральні, з мінімізацією втрат тепла. Це не лише знизить енергоспоживання на опалення (за рахунок скорочення інфільтраційних втрат), але й покращить санітарно-гігієнічні умови всередині будівлі.

Наступним критично важливим заходом є впровадження ефективної системи обліку та управління енергоспоживанням. Рекомендується запровадити комплексну систему енергетичного менеджменту в закладі, що передбачає постійний моніторинг витрат теплової і електричної енергії, своєчасний аналіз отриманих даних і оперативне коригування режимів роботи обладнання. Зокрема, слід повною мірою задіяти можливості існуючого індивідуального теплового пункту (ІТП): налагодити автоматичне погодне регулювання подачі теплоносія в систему опалення залежно від температури зовнішнього повітря та впровадити нічний економайзер тепла відповідно до згаданого режиму. Одночасно варто здійснювати детальніший внутрішній облік енерговитрат (за зонами будівлі чи видами споживання) на додаток до комерційних лічильників, щоб отримувати оперативну інформацію про ефективність роботи кожної системи. Такий підхід дозволить переходити від реактивного контролю ("post factum") до проактивного управління енергією: виявляти та усувати випадки нераціонального використання енергоресурсів у режимі реального часу, впроваджувати додаткові заходи економії, а також оптимально налаштовувати роботу обладнання згідно з актуальними потребами закладу.

Запропонований комплекс організаційно-управлінських заходів не потребує значних капіталовкладень, проте забезпечить помітне підвищення енергоефективності дошкільного навчального закладу. Реалізація цих рішень дозволить суттєво знизити втрати теплової енергії та скоротити споживання

										Арк.
										58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

паливно-енергетичних ресурсів, що в кінцевому підсумку зменшить витрати на утримання будівлі. Одночасно покращаться умови перебування дітей і персоналу завдяки більш стабільному дотриманню комфортного температурного режиму. Таким чином, впровадження організаційно-управлінських заходів є невід'ємною складовою підвищення енергоефективності, доповнюючи технічні рішення термомодернізації та забезпечуючи сталий результат.

### **3.3 Техніко-економічне обґрунтування впровадження сучасного енергетичного обладнання чи альтернативного джерела енергії**

З метою підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі запропоновано впровадження заходів із теплоізоляції зовнішніх стінових огорожень. Проектована фасадна система повинна задовольняти наступний комплекс техніко-експлуатаційних вимог:

- забезпечення нормативних показників термічного опору конструкції та належної паропроникності шарів для уникнення вологонакопичення;
- дотримання критеріїв механічної міцності та деформаційної стійкості;
- відповідність чинним нормам пожежної та екологічної безпеки.

Технологічний процес монтажу передбачає виконання анкерного кріплення теплоізоляційного матеріалу у суворій відповідності до регламенту виробника. Особливу увагу слід приділити забезпеченню безперервності теплового контуру, що вимагає обов'язкової ізоляції зовнішніх укосів віконних та дверних прорізів.

Згідно з положеннями чинних державних будівельних норм (ДБН) у сфері теплової ізоляції будівель, при виконанні реконструкції, капітального ремонту або термомодернізації дозволяється зниження нормативного значення приведенного опору теплопередачі до рівня 75%.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Визначення розрахункової товщини утеплювача базується на дотриманні мінімальних вимог до опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій:

$$\delta = (R_{qmin} - R_{факт})\lambda \quad (3.9)$$

де  $R_{qmin}$  - мінімальний допустимий опір теплопередачі;

$R_{факт}$  - опір теплопередачі існуючої непрозорої огорожувальної конструкції

Утеплення запропонується виконати плитами з мінеральної вати з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda = 0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;

$$\delta = (4 - 1,1)0,05 = 0,145 \text{ м}$$

Оскільки товщина утеплювача є нормованою, то було обрано для подальшого розрахунку найближчий -  $\delta = 0,15 \text{ м}$ .



Рисунок 3.5 - Утеплення стін

Опір теплопередачі модернізованої зовнішньої стіни,  $(\text{м}^2\cdot\text{К})/\text{Вт}$ , знайдемо за наступною формулою:

$$R_{\text{мод.ст.}} = R_{\text{з.ст.}} + \frac{\delta_{\text{мін.ват.}}}{\lambda_{\text{мін.ват.}}}, \quad (3.10)$$

де  $\delta_{\text{мін.ват.}}$  - товщина плит з мінеральної вати,  $\delta_{\text{мін.ват.}} = 0,125 \text{ м}$ ;

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

$\lambda_{\text{мін.ват.}}$  - теплопровідність плит з мінеральної вати,  $\lambda_{\text{мін.ват.}}=0,048$  Вт/(м·К);[27]

Підставимо необхідні значення у формулу:

$$R_{\text{мод.ст.}} = 1,17 + \frac{0,15}{0,05} = 4,1 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт};$$

Перевірка нового опору теплопередачі, відносно мінімальних норм.

$$0,75 * R_{q\text{min}} < R_{\text{мод.ст}}$$

$$0,75 * 4 < 4,1$$

Аналіз існуючого стану огорожувальних конструкцій виявив відсутність теплоізоляції покрівлі. У рамках заходів із термомодернізації передбачається влаштування шару утеплювача, що дозволить суттєво знизити трансмісійні тепловтрати. Обов'язковою технічною вимогою є забезпечення надійної гідроізоляції для унеможливлення інфільтрації вологи в структуру ізоляційного матеріалу та несучі елементи будівлі. У якості основного теплоізоляційного матеріалу запропоновано використання мінераловатних плит із розрахунковим коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda = 0,048$  Вт/(м·К);

$$\delta = (7 - 1,52)0,048 = 0,285 \text{ м.}$$

Обирається для подальшого розрахунку  $\delta = 0,250$  м

Опір теплопередачі модернізованого суміщеного покриття, (м<sup>2</sup>·К)/Вт, знайдемо за наступною формулою:

$$R_{\text{ут.оах.}} = R_{\text{оах.}} + \frac{\delta_{\text{мін.ват.}}}{\lambda_{\text{мін.ват.}}}, \quad (3.11)$$

де  $\delta_{\text{мін.ват.}}$  - товщина плит з мінеральної вати для суміщеного покриття -  $\delta_{\text{мін.ват.}}=0,25$  м,

$\lambda_{\text{мін.ват.}}$  - теплопровідність плит з мінеральної вати,  $\lambda_{\text{мін.ват.}}=0,049$  Вт/(м·К);

Підставимо необхідні значення у формулу:

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

$$R_{\text{мод.опр.}} = 1,52 + \frac{0,25}{0,05} = 6,52 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт;}$$

Перевірка нового опору теплопередачі, відносно мінімальних норм.

$$0,75 * R_{qmin} < R_{\text{мод.ст}}$$

$$0,75 * 7 < 6,52$$

Незважаючи на те, що існуючі світлопрозорі конструкції виконані з металопластикового профілю, їхні теплотехнічні характеристики не відповідають чинним нормативним вимогам щодо мінімального термічного опору. З огляду на це, обґрунтовано доцільність їх заміни. Проектним рішенням передбачено встановлення нових віконних блоків, укомплектованих двокамерними склопакетами з енергозберігаючим низькоемісійним покриттям та заповненням міжскляного простору інертним газом (аргоном).



Рисунок 3.6 - Заміна вікон

Реалізація комплексу заходів із термомодернізації призведе до зниження розрахункового теплового навантаження об'єкта, що актуалізує необхідність реконструкції системи тепlopостачання. Для забезпечення потреб опалення запропоновано інсталяцію теплонасосної установки типу «повітря-вода».

Розрахункові показники термічного опору огорожувальних конструкцій, досягнуті в результаті впровадження енергоефективних заходів, наведено у таблиці 3.2.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Таблиця 3.2 - Показники термічного опору до/після утеплення

	Конструкція	Площа, м <sup>2</sup>	R <sub>до</sub>	R <sub>після</sub>
Зовнішнє пов.	Стіни	1010,	1.1	4,1
	Суміщене покриття, м <sup>2</sup>	1035,5	1,52	6,52
	Світлопрозорі конструкції (СК)	479,2	0,6	0.9

Після утеплення термомодернізації робимо перерахунок параметрів і отримаємо наступні параметри енергоспоживання опалення і охолодження після утеплення, які показані в таблицях 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3 – Енергоспоживання для опалення

Місяць	Q <sub>H,em,out</sub>	Q <sub>H,em,is</sub>	Q <sub>H,em,in=</sub> Q <sub>H,dis,out</sub>	Q <sub>H,dis,in=</sub> Q <sub>H,gen,out</sub>	Q <sub>H,gen,is</sub>	Q <sub>H,use</sub>
	кВт·год	кВт·год	кВт·год	кВт·год	кВт·год	кВт·год
I	76461,96	24739,27	81437,69	81437,69	-54291,80	27145,90
II	63401,01	20513,40	67550,74	67550,74	-45033,83	22516,91
III	51316,93	16603,59	54757,73	54757,73	-36505,15	18252,58
IV	22393,14	7245,30	24126,95	24126,95	-16084,64	8042,32
V	4599,85	1488,28	5205,41	5205,41	-3470,27	1735,14
VI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VII	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VIII	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IX	6982,86	2259,31	7755,18	7755,18	-5170,12	2585,06
X	29559,62	9564,02	31647,88	31647,88	-21098,58	10549,29
XI	51548,27	16678,44	54925,46	54925,46	-36616,97	18308,49
XII	70008,22	22651,16	74560,44	74560,44	-49706,96	24853,48
Разом						133989,1 6

Таблиця 3.4. – Енергоспоживання для охолодження

Місяць	Q <sub>c,dis,out</sub> = Q <sub>c,nd</sub>	Q <sub>c,dis,Is</sub>	Q <sub>c,dis,in</sub>	Q <sub>C,gen,out</sub>	Q <sub>C,gen,is</sub>	Q <sub>C,use</sub>
	кВт·год	кВт·год	кВт·год	кВт·год	кВт·год	кВт·год
VI	3371,0	14656,5	18027,5	19384,4	-10769,1	8615,3
VII	4652,4	20227,8	24880,2	26752,9	-14862,7	11890,2
VIII	3554,6	15454,6	19009,2	20440,0	-11355,5	9084,4
Разом						29590

Визначаємо клас енергетичної ефективності будівлі після утеплення:

$$- EP_{H,use} = 133989/5832 = 22,97 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3;$$

$$- EP_{C,use} = 29590/5832 = 5,07 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3;$$

$$EP_{use} = 22,97 + 5,07 = 28,04$$

Розрахуємо показник  $\Delta_{EP}$  після термомодернізації

$$\Delta_{EP} = [(28,04 - 32) / 32] \cdot 100 = -12,35 \%$$

За допомогою таблиці 1 Наказу №261 [17] визначаємо клас енергоефективності даної будівлі. Отримане значення відповідає класу енергоефективності «С».

### 3.4 Висновки за розділом 3

У третьому розділі обґрунтовано технічні та організаційні рішення, спрямовані на підвищення енергоефективності будівлі шляхом реконструкції систем теплопостачання і гарячого водопостачання та впровадження елементів енергетичного менеджменту. Виконаний вибір і розрахунок обладнання підтвердив доцільність переходу до сучасних низькотемпературних режимів роботи систем із застосуванням високоефективних джерел тепла.

Запропоновані організаційно-управлінські заходи, включаючи оптимізацію графіків роботи інженерних систем, контроль параметрів мікроклімату та впровадження системи енергоменеджменту, дозволяють суттєво знизити споживання енергії без погіршення умов перебування персоналу та дітей. Проведене техніко-економічне обґрунтування підтвердило економічну доцільність впровадження сучасного енергетичного обладнання та створює підґрунтя для поетапної реалізації заходів модернізації.

										Арк.
										64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

## **4 СПЕЦПИТАННЯ. «МОДЕЛЮВАННЯ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОМБІНОВАНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ». (ТЕПЛОВІ НАСОСИ, ФЕС, СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ)**

### **4.1 Комп'ютерне моделювання систем енергозабезпечення об'єктів в програмних середовищах: RETScreen, PV\*Sol, T\*Sol, GeoT\*Sol, MathCAD**

Програмний комплекс RETScreen [19] є потужним аналітичним інструментом, призначеним для проведення комплексного техніко-економічного обґрунтування проектів реновації будівель, а також оцінки їх енергетичної ефективності. Функціональні можливості середовища дозволяють здійснювати моніторинг і верифікацію фактичних експлуатаційних показників об'єктів, ідентифікувати потенціал енергозбереження та оцінювати ефективність локальної генерації енергії.

Застосування RETScreen уможливорює дослідження шляхів підвищення енергоефективності для широкої типології об'єктів: від індивідуальної житлової забудови та багатоквартирних комплексів до адміністративних споруд, закладів охорони здоров'я та масштабних промислових підприємств. Програмне забезпечення дозволяє моделювати та оцінювати ефективність впровадження заходів за різними напрямками, зокрема: покращення теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій, модернізацію систем вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання, а також оптимізацію роботи насосного та вентиляційного обладнання.

Окрім цього, інструментарій програми дозволяє аналізувати технологічні процеси, пов'язані з використанням електричної та теплової енергії, пари, систем рекуперації, а також виконувати розрахунок втрат енергоносіїв (теплоти, пари, стисненого повітря). Даний підхід є універсальним і може бути застосований як при проектуванні нового

										Арк.
										65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

будівництва, так і в рамках модернізації існуючого фонду. Архітектура програми забезпечує гнучкість аналізу, дозволяючи здійснювати як системне моделювання об'єкта в цілому, так і детальне вивчення окремих підсистем або приміщень.

Як відображено на рисунку 4.1, для проведення коректного моделювання було ідентифіковано та обрано найближчу метеорологічну станцію, що володіє релевантною базою кліматичних даних. Тип аналітичного дослідження визначено як «Заходи з енергозбереження». Такий підхід уможливорює проведення порівняльного аналізу базового стану будівлі (до реконструкції) та проектного варіанту, що передбачає імплементацію енергоефективних рішень.

Інформація по проєкту		<a href="#">Див. базу проєктів</a>
Назва проєкту	КПІ ім. Ігоря Сікорського, корпус №30	
Місце розташування проєкту	КПІ ім. Ігоря Сікорського, корпус №30	
Підготовано для	Підготовано	
Тип проєкту	Заходи з енергозбереження	
Тип об'єкту	Комерційний	
Тип аналізу	Метод 1	
Нормативна величина для опалення	Вища температура згорання	
Показати настройки	<input checked="" type="checkbox"/>	
Мова	Ukrainian - Українська	
Керівництво користувача	English - Anglais	
Валюта	\$	
Одиниці	Метричні одиниці	
Вихідні умови місцезнаходження		<a href="#">Оберіть кліматичну зону</a>
Розміщення кліматичних даних	Ottawa Int'l Airport	
Показат дані	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 4.1 – Інформація про проєкт

Наступний етап моделювання передбачає конфігурацію параметрів енергоносіїв та часових графіків експлуатації об'єкта. З огляду на функціональну специфіку закладу, введення тарифних ставок на електричну енергію та природний газ здійснено відповідно до цінової політики, діючої для бюджетних установ.

Критичним фактором для забезпечення валідності моделі є точність завдання температурних уставок та графіків присутності користувачів. Як

										Арк.
										66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							



RETScreen

Оболонка будівлі

Опис

Панічка сторони будівлі

Розклад

Опис

Оболонка будівлі	Базовий випадок				Запропонований випадок				Додаткові капітальні затрати
	Північ	Схід	Південь	Захід	Північ	Схід	Південь	Захід	
Стіни	Базовий випадок = запропонованому								
Площа	m <sup>2</sup>	226,17	279,21	226,17	226,17	279,21	226,17	279,21	
г-значення	m <sup>2</sup> · °C/Wt	0,921	1,096	1,096	4	4	4	4	\$ 116 225
Вікно	Базовий випадок = запропонованому								
Площа	%	33,8	174,9	95,6	33,8	174,9	95,6	174,9	
г-значення	m <sup>2</sup> · °C/Wt	0,624	0,624	0,624	0,9	0,9	0,9	0,9	\$ 105 424
Коефіцієнт теплопотуку від сонячної радіації		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Сонячне затінення - сезон використання	Базовий випадок = запропонованому								
Двері	Базовий випадок = запропонованому								
Площа	%	9,9	18,3	15,5	9,9	18,3	15,5	18,3	
г-значення	m <sup>2</sup> · °C/Wt	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	\$ 19 840
Дах	Базовий випадок = запропонованому								
Площа	m <sup>2</sup>	1 035,5		1 035,5		7			\$ 77 625
г-значення	m <sup>2</sup> · °C/Wt	1,515		5		5			\$ 82 800
Підлога	Базовий випадок = запропонованому								
Площа	m <sup>2</sup>	1 035,5		1 035,5		5			\$ 82 800
г-значення	m <sup>2</sup> · °C/Wt	0,455		5		5			\$ 82 800
Стіна - нижче поверхні землі	Базовий випадок = запропонованому								
Підлога - нижче поверхні землі	Базовий випадок = запропонованому								

Далі

RETScreen

Оболонка будівлі

Опис

Природна інфільтрація повітря

Метод	Базовий випадок		Запропонований випадок		Додаткові капітальні затрати
	Об'єм	Швидкість повітрообміну	Об'єм	Швидкість повітрообміну	
Об'єм	m <sup>3</sup>	4 957	4 957	4 957	
Швидкість повітрообміну	звич	0,2	0,1	0,1	
Природна інфільтрація повітря	л/сек	275,4	137,7	137,7	
Додаткові капітальні затрати	\$			401 914	
Додаткова економія на експлуатації і обслуговуванні	\$				
Кількість одиниць оболонки будівлі		1	1	1	
Вибір системи		Опалення і охолодження	Опалення і охолодження	Опалення і охолодження	
Опалювальна система		Опалювальна система 1	Опалювальна система 1	Опалювальна система 1	
Опис опалювальної системи					
Опалення	МВт/год	153	58	58	61,8%
Система охолодження		Система охолодження 1	Система охолодження 1	Система охолодження 1	
Опис системи охолодження					
Охолодження	МВт/год	413	393	393	4,6%

Назад

Рисунок 4.3 – Оболонка будівлі

Окрім трансмісійних тепловтрат, вагома частка енергії витрачається на термічну обробку вентиляційного повітря та компенсацію інфільтраційних потоків. Параметри системи вентиляції відображено на рисунку 4.4.

У рамках базового сценарію повітрообмін забезпечується переважно природним шляхом, що супроводжується високим рівнем інфільтрації внаслідок недостатньої герметичності огорожувальних конструкцій.

У моделі запропонованого варіанту передбачено зниження кратності повітрообміну шляхом підвищення герметичності будівлі (заміна віконних та дверних блоків), а також ураховано потенціал впровадження механічної вентиляції з рекуперацією тепла, що дозволяє ефективно утилізувати енергетичний потенціал витяжного повітря.

		Базовий випадок		Запропонований випадок	
		Розклад 1		Розклад 2	
Розклад		24/7		18_7	
Опис					
Потік	м³/год	1 983		2 478,6	
Свіже повітря	%	100		100	
Система пропорегріву		Так		Так	
Вибір системи		Опалення		Опалення	
Управління вентилятором		Константа		Константа	
Регулювання вентиляції		Константа		Константа	
Вітик в повітряній заслонці на вході		Що дає вітик		Що дає вітик	
Ефективність утилізації тепла	%	0		60	
Додаткові капітальні затрати	\$			26 500	
Додаткова економія на експлуатації і обслуговуванні	\$				
Кількість вентиляційних установок		1		1	
Опалювальна система		Опалювальна система 1		Опалювальна система 1	
Опис опалювальної системи					
Опалення	МВт год	45		17	62,4%

Рисунок 4.4 – Вентиляція будівлі

Внутрішні теплові надходження, генеровані системою освітлення та електричним обладнанням, є невід’ємною складовою загального енергетичного балансу будівлі: вони знижують теплове навантаження в опалювальний період, проте можуть збільшувати потребу в охолодженні у літній сезон.

На рисунках 4.5 та 4.6 представлено результати розрахунків електроспоживання системою освітлення та побутовими приладами. Запропоновані заходи з оптимізації передбачають перехід на світлодіодні (LED) джерела світла, що уможлиблює суттєве зниження електричного навантаження при збереженні нормативного рівня освітленості приміщень.

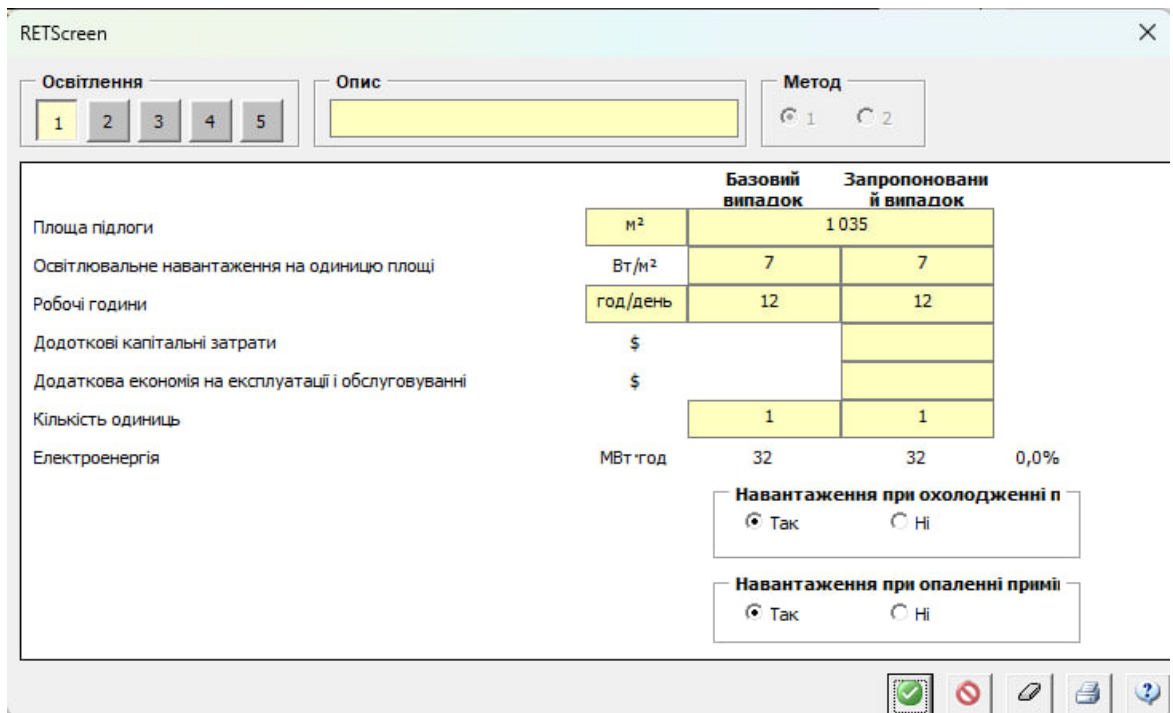


Рисунок 4.5 – Освітлення будівлі

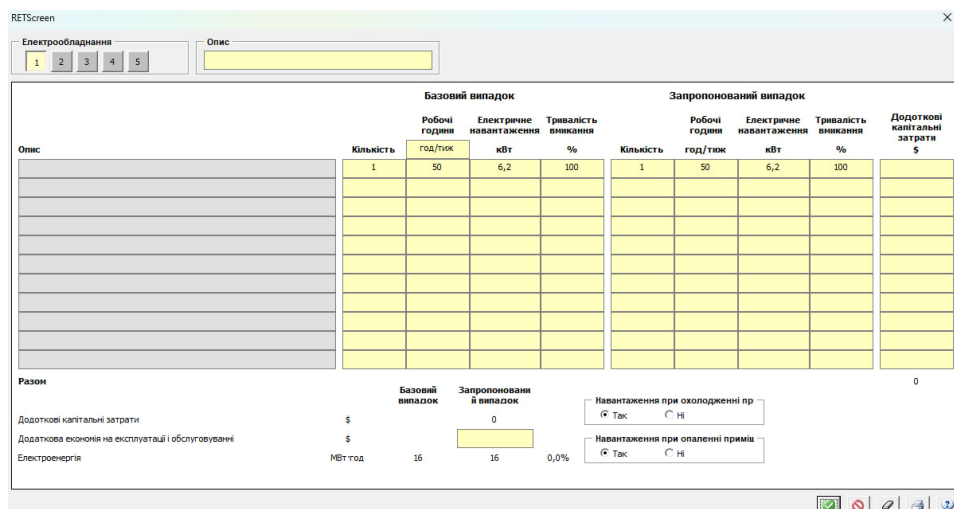


Рисунок 4.6 – Електрообладнання

Після введення повного масиву вхідних даних та параметрів модернізації, програмний комплекс RETScreen виконує інтегральний розрахунок економії енергії. На рисунку 4.7 систематизовано результати моделювання за ключовими векторами: система опалення, оболонка будівлі, вентиляція та освітлення. Аналіз свідчить, що максимальний потенціал економії палива

(природного газу) реалізується шляхом комплексної термомодернізації оболонки будівлі. Отримані кількісні значення економії (виражені у ГДж або м<sup>3</sup>) слугують емпіричною базою для подальшого фінансового аналізу.

Характеристики об'єкту		Показат дані						
Показати:	Опалення	Охолодження	Електроенергія	Додаткові капітальні затрати	Економія витрат на паливо	економія на експлуатації і обслуговуванні	Простий строк окупності	Включити вимірювання?
	ГДж	ГДж	ГДж	\$	\$	\$	рік	<input type="checkbox"/>
Зекономлене паливо								
Опалювальна система	1 327	-	-	350 000	40 548	0	8,6	<input checked="" type="checkbox"/>
Система охолодження								
Оболонка будівлі	358	0	-	401 914	10 945	0	36,7	<input checked="" type="checkbox"/>
Вентиляція	106	0	-	26 500	3 236	0	8,2	<input checked="" type="checkbox"/>
Освітлення	-	-	0	0	0	0	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Електрообладнання	-	-	0	0	0	0	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Гаряча вода								
Рекуперація тепла								
Інше								
Разом	1 791	0	0	778 414	54 730	0	14,22	

Рисунок 4.7 – Характеристики об'єкту

Результати моделювання, наведені на рисунку 4.8, демонструють скорочення витрат на природний газ у розмірі 2 298 660 грн (зменшення обсягів споживання на 90%). Загальне споживання теплової енергії на потреби опалення знизилося на 68,9% (441 ГДж), що підтверджує високу ефективність запропонованих заходів із термомодернізації. Сумарна річна економія коштів становить 83% відносно базових експлуатаційних витрат.

Резюме		Показат дані							
Вид палива	Споживання палива - одиниці	Паливо		Базовий випадок		Запропонований випадок		Економія витрат на паливо	
		Вартість палива \$	Вартість палива \$	Споживання палива	Вартість палива \$	Споживання палива	Вартість палива \$	Зекономлене паливо	Економія витрат на паливо
Електроенергія	МВт-год	\$ 100 000	\$ 47,9	47,9	\$ 4 790	47,9	\$ 4 790	0,0	\$ -
Природний газ	кВт-год	\$ 0,110	\$ 555 854,3	555 854,3	\$ 61 144	58 312,8	\$ 6 414	497 541,5	\$ 54 730
Разом			\$ 65 934		\$ 11 204				\$ 54 730
Перевірка проекту	Споживання палива - одиниці	Споживання палива - традиційне	Споживання палива - базовий	Споживання палива - зміна					
Електроенергія	МВт-год		47,9						
Природний газ	кВт-год	550 215,0	555 854,3	1%					
Енергія	Опалення ГДж	Охолодження ГДж	Електроенергія ГДж	Разом ГДж					
Споживання енергії - Базовий випадок	640	1 557	172	2 370					
Споживання енергії - Запропонований випадок	199	1 488	172	1 860					
Зекономлена енергія	441	69	0	510					
Зекономлена енергія - %	68,9%	4,4%	0,0%	21,5%					
Мітка	ГДж	м <sup>3</sup>							
Одиниця енергії									
Еталонна одиниця									

Рисунок 4.8 – Резюме енергетичного дослідження

Завершальним етапом моделювання є оцінка інвестиційної привабливості проекту. На основі розрахованої економії енергоресурсів та заданих капітальних витрат (CAPEX), програмний засіб формує звіт про фінансову ефективність (рис. 4.9). Ключові індикатори, такі як простий термін окупності,



кореляції розрахункових значень із фактичними показниками, ефективність існуючої системи теплопостачання у моделі прийнято на рівні 34% (на противагу нормативній ефективності 85% згідно з ДСТУ 9190:2022).

За результатами розрахунків, загальний термін окупності запропонованого комплексу ЗЕЗ становить 14 років, що є прийнятним показником для масштабних інфраструктурних проектів. При деталізації окупності окремих складових встановлено, що період повернення інвестицій для заходів із покращення тепломеханічних характеристик оболонки будівлі складає 36,7 року, тоді як для системи рекуперації цей показник становить лише 8,2 року. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження комплексних заходів із підвищення енергоефективності для досліджуваного об'єкта. Отримані розрахунки представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Отримані розрахунки

	Фактичне (за лічильником)	Базовий рівень	Запропонований
Споживане тепло	596 421 кВт·год	550 215 кВт·год	58 312 кВт·год
Споживана електроенергія	57,7 МВт·год	47,9 МВт·год	47,9 МВт·год
Економія, %	-	-	83% - оп
Термін окупності	-	-	Простий – 14р

#### 4.2 Енергетичне моделювання в програмному середовищі PV\*Sol

Робота у програмному комплексі PV\*SOL premium розпочинається з відображення стартового вікна «Welcome page». Першим етапом конфігурування є перехід до вкладки «Project Data» (Дані проекту), яка призначена для внесення ідентифікаційної інформації про об'єкт. На цьому кроці задаються дата початку функціонування системи, назва проекту, текстовий опис, а також завантажується візуалізація об'єкта. Результат внесення вхідних даних продемонстровано нижче (рис. 4.10):



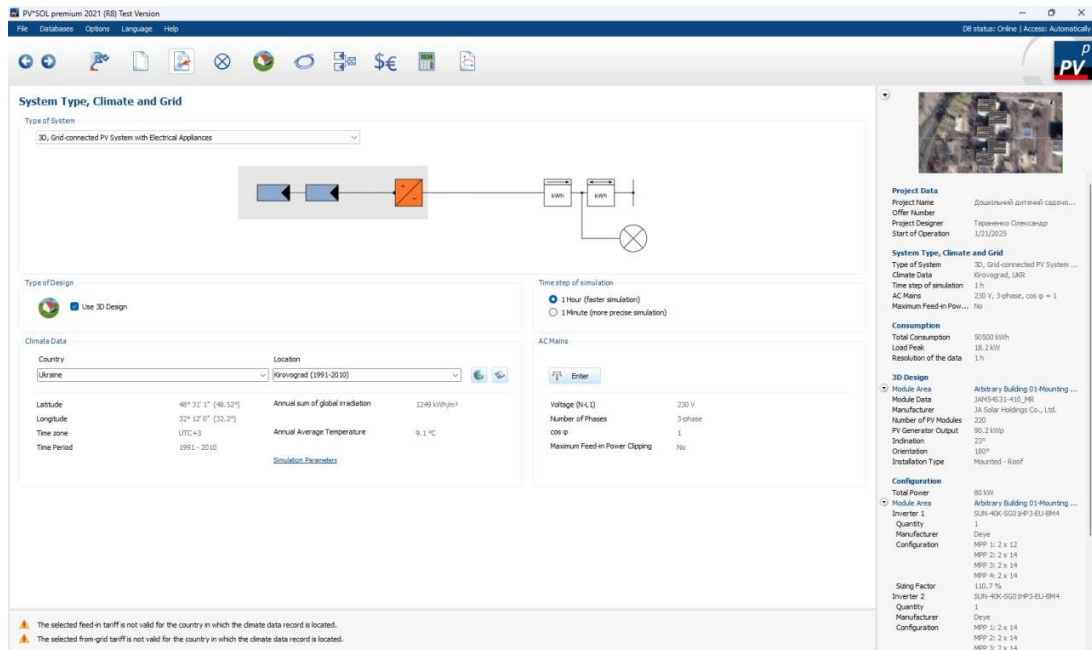


Рисунок 4.11 – Пропонована схема сонячної станції

Подальше моделювання передбачає роботу з вкладкою «Consumption» (Споживання електричної енергії). На цьому етапі здійснюється підбір профілю навантаження, який максимально корелює з типом досліджуваної будівлі. Програмний інструментарій дозволяє коригувати стандартні графіки розподілу електроспоживання за потреби. Для даного об'єкта найбільш релевантним було визначено профіль «Школа площею 10000 м<sup>2</sup>» (рис. 4.12).

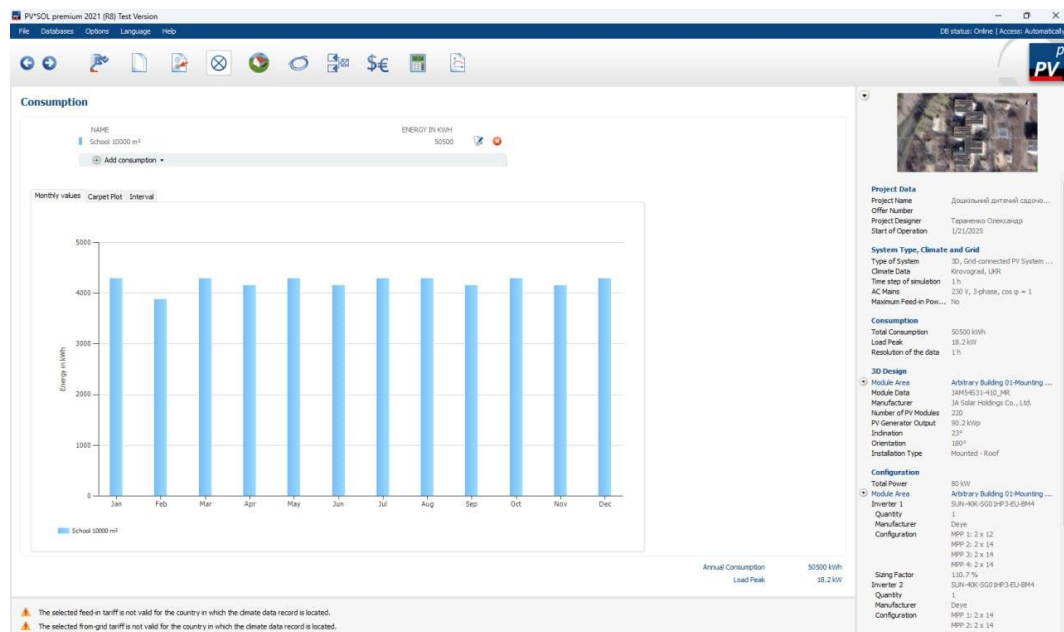


Рисунок 4.12 – Графік навантаження споживачів

Наступним етапом проектування є перехід до вкладки «3D Design», функціонал якої дозволяє виконати просторове розміщення фотоелектричних модулів на об'єкті.

Для відтворення геометрії будівлі використовується її супутникове зображення, завантажене через опцію «Map Selection». Формування тривимірної моделі здійснюється шляхом побудови контуру за допомогою інструменту «Sketch a 3D Polygon». Після створення полігону необхідно виконати його ортогоналізацію (функція «Make at a right angle») та екструзію («Extrude 3D object») для надання об'єму. Враховуючи конструктивні особливості об'єкта, обрано тип споруди з пласкою покрівлею («Building with flat roof») із заданням відповідної висоти карниза («Height of the Eaves») [10].

З метою забезпечення коректності монтажу на плані покрівлі моделюються існуючі надбудови, вентиляційні канали та визначаються «заборонені зони», де встановлення обладнання є неможливим.

Безпосереднє розташування панелей реалізується через блок «Module mounting». У налаштуваннях нової монтажної системи («New assembly system») задаються тип фотомодуля, його південна орієнтація, кут нахилу та міжрядна відстань. Обрано горизонтальний спосіб розміщення модулів.

Заповнення доступної площі даху здійснюється автоматично шляхом активації функції «Cover the mounting surface with maximum number of module rows». Критично важливим етапом є перевірка на наявність затінь від парапетів, надбудов чи сусідніх об'єктів. Для цього запускається розрахунок «Start Shade Frequency». Модулі, розрахунковий коефіцієнт затінення яких перевищує порогове значення 10–15%, вилучаються з проекту для уникнення втрат продуктивності.

Схема розміщення фотоелектричного масиву та карта затінь представлені нижче (рис. 4.13):

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			





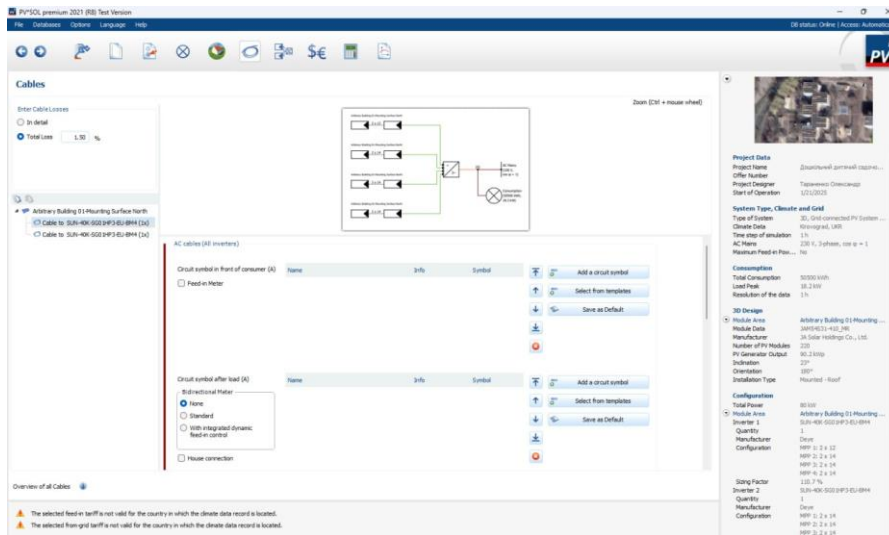


Рисунок 4.16 – Принципова схема пропонованої СЕС

Аналіз результатів симуляції демонструє, що сумарний річний виробіток енергії спроектованого фотоелектричного масиву становить 102 730 кВт·год/рік. При цьому коефіцієнт продуктивності (Performance Ratio) системи досягає 81,2%, що свідчить про високу ефективність технічного рішення.

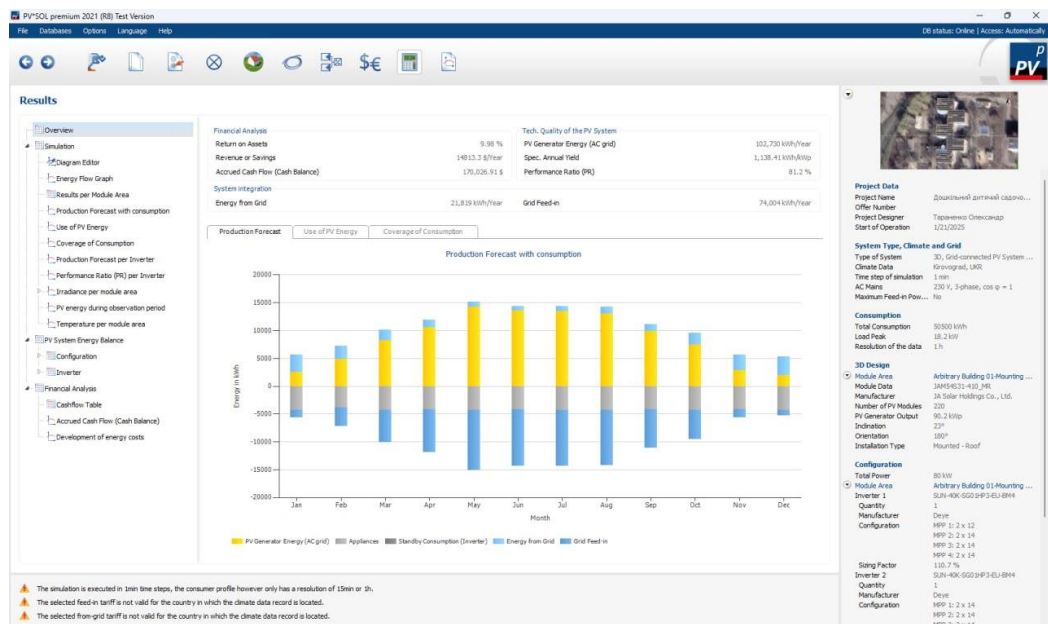


Рисунок 4.17 – Баланс споживання та генерації СЕС

Аналіз енергетичного балансу показує, що лівова частка генерованої енергії споживається безпосередньо будівлею для покриття власних потреб.

Експорт у зовнішню мережу є незначним і корелює з періодами максимальної інсоляції (літні місяці).

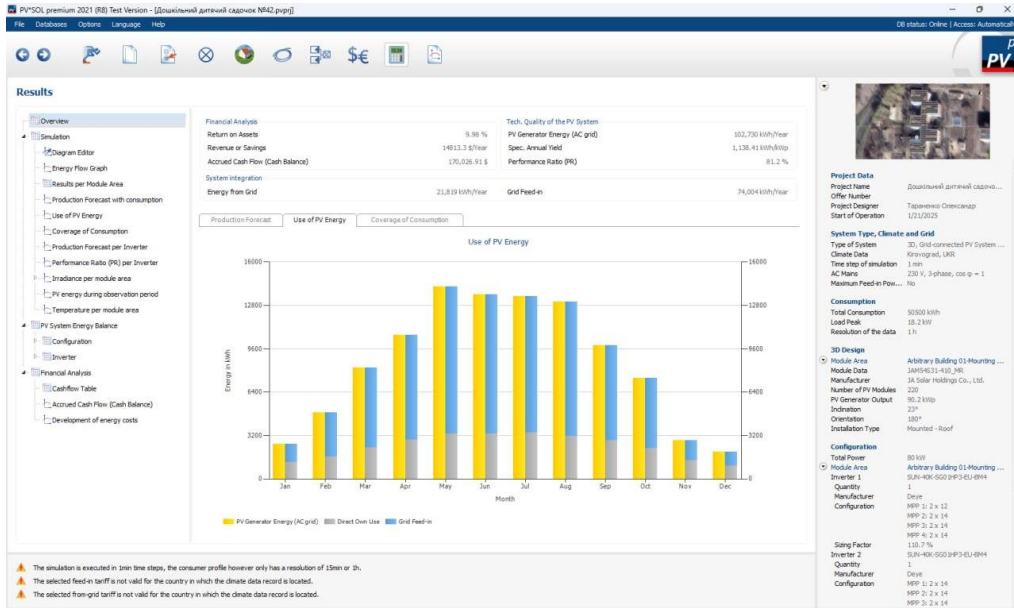


Рисунок 4.18 – Баланс генерації СЕС. Результати моделювання: помісячна генерація та використання енергії

Як видно з графіків, генерація СЕС лише частково покриває енергетичні потреби об'єкта, тому значна частина попиту задовольняється за рахунок зовнішньої мережі. Проте у літній період частка заміщення електроенергії з мережі власною генерацією є максимальною.

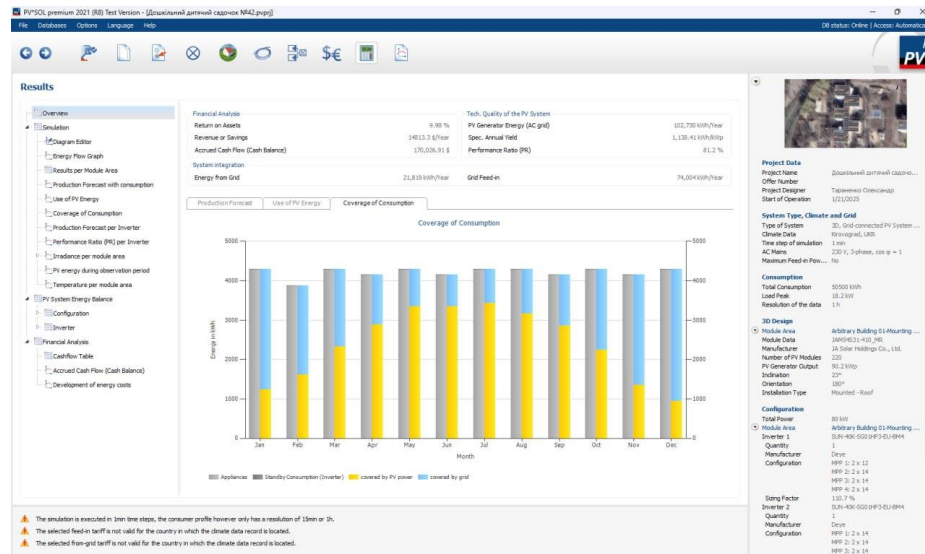


Рисунок 4.19 – Помісячне споживання електроспоживачів

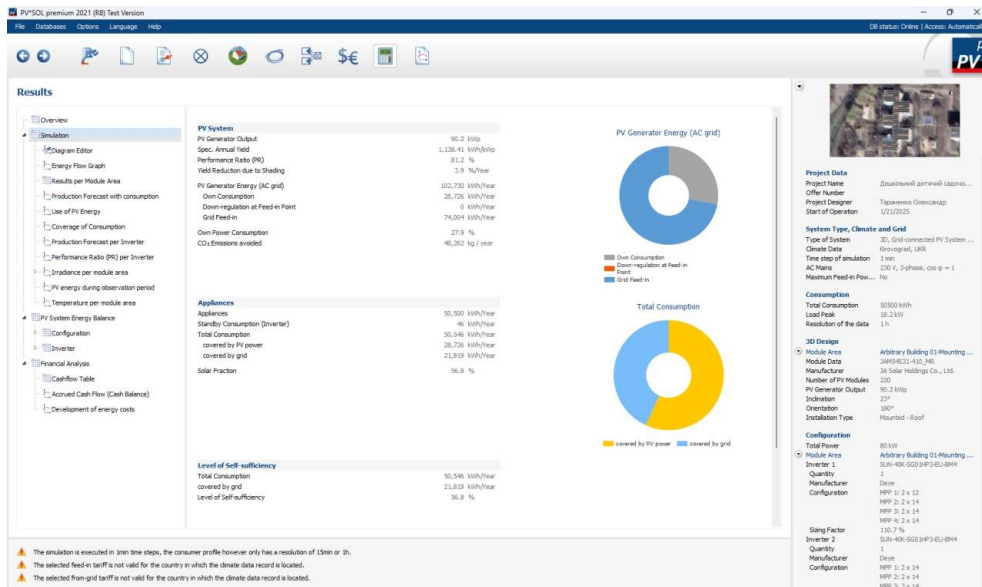


Рисунок 4.20 – Результати симуляції запропонованої СЕС

### 4.3 Енергетичне моделювання в програмному середовищі T\*Sol

Пропонується розглянути встановлення системи сонячних колекторів для часткового покриття потреб ГВП дошкільного навчального закладу у місті Олександрія. Забезпечення потреб системи ГВП до встановлення колекторів відбувалося за рахунок централізованого теплопостачання. Середньодобове фактичне споживання гарячої води становить 18,83 м<sup>3</sup>.

Для даного випадку було обрано систему ГВП з вакуумними сонячними колекторами та централізованим теплопостачанням в якості допоміжного джерела (схема А1 - DHW system) [11]. (рисунок 4.21).

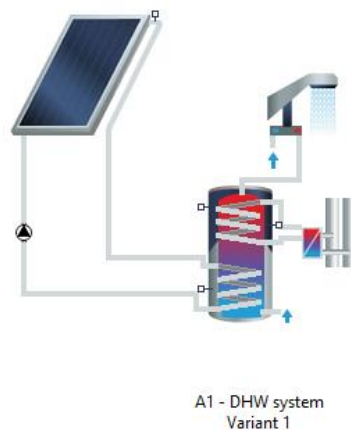


Рисунок 4.21 – Система ГВП з вакуумними колекторами





за замовчуванням. Продуктивність теплообмінника (кА) (контур колекторів) в баку встановлюємо на рівні 1 Вт/К. Так як у системі присутнє додаткове джерело теплоти – централізоване тепlopостачання, а не електричний нагрівач, прибираємо галочку у вкладці «Electric element». Параметри контролю для бака накопичувача залишаємо рекомендовані за замовчуванням.

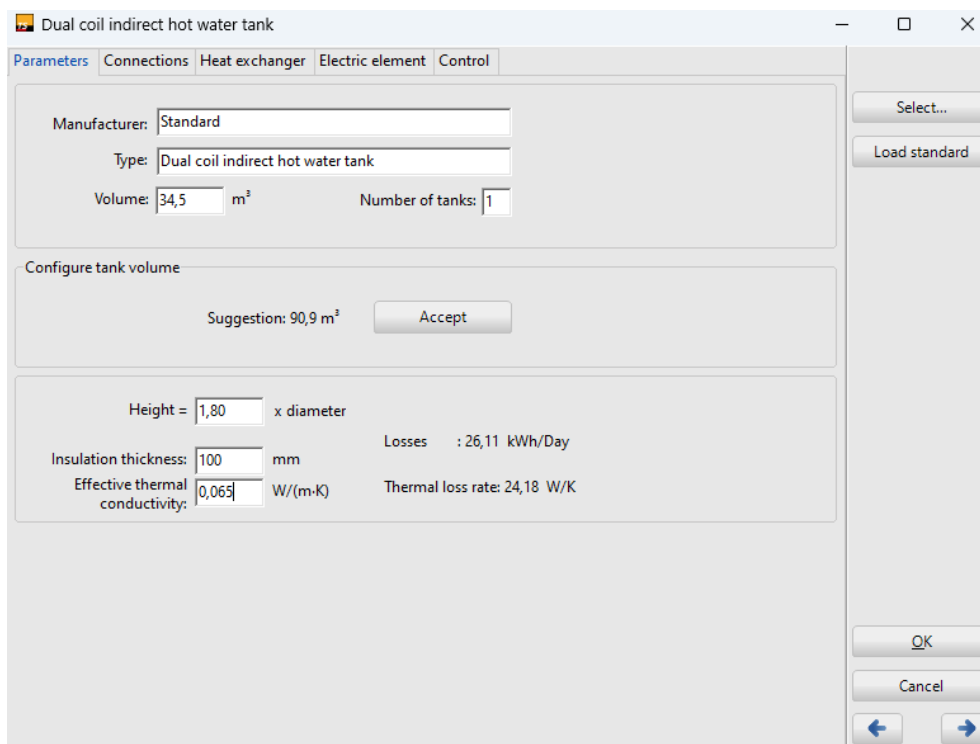


Рисунок 4.25 – Параметри баку

До встановлення колекторів потреби будівлі в гарячій водій забезпечувались за рахунок централізованої системи ГВП, тому в якості додаткового джерела обираємо цю ж систему (рис. 4.26). Потужність додаткового джерела зменшимо від того значення, що пропонує програма до 600 кВт, виходячи з міркувань, що вода має прогріватися за 4-5 годин. Показники ефективності централізованого джерела теплоти залишаємо ті, що пропонує програма за замовчуванням.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

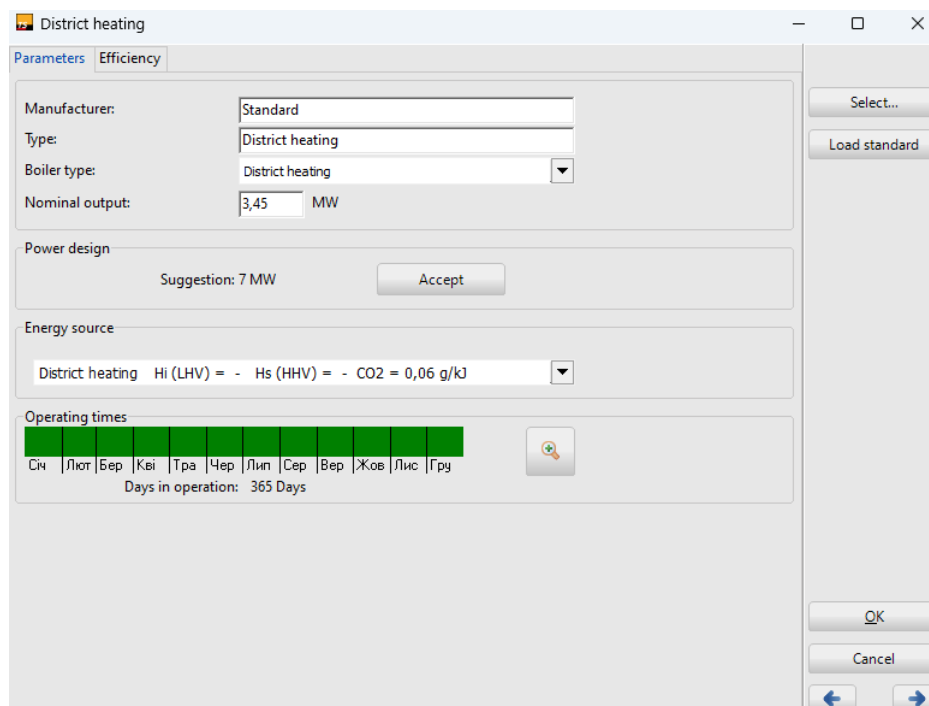
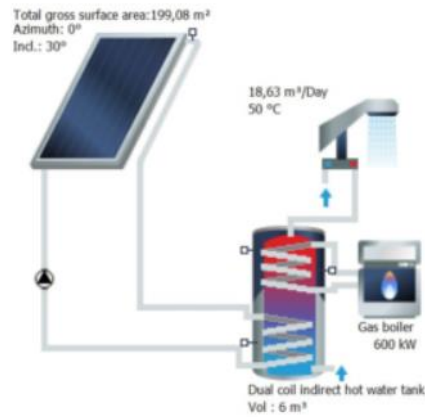


Рисунок 4.26 - Параметри додаткового джерела (централізованого теплопостачання)

Відсоток заміщення потреби енергії на ГВП для плоского колектора, а саме 45%. Також виконаємо такий самий розрахунок для вакуумного колектора. На рисунку 4.27 наведені результати річного моделювання плоского колектора, а на рисунку 4.28 графік температури та покриття потреби даним колектором.

Variant 1

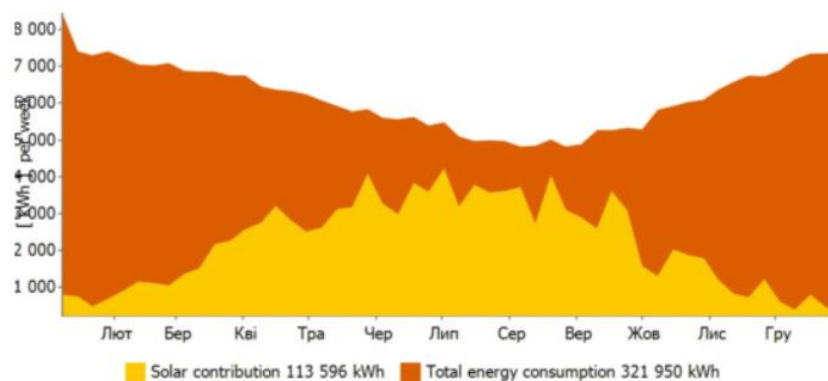


**Results of annual simulation**

Installed collector power:		86,470 kW
Installed solar surface area (gross):		199,08 m <sup>2</sup>
Irradiation on collector surface (active):	266 303,61 kWh	1 446,75 kWh/m <sup>2</sup>
Energy delivered by collectors:	115 254,57 kWh	626,15 kWh/m <sup>2</sup>
Energy delivered by collector loop:	113 891,24 kWh	618,74 kWh/m <sup>2</sup>
DHW heating energy supply:		320 698,71 kWh
Solar energy contribution to DHW:		113 595,80 kWh
Energy from auxiliary heating:		208 354,3 kWh
<b>Natural gas (H) savings:</b>		<b>17 018,4 m<sup>3</sup></b>
<b>CO2 emissions avoided:</b>		<b>35 987,76 kg</b>
<b>DHW solar fraction:</b>		<b>35,3 %</b>
<b>Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):</b>		<b>36,0 %</b>
<b>System efficiency:</b>		<b>42,7 %</b>

Рисунок 4.27 - Результати річного моделювання плоского колектора.

**Solar energy consumption as percentage of total consumption**



**Daily maximum collector temperature**

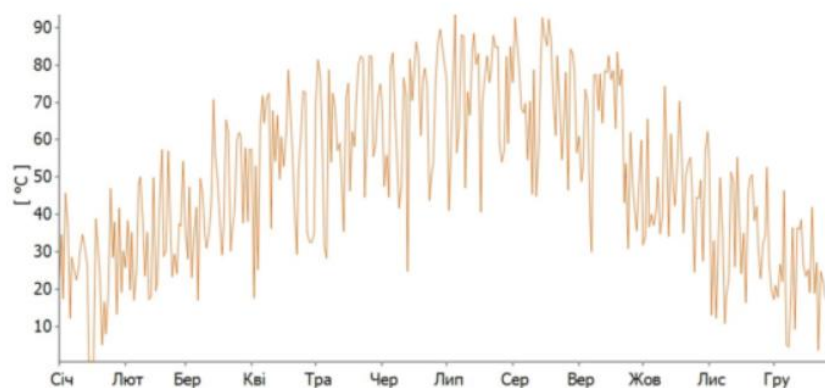
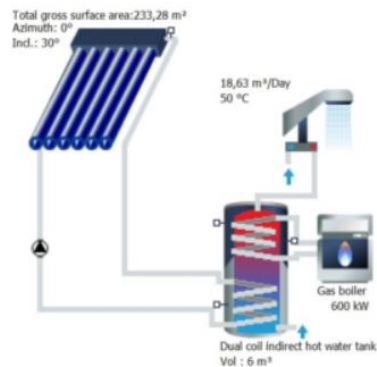


Рисунок 4.28 - Графік покриття потреби та графік температури нагрівння плоского колектору

На рисунках 4.29-4.30 наведені результати річного моделювання вакуумного колектора, та графіки температури і покриття потреби даним колектором.

## Вакуумний колектор Коефіцієнтів заміщення (45%)

Variant 1



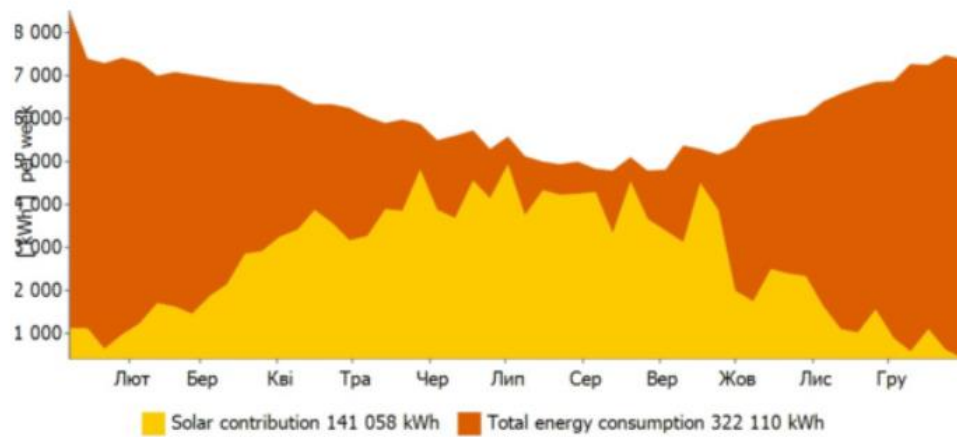
### Results of annual simulation

Installed collector power:		105,370 kW
Installed solar surface area (gross):		233,28 m <sup>2</sup>
Irradiation on collector surface (active):	252 537,76 kWh	1 446,75 kWh/m <sup>2</sup>
Energy delivered by collectors:	143 853,71 kWh	824,12 kWh/m <sup>2</sup>
Energy delivered by collector loop:	141 665,84 kWh	811,58 kWh/m <sup>2</sup>
DHW heating energy supply:		320 698,71 kWh
Solar energy contribution to DHW:		141 057,68 kWh
Energy from auxiliary heating:		181 052,0 kWh
<b>Natural gas (H) savings:</b>		<b>20 888,9 m<sup>3</sup></b>
<b>CO<sub>2</sub> emissions avoided:</b>		<b>44 172,58 kg</b>
<b>DHW solar fraction:</b>		<b>43,8 %</b>
<b>Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):</b>		<b>44,4 %</b>
<b>System efficiency:</b>		<b>55,9 %</b>

Рисунок 4.29 - Результати річного моделювання плоского колектора.

Variant 1

### Solar energy consumption as percentage of total consumption



### Daily maximum collector temperature

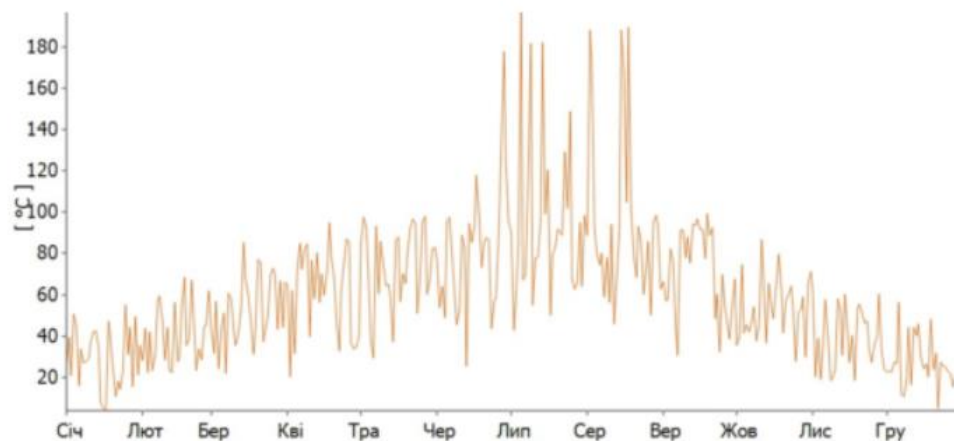


Рисунок 4.30 - Графік покриття потреби та графік температури нагрівння плоского колектору

Можемо помітити закономірність: враховуючи об'єм необхідної гарячої води, найефективнішими як вакуумні так і плоскі колектори виходять з низьким відсоток заміщення потреби енергії на ГВП (45%). Ефективність таких колекторів.

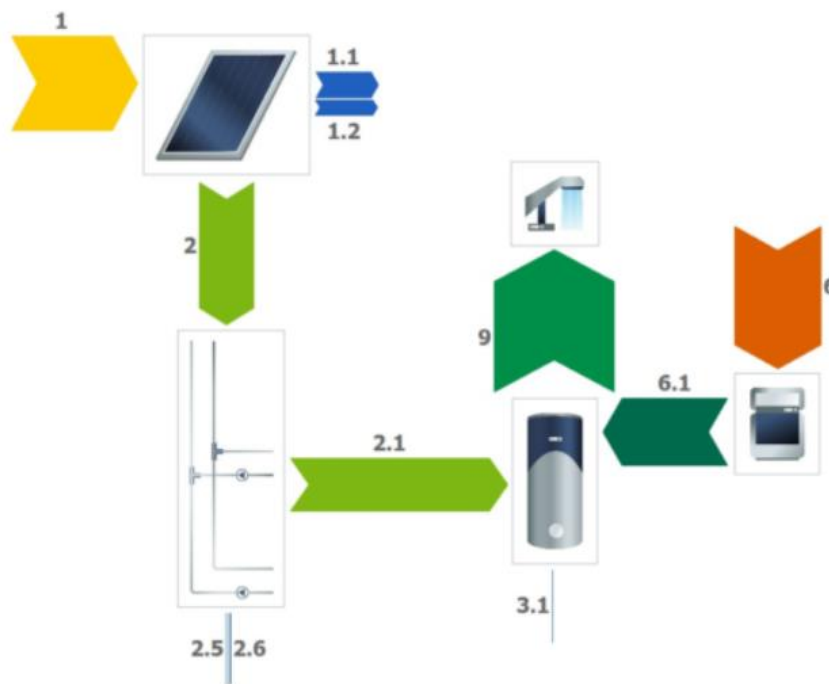
- Плоский: 42,7%
- Вакуумний: 55,9%

Ставлячи високий відсоток заміщення, покриває більшу потребу, але менш ефективний, як з точки зору енергії що він акумулює так і з фінансового боку.

Тож загалом пропоную розглянути найефективніший варіант – вакуумний колектор з 45%. Всі подальші результати будуть відповідно нього.

Енергетичний баланс наведений на рисунку 4.31.

### Energy balance schematic



### Legend

1	Irradiation on collector surface (active)	252 538 kWh
1.1	Optical collector losses	68 118 kWh
1.2	Thermal collector losses	40 569 kWh
2	Energy from collector array	143 854 kWh
2.1	Solar energy to storage tank	141 666 kWh
2.5	Internal piping losses	979 kWh
2.6	External piping losses	1 209 kWh
3.1	Tank losses	2 009 kWh
6	Final energy	229 885 kWh
6.1	Supplementary energy to tank	181 052 kWh
9	DHW energy from tank	320 699 kWh

Рисунок 4.31 – Схема енергетичного балансу

#### 4.4 Енергетичне моделювання в програмному середовищі GeoT\*Sol

Розглянемо встановлення системи з тепловим насосом для забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання дошкільного навчального закладу у місті Олександрія. Система опалення гуртожитку складає чавунні секційні радіатори марки М-140 АО. Опалювальна площа 1944 м<sup>2</sup>. Середньорічне фактичне споживання теплоти на потреби опалення становить 596 421 кВт·год. Загальна кількість робочого персоналу складає 34 особи. З них 30 жінок та 4 чоловіків. Дітей, що перебувають у закладі – 210.

Для забезпечення потреб об'єкта обрано комбіновану систему на базі повітряного теплового насосу, що працює на контури опалення та підігріву води (рис. 4.32).

HP system with space heating (HPS 1)

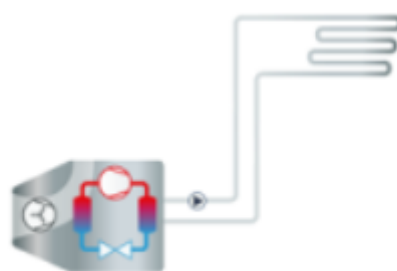


Рисунок 4.32 – Обрана система опалення та ГВП з ТН

У налаштуваннях параметрів опалення частка покриття навантаження низькотемпературними системами (наприклад, теплою підлогою) встановлена на рівні 0%, оскільки теплорозподіл здійснюється виключно через радіаторну мережу. Опалювальна площа та річне енергоспоживання внесені відповідно до технічного завдання. Розрахункова температура внутрішнього повітря прийнята рівною 20°C згідно з чинними санітарними нормами для дитячих закладів. Через програмні обмеження середовища моделювання, мінімальна розрахункова температура зовнішнього повітря

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

зафіксована на рівні мінус 19,9°C. Деталізовані параметри відображені у вікні «Space Heating» (рис. 4.33).

### Space Heating

**Space heating loop**

Low temp. (LT) heating loop proportion:  %

<p><b>Low temperature heating loop</b></p> <p>Supply temperature: <input type="text" value="35,0"/> °C</p> <p>Return temperature: <input type="text" value="28,0"/> °C</p>	<p><b>High temperature heating loop</b></p> <p>Supply temperature: <input type="text" value="50,0"/> °C</p> <p>Return temperature: <input type="text" value="35,0"/> °C</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

**Requirements**

Heating load:  kW

Heating output (yearly total):  kWh

Heating output (monthly):

Heated useable area: <input type="text" value="1 944"/> m <sup>2</sup>	Specific heating load: <input type="text" value="180"/> W/m <sup>2</sup>
Indoor temperature: <input type="text" value="20,0"/> °C	Spec. annual heat requirement: <input type="text" value="320 000"/> Wh/m <sup>2</sup>
Heating limit temperature: <input type="text" value="12"/> °C	
Standard outdoor temperature: <input type="text" value="-19,9"/> °C	<input type="button" value="↓"/>

Рисунок 4.33 – Опалення приміщень

Профіль водоспоживання налаштовано у вкладці «Consumption» на основі фактичних даних об'єкта. Температурні режими системи ГВП задані наступним чином: цільова температура гарячої води становить 50°C, температура вхідної холодної води прийнята змінною: 5°C для зимового періоду та 15°C для літнього.

У якості основного джерела теплопостачання обрано модель теплового насосу без вбудованого нагрівача (додаткове джерело тепла конфігурується окремо). Номінальна потужність агрегату становить 72,9 кВт (при параметрах A2/W35). Технічні характеристики обраного обладнання наведені у вікні «Heat Generator» (Рисунок 4.34) [12].

## Heat Generator

Heat pump	
Manufacturer:	Dimplex - Glen Dimplex Deutschland GmbH
Product:	LA 60 TU-2
Construction type:	Air/Water
Nominal heating power:	72,9 kW

Рисунок 4.34 – Теплогенератор (тепловий насос)

Оскільки запроєктована система функціонує за принципом «повітря-вода», джерелом низькопотенційної енергії виступає атмосферне повітря. Розрахункова витрата повітря для забезпечення роботи теплового насосу визначена програмою на рівні 21 165 м<sup>3</sup>/год.

Для системи обрано моноенергетичний паралельний режим експлуатації. Точка бівалентності встановлена на рівні 2,8°C. Алгоритм роботи передбачає, що при зниженні температури зовнішнього повітря нижче вказаної межі, вмикається додатковий електричний нагрівач потужністю 320 кВт, який працює паралельно з тепловим насосом для покриття пікових навантажень [12]. Параметри режиму роботи проілюстровано на рисунку 4.35.

## Mode of Operation

Monovalent/monoenergetic operation			
<input type="radio"/> Monovalent	<input checked="" type="radio"/> Monoenergetic, parallel	Power of heating element:	<input type="text" value="320,0"/> kW
<input type="radio"/> Monoenergetic, alternative	<input type="radio"/> Monoenergetic, partially parallel	Heating element out of service above:	<input type="text" value="2,8"/> °C
<input checked="" type="radio"/>		Heat pump out of service below:	<input type="text" value="---"/> °C

Рисунок 4.35 – Режим роботи

Підсумкові дані щодо сезонної ефективності роботи спроектованої системи наведені на рисунку 3.36, а зведений енергетичний баланс – на рисунку 4.37.

										Арк.
										93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

## Simulation Results

Seasonal Heat Performance Factor (SPF) **Energies** Photovoltaics

### SPF (from simulation)

SPF of heat pump:	3,65	⬇️
SPF of heat pump system:	1,63	⬇️
SPF generator system (HP + solar thermal):	---	

### VDI 4650

Min. source temperature:	---
Performance share at std. outdoor air temp.:	<input type="text" value="70"/> %
Coverage:	99 %
Outdoor temperatur at switch off:	--- °C
SPF of heat pump:	3,51 ⬇️
SPF of heat pump with solar system:	---

Рисунок 4.36 – Сезонні показники ефективності

## Simulation Results

Seasonal Heat Performance Factor (SPF) **Energies** Photovoltaics

### Energy generated / Year

Supplied by heat pump:	322 224 kWh (53 %)
Supplied by boiler:	--- kWh
Supplied by solar system:	--- kWh
Supplied by elec. heating rod:	285 036 kWh (47 %)

### Utilized energy / Year

Space Heating:	611 899 kWh (100 %)
Domestic hot water:	--- kWh

### Power consumption / Year

Heat pump:	88 209 kWh (24 %)
Heating element:	285 036 kWh (76 %)
Auxiliary energy:	--- kWh
Solar loop pump:	--- kWh
Boiler (fuel):	--- kWh

### Losses / Year

Tank losses:	--- kWh
...fraction of solar tank losses:	--- kWh
DHW recirculation loop:	--- kWh
Solar loop piping indoors:	--- kWh
Solar loop piping outdoors:	--- kWh

### Solar loop

Solar fraction:	--- %
Solar fraction DHW:	--- %
Efficiency of solar system:	--- %
Irradiation onto active solar surface:	--- kWh
Energy delivered by collectors:	--- kWh

Рисунок 4.37 – Енергетичні показники ефективності

Відповідно до результатів 53% енергії, необхідної для опалення та ГВП, забезпечується тепловим насосом, 47% – покривається електричним нагрівачем. При цьому 611 899 кВт·год від загального теплоспоживання витрачається на опалення. Електроспоживання теплового насосу, враховуючи середньосезонний коефіцієнт ефективності, становить 88 209 кВт·год, електроспоживання нагрівального елемента (COP = 1) – 285 036 кВт·год.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	

МД 25 144 25 07 ПЗ

Арк.

94

На рисунках 4.38 і 4.39 представлені відповідно енергетичні показники ефективності системи протягом року та дані про температуру повітря на вході та виході з вентилятора системи.

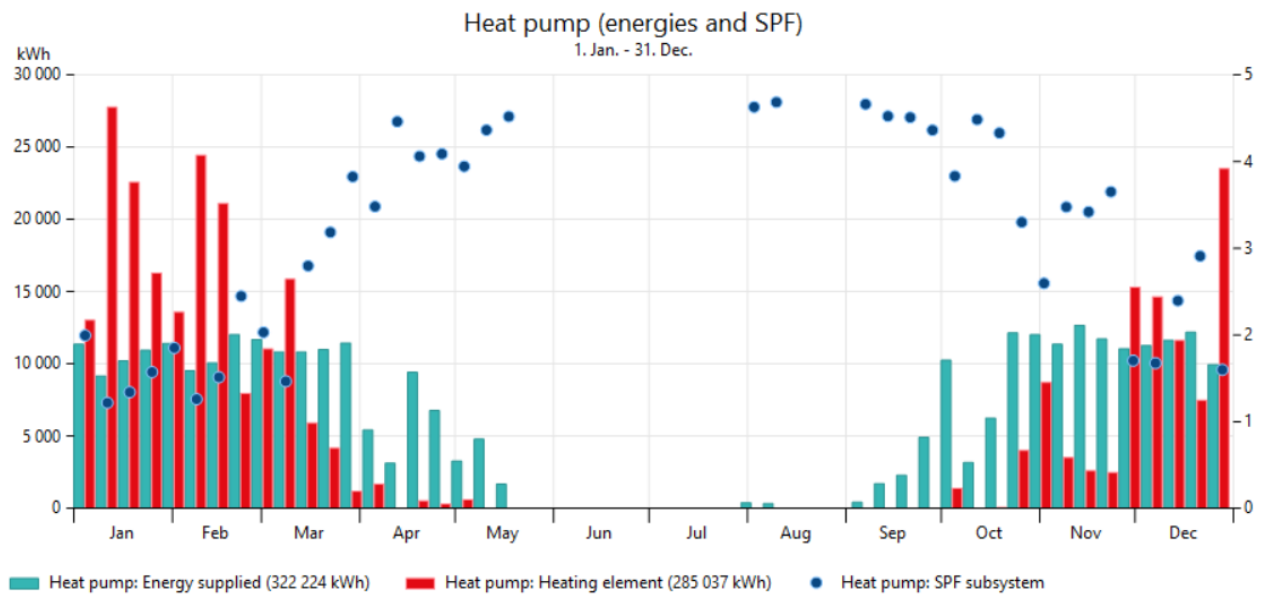


Рисунок 4.38 – Показники ефективності системи з ТН протягом року

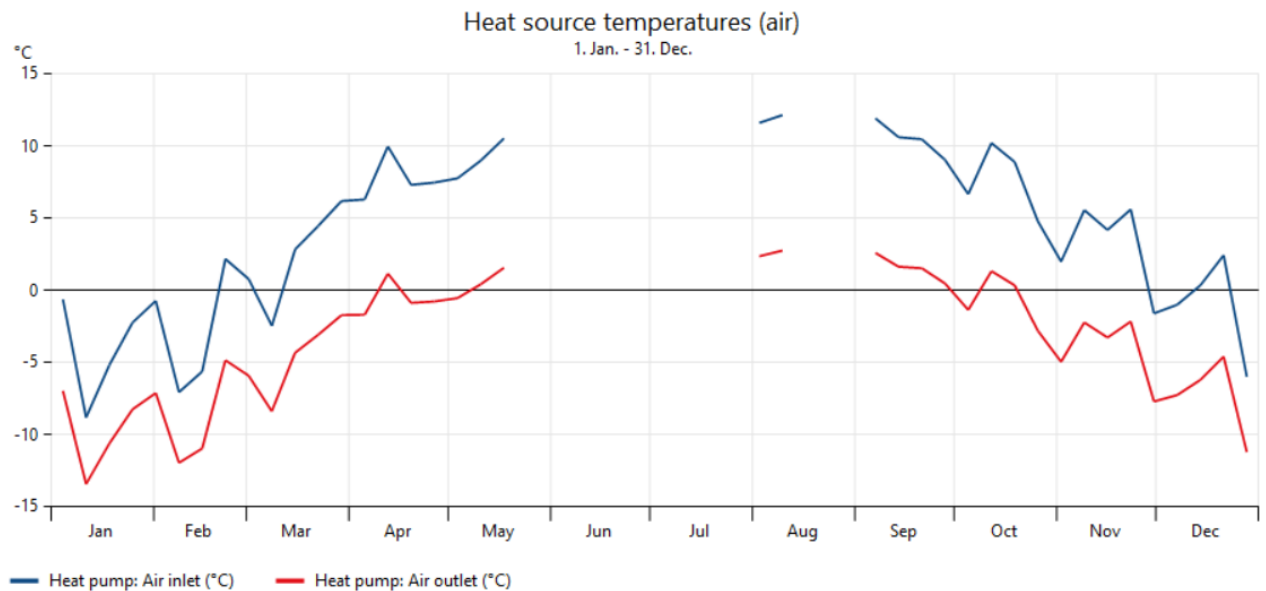


Рисунок 4.39 – Температура повітря на вході та на виході з вентилятора протягом року.

## 4.5 Динамічне енергетичне моделювання теплових режимів в будівлі

Ключовим елементом розрахунку є модель «п'ять опорів, одна ємність» (5R1C), яка дозволяє виконувати спрощений погодинний аналіз енергопотреб будівлі на потреби опалення та кондиціювання в рамках динамічної методики. [20, 21].

Практичне застосування даної методики передбачає використання спеціалізованого програмного забезпечення або розробку відповідних алгоритмів [22, 23]. На рисунку 4.40 представлено схематичну модель розрахункової зони будівлі, де теплообмін через непрозорі огороження, світлопрозорі конструкції та систему вентиляції описується через відповідні коефіцієнти провідності  $H_{op}$ ,  $H_{tr,w}$ ,  $H_{ve}$ , відповідно.

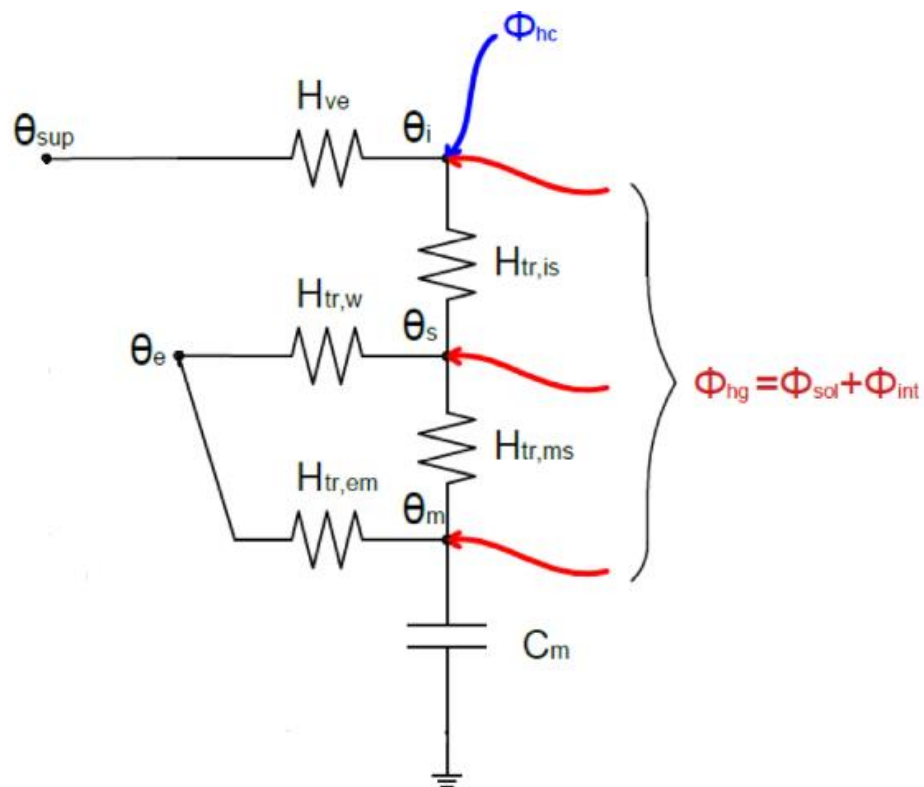


Рисунок 4.40 – Модель п'ять опорів, одна ємність (5R1C) [25]

Енергопотребу визначають шляхом розрахунку потужності опалення або охолодження для кожної години, що повинна бути підведена до вузла

температури внутрішнього повітря,  $\theta_{air}$ , для підтримання певної мінімальної чи максимальної температури. Задана температура є середньозваженою за температурою повітря та середньою радіаційною температурою [24].

У моделі 5R1C теплообмін вентиляції описується коефіцієнтом,  $H_{ve}$ , який з'єднує вузол внутрішнього повітря,  $\theta_{air}$ , із температурою припливного потоку,  $\theta_{sup}$ . Трансмісійний теплообмін розділено на дві складові:  $H_{tr.w}$ , що моделюються як елементи з нульовою тепловою інерцією, та через непрозорі елементи зовнішніх огорожень  $H_{op}$ , раховують теплову масу будівлі. Цей елемент розділено на провідність між масою та зовнішнім середовищем,  $H_{tr.em}$ , та сполучення провідністю між вузлами  $m$  та  $s$ ,  $H_{tr.ms}$ . Сонячні та внутрішні теплові надходження розподіляються між вузлом температури внутрішнього повітря,  $\theta_{air}$ , центральним вузлом,  $\theta_s$  (суміш  $\theta_{air}$  та середньої радіаційної температури  $\theta_r$ ) та вузлом, що представляє масив зони будівлі,  $\theta_m$ . Теплоємність будівлі представлена єдиною ємністю,  $C_m$ , визначеною між  $H_{tr.ms}$  та  $H_{tr.em}$ . Сполучення провідністю визначається між вузлом температури внутрішнього повітря та центральним вузлом. Величина теплового потоку за рахунок внутрішніх джерел,  $\Phi_{int}$ , та величина теплового потоку в зону кімнати за рахунок сонця,  $\Phi_{sol}$ , поділені між трьома вузлами: температури внутрішнього повітря,  $\theta_{air}$ , та внутрішніми вузлами,  $\theta_s, \theta_m$ . Дана схема реалізована на базі стандартів EN 13790, EN 13786 [20,21].

$$H_{tr.is} = h_{is}A_{tot}, \quad (4.1)$$

$$H_{tr.ms} = h_{ms}A_m \quad (4.2)$$

$$H_{tr.em} = \frac{1}{\frac{1}{H_{op}} + \frac{1}{H_{tr.ms}}} \quad (4.3)$$

$$H_{tr.1} = \frac{1}{\frac{1}{H_{ve}} + \frac{1}{H_{tr.is}}} \quad (4.4)$$

$$H_{tr.2} = H_{tr.1} + H_{tr.w} \quad (4.5)$$

$$H_{tr.3} = \frac{1}{\frac{1}{H_{tr.2}} + \frac{1}{H_{tr.ms}}} \quad (4.6)$$

$$C_m = \sum k_j A_j \quad (4.7)$$

$$\Phi_{m.tot} = \Phi_m + H_{tr.em} \theta_e + \frac{H_{tr.3}(\Phi_{st} + H_{tr.w} \theta_e + H_{tr.1}(\frac{\Phi_{ia} + \Phi_{HC.nd} + \theta_{sup}}{H_{ve}}))}{H_{tr.2}}, \quad (4.8)$$

$$\theta_m = \frac{\theta_{m,t} + \theta_{m,t-1}}{2} \quad (4.9)$$

$$\theta_{m,t} = \frac{\theta_{m,t-1}(\frac{C_m}{3600} - 0,5(H_{tr.3} + H_{tr.em})) + \Phi_{m.tot}}{\frac{C_m}{3600} + 0,5(H_{tr.3} + H_{tr.em})} \quad (4.10)$$

$$\theta_s = \frac{H_{tr.ms} \theta_m + \Phi_{st} + H_{tr.w} \theta_e + H_{tr.1}(\frac{\Phi_{ia} + \Phi_{HC.nd} + \theta_{sup}}{H_{ve}})}{H_{tr.ms} + H_{tr.w} + H_{tr.1}} \quad (4.11)$$

$$\theta_{air} = \frac{H_{tr.is} \theta_s + H_{ve} \theta_{sup} + \Phi_{ia} + \Phi_{HC.nd}}{H_{tr.is} + H_{ve}} \quad (4.12)$$

де  $\Phi_{ia}, \Phi_m, \Phi_{st}$  – тепловий потік від внутрішніх джерел та сонця розподіляється між 3-ма вузлами,  $\theta_{air}, \theta_s, \theta_m$ ;

$\Phi_{m.tot}$  – повний тепловий потік, Вт;

$h_{is}$  – коефіцієнт теплопередачі між вузлом температури внутрішнього повітря,  $\theta_{air}$ , та центральним вузлом,  $\theta_s$ , з фіксованим значенням  $h_{is} = 3,45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$ ;

$h_{ms}$  – коефіцієнт теплопередачі між вузлами  $m$  та  $s$ , з фіксованим значенням  $h_{ms} = 9,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$ ;

$A_m$  – ефективна масова площа,  $\text{м}^2$ ;

$A_j$  – площа  $j$ -го елемента,  $\text{м}^2$ ;

$A_{tot}$  – площа всіх зовнішніх огорожень зони будівлі,  $\text{м}^2$ ;

$C_m$  – внутрішня теплоємність, Дж/К;

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

$k_j$  – внутрішня теплоємність на одиницю площі  $j$ -го елемента будівлі, Дж/(м<sup>2</sup>·К);

$H_{tr.is}$  – сполучення провідністю між вузлами  $s$  та внутрішнім повітрям, Вт/К;

$H_{tr.1}, H_{tr.2}, H_{tr.3}, H_{tr.3}$  – провідність умовних вузлів 1, 2, 3, Вт/м.

Вхідний масив даних для моделювання сформовано з погодинних кліматичних показників, зокрема температури зовнішнього повітря та інтенсивності сонячної радіації на огорожувальні конструкції. Варто зазначити, що базова версія моделі 5R1C, з метою спрощення, нехтує впливом аеродинамічних факторів (швидкість та напрям вітру), вологості повітря та атмосферного тиску. Врахування цих параметрів можливе за умови ускладнення топології схеми шляхом додавання відповідних розрахункових вузлів. [24]

Для наочного представлення теплових процесів, що відбуваються в будівлі, та взаємозв'язків між її елементами, структуру 5R1C моделі було відображено в розрахунковому середовищі. Алгоритм розрахунку наведений на рисунку 4.41.

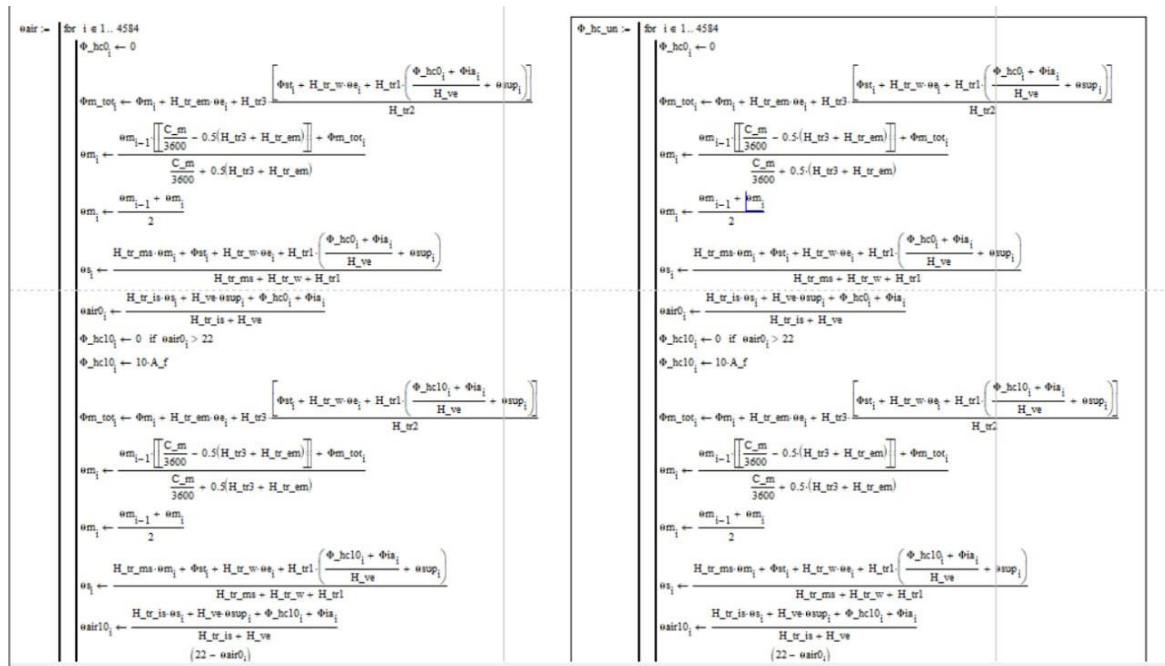


Рисунок 4.41 - Алгоритм розрахунку внутрішньої температури і енергопотреби

Для розрахунку теплонадходжень від сонця в зону будівлі використовуємо формулу [25]

$$Q_{\text{сонц}} = (F_{\text{Cx}} \cdot Q_{\text{sol}}^{\text{Cx}} + F_{\text{Зх}} \cdot Q_{\text{sol}}^{\text{Зх}} + F_{\text{Пн}} \cdot Q_{\text{sol}}^{\text{Пн}} + F_{\text{Пд}} \cdot Q_{\text{sol}}^{\text{Пд}}) \cdot K_{\text{п}} \quad (4.13)$$

де  $Q_{\text{sol}}^{\text{Cx}}, Q_{\text{sol}}^{\text{Зх}}, Q_{\text{sol}}^{\text{Пн}}, Q_{\text{sol}}^{\text{Пд}}$  – сонячні теплонадходження на сторони будівлі, Вт/м<sup>2</sup> (рисунок 4.42);

$F_{\text{Cx}}, F_{\text{Зх}}$  – площа вікон, м<sup>2</sup>;

$K_{\text{п}}$  – коефіцієнт пропускання вікон, приймаємо 0,4.

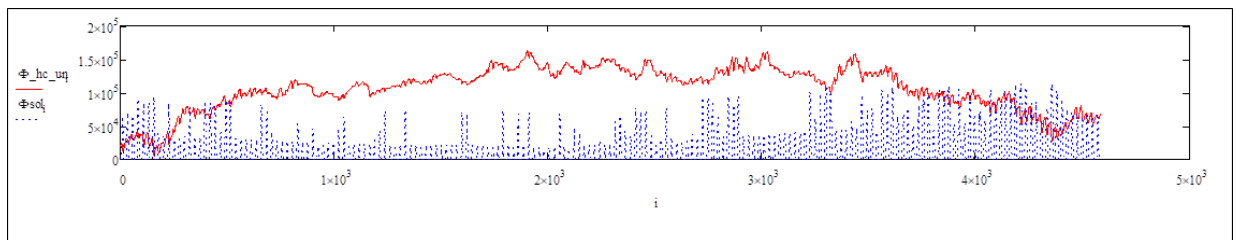


Рисунок 4.42 – Сонячні теплонадходження на вертикальні поверхні та енергопотреба на опалення

На рисунку 4.43 зображено сонячні теплонадходження в зону будівлі погодинно за опалювальний період та заміри зовнішньої температури.

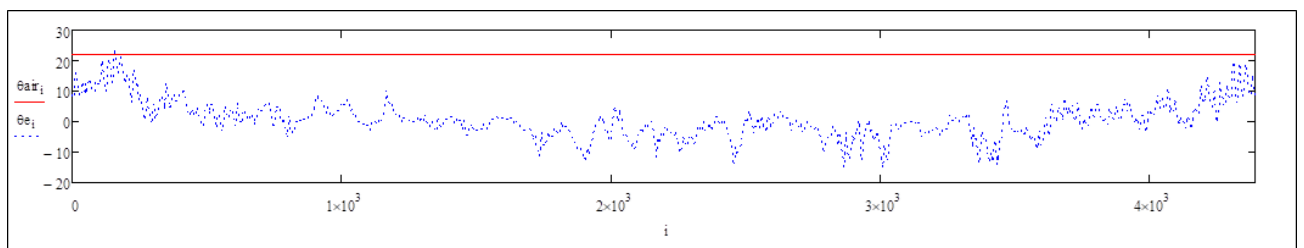


Рисунок 4.43 – Зовнішня та внутрішня температури повітря.

На рис. 4.44 показано результат впровадження енергозберігаючих заходів для будівлі дитсадка та, для порівняння, фактичне енергоспоживання цієї ж будівлі.

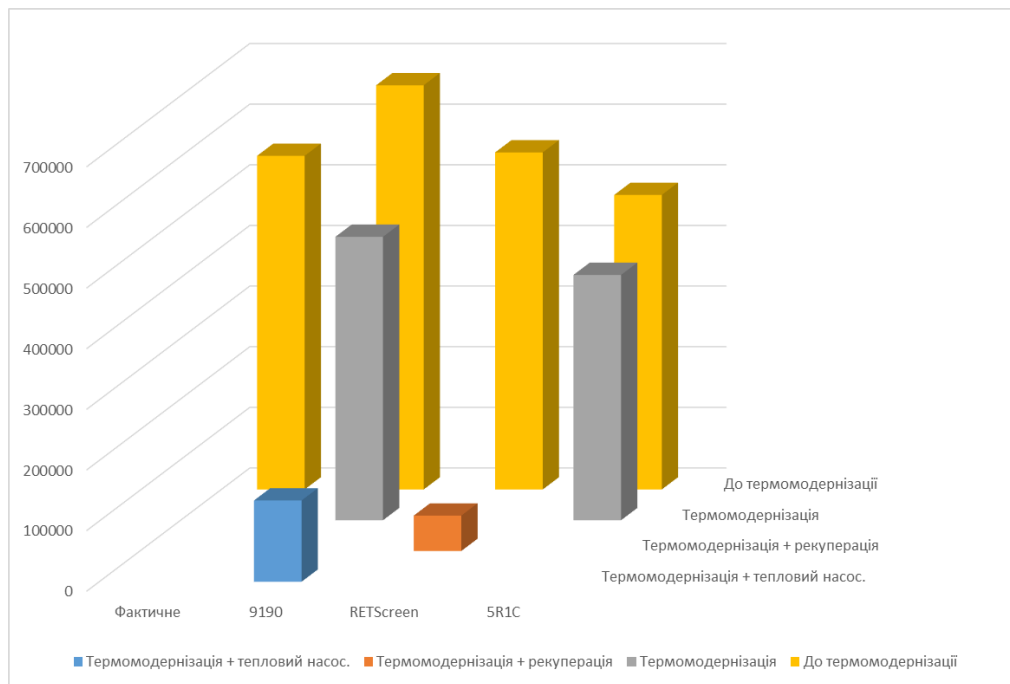


Рисунок 4.44 – Енергоспоживання житлового будинку до та після термомодернізації

Як бачимо, після термомодернізації енергоспоживання значно зменшилось, це свідчить про високу ефективність споживання енергоресурсів утепленою будівлею та про доцільність термомодернізації [26].

На рисунку 4.45 представлено порівняльний аналіз помісячного споживання теплової енергії будівлею: фактичного (за показами лічильника), змодельованого (за методом 5R1C) та розрахованого згідно з ДСТУ 9190:2022. На допоміжній осі відображено динаміку температури зовнішнього повітря, що демонструє чітку обернену кореляцію з обсягами енергоспоживання.

Певні відхилення між фактичними та модельними значеннями пояснюються методикою збору даних: показники лічильників були усереднені за три роки, протягом яких спостерігалися тепліші зими порівняно з кліматичними даними, використаними у моделі. Водночас, при врахуванні фактичного повітрообміну та реальних погодних умов, розбіжність між фактичним споживанням та нормативним розрахунком (за ДСТУ) становить 10%, що є допустимим показником точності.

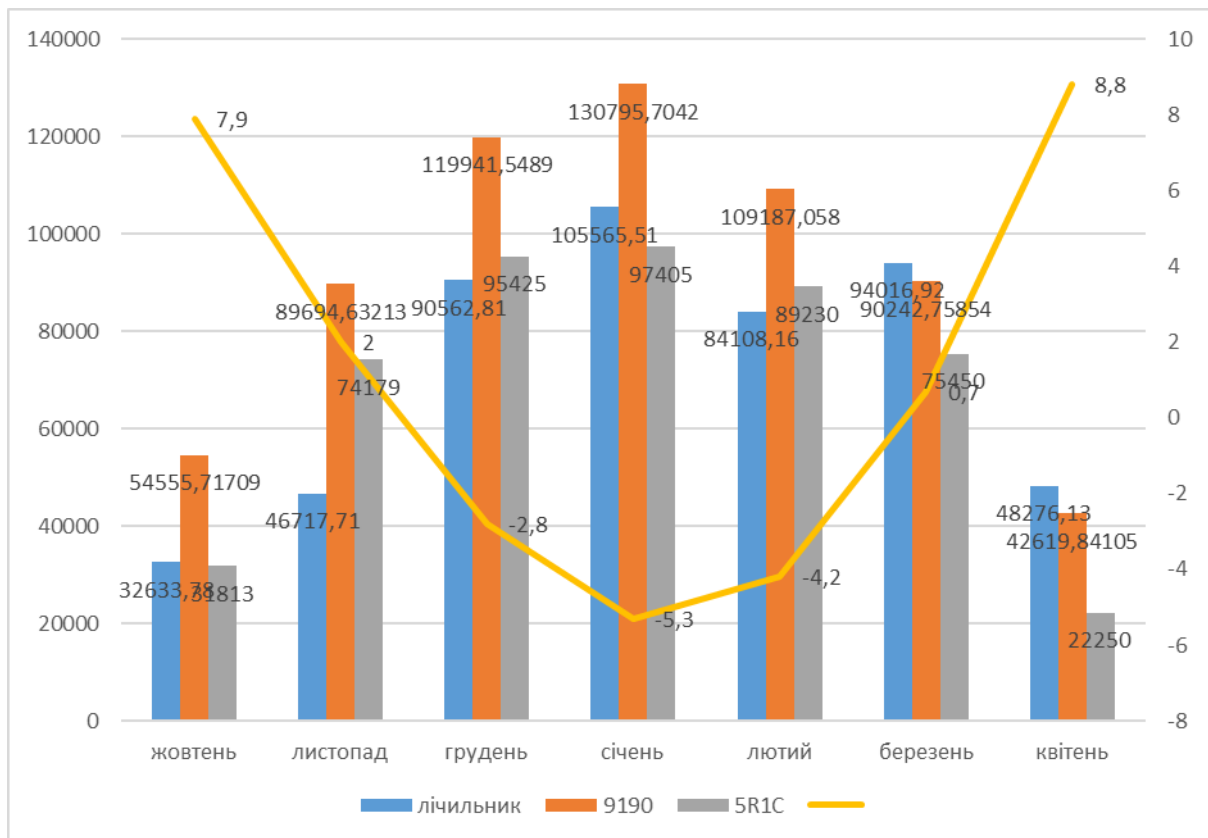


Рисунок 4.45 – Помісячне фактичне та змодельоване споживання теплової енергії об'єктом

Відомо, що комплексна термомодернізація будівель дозволяє скоротити річні витрати теплової енергії в середньому на 40%. Ефективність таких заходів варіюється залежно від сезону: у перехідні періоди (весна, осінь) показник економії може сягати 50%, тоді як під час пікових навантажень взимку він становить близько 30–35%.

Для оцінки енергетичної ефективності об'єкта було проведено моделювання його теплового балансу для різних сценаріїв: базового (існуючий стан) та проектного (після термомодернізації, впровадження рекуперації або теплового насосу). Валідація результатів здійснювалася шляхом порівняння фактичних показників із даними, отриманими за методиками ДСТУ 9190, RETScreen та динамічної моделі 5R1C. Зведені результати розрахунків річного енергоспоживання наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняння методів розрахунку

Варіант розрахунку	Енергоспоживання на опалення, кВт·год			
	Фактичне споживання	ДСТУ 9190	RETScreen	5R1C
Існуючий стан	550 215	666 593	555 856	485 723
Термомодернізація	-	467 404		404 564
Термомодернізація + рекуперація	-	-	58 312	
Термомодернізація + тепловий насос.	-	133 989		

#### 4.6 Схема під'єднання альтернативного джерела енергії до системи енергопостачання існуючого об'єкту

Розробка інженерного рішення щодо підключення альтернативних джерел енергії (АДЕ) до існуючої системи теплопостачання Дошкільного навчального закладу (ДНЗ) № 42 у місті Олександрія вимагає глибокого аналізу вихідних параметрів об'єкта, наведених у Розділі 1, та результатів енергетичного моделювання, представлених у пункті 4.1.4. Об'єкт дослідження, введений в експлуатацію у 1987 році, являє собою типову будівлю радянського періоду, конструктивні особливості якої (стіни з керамзитобетонних панелей товщиною 300 мм, значна площа скління, частково замінена на металопластик) формують специфічний профіль теплових втрат.

Ключовим викликом даного проекту є інтеграція низькотемпературного джерела тепла – повітряного теплового насоса (ТН) потужністю 73,6 кВт – у високотемпературну, гідравлічно незбалансовану однотрубну систему опалення з чавунними радіаторами М-140 АО. Така модернізація вимагає переходу від класичної схеми теплопостачання до складної бівалентної системи, де тепловий насос працює в тандемі з електричним котлом великої потужності (320 кВт). Цей підрозділ присвячено детальному обґрунтуванню гідравлічної схеми, вибору компонентів та розробці алгоритмів керування, що

										Арк.
										103
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

забезпечать надійність, енергоефективність та санітарно-гігієнічні норми мікроклімату, критично важливі для дитячого закладу.

Згідно з результатами моделювання у розділі 4.1, розрахункова точка бівалентності для системи становить  $-1,8^{\circ}\text{C}$ . Це фундаментальний параметр, що визначає архітектуру схеми підключення.

При температурах зовнішнього повітря  $> -1,8^{\circ}\text{C}$  теплове навантаження будівлі повністю покривається тепловим насосом. У кліматичних умовах м. Олександрія цей діапазон охоплює значну частину опалювального сезону (жовтень, листопад, березень, квітень, а також теплі періоди зимових місяців).

При температурі  $< -1,8^{\circ}\text{C}$  потужності ТН стає недостатньо, або температура теплоносія, яку він може згенерувати (макс.  $55-60^{\circ}\text{C}$ ), є нижчою за необхідну для компенсації тепловтрат через радіатори М-140. У цьому режимі електричний котел виступає як догрівач або пікове джерело.

Проблема сумісності полягає в різній природі генерації та тепловіддачі. Тепловий насос вимагає великої витрати теплоносія з малим перепадом температур (приблизно  $5^{\circ}\text{C}$ ) для підтримки ефективності циклу Карно та запобігання аварійним зупинкам по високому тиску конденсації.<sup>2</sup> Натомість, існуюча система з радіаторами М-140, спроектована під графік  $95/70^{\circ}\text{C}$ , характеризується великим гідравлічним опором та змінною витратою (внаслідок можливої роботи терморегуляторів або балансувальних клапанів). Пряме підключення ТН до такої системи призведе до "тактування" компресора, зниження середньорічного коефіцієнта перетворення (SCOP) та швидкого зносу обладнання.

Для вирішення цієї проблеми у схемі підключення передбачено використання буферної ємності як гідравлічного розділювача та акумулятора енергії. Це дозволяє "розв'язати" контури генерації та споживання, забезпечуючи кожному з них оптимальні гідравлічні режими.

Обрана схема базується на принципі паралельного підключення теплогенераторів до спільної шини (буферної ємності) з пріоритетом

										Арк.
										104
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

приготування гарячої води (ГВП). Розглянемо фізичні процеси та інженерні розрахунки, що лежать в основі цього вибору.

Витрата через конденсатор теплового насоса ( $G_{HP}$ ) повинна бути постійною. Витрата через систему опалення ( $G_{load}$ ) є змінною і залежить від погодних умов та положення регулюючих клапанів. Буфер дозволяє цим витратам відрізнятись без взаємного негативного впливу. Якщо  $G_{HP} > G_{load}$ , надлишок теплоносія циркулює через буфер, заряджаючи його. Якщо  $G_{HP} < G_{load}$ , дефіцит покривається за рахунок підмісу зворотної лінії або розрядки буфера.

Для захисту компресора від частих пусків необхідний мінімальний об'єм води в системі. Для ТН потужністю 73,6 кВт мінімальний час роботи становить 10-15 хвилин. Буферна ємність забезпечує необхідну теплову інерцію.

Повітряні теплові насоси періодично потребують розморожування випарника. У цьому режимі цикл реверсується, і тепло забирається з системи опалення. Без буфера це призвело б до різкого охолодження радіаторів у групах ДНЗ, що є неприпустимим. Буфер віддає тепло на відтавання, не порушуючи комфорт у приміщеннях.

Електричний котел потужністю 320 кВт створює значне навантаження на електромережу. Робота через буфер дозволяє оптимізувати графік включення ступенів котла, уникаючи різких стрибків споживання.

Згідно з рекомендаціями провідних виробників та інженерних стандартів (наприклад, CIBSE CP1)[\*\*], об'єм буферної ємності для системи з ТН розраховується як 15-20 літрів на 1 кВт теплової потужності.

$$V_{буф} = N_{ТН} * 20 \quad (4.14)$$

$$V_{буф} = 73,6 * 20 = 1472 \text{ л}$$

Для забезпечення запасу надійності та можливості роботи в перехідних режимах, у проекті приймається встановлення буферної ємності об'ємом 1500–2000 літрів.

									Арк.
									105
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

Критичним моментом є точка змішування потоків. У класичних схемах можливе послідовне підключення (ЕК після ТН). Однак, враховуючи високу потужність котла порівняно з ТН, послідовна схема може створити надмірний гідравлічний опір. Тому обрано схему паралельного підключення обох джерел до буфера. ТН працює на нижню/середню зону буфера (підтримуючи базову температуру, наприклад, 45°C), а ЕК підключений до верхньої зони, догріваючи її до 65-75°C у разі потреби. Це підвищує ефективність роботи ТН, оскільки він завжди отримує найбільш холодний теплоносій з нижньої частини ємності.

Запропонована гідравлічна схема складається з трьох функціональних контурів: джерел тепла, акумуляції/розподілу та споживачів.

Перший вузол складається з теплового насосу. Він встановлюється всередині будівлі на віброізолюючій основі. Враховуючи ризик замерзання води при аварійному відключенні електропостачання взимку, підключення зовнішнього блоку до внутрішньої системи реалізовано через проміжний пластинчастий теплообмінник.

Другий вузол складається з електричного котла, який виконує функцію гарантованого джерела тепла. Враховуючи його велику потужність, він розбитий на кілька ступенів (каскад ТЕНів).

Третій вузол складає існуюча система опалення із радіаторами. Існуюча система підключається до буфера через насосно-змішувальний блок.

Ефективність запропонованої схеми залежить не стільки від нової системи, скільки від інтелектуальних алгоритмів керування. Система автоматизації (BMS) повинна реалізовувати наступні сценарії :

1. Економічний сценарій. ДНЗ № 42 працює за графіком 5/7 з 7:00 до 19:00. Вночі та у вихідні будівля не потребує підтримання температури 21-22°C. Система переходить в режим зниження температури (Setback) до 16-18°C. Це дозволяє суттєво зменшити тепловтрати. Використовуючи нічний тариф на електроенергію (якщо такий є), система вмикає ТН та ЕК вночі для

									Арк.
									106
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

"зарядки" буферної ємності та теплоємних конструкцій будівлі (стін) перед ранковим запуском.

2. Попередній підігрів. Перед приходом дітей (до 07:00) система повинна підняти температуру з 16°C до 21°C. В цей період автоматика ігнорує точку бівалентності і примусово вмикає Електричний Котел на повну потужність разом з ТН, щоб забезпечити максимально швидкий прогрів приміщень.

Розроблена схема під'єднання альтернативного джерела енергії для ДНЗ № 42 в м. Олександрія є технічно виваженим рішенням, що враховує обмеження існуючої інфраструктури (радіатори М-140, однотрубна система) та вимоги до енергоефективності. Впровадження буферної ємності, паралельного бівалентного підключення та інтелектуальної системи керування дозволяє інтегрувати тепловий насос у стару систему опалення та забезпечити надійність теплопостачання.

#### **4.7 Висновки за розділом 4**

У четвертому розділі виконано динамічне енергетичне моделювання теплових режимів будівлі та роботи комбінованих систем теплозабезпечення із залученням відновлюваних джерел енергії. Використання програмних комплексів RETScreen, PVSol, TSol та GeoT\*Sol дозволило кількісно оцінити вплив термомодернізації, режимів експлуатації та інтеграції альтернативних джерел на загальний енергетичний баланс об'єкта.

Результати моделювання показали, що застосування теплових насосів, сонячних колекторів і фотоелектричних систем забезпечує істотне скорочення споживання традиційних енергоресурсів та підвищення енергетичної стійкості лікарні. Запропонована схема інтеграції ВДЕ є технічно реалізованою та може бути адаптована для інших об'єктів соціальної інфраструктури з подібними умовами експлуатації.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						107
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## 5 СТАРТАП ПРОЄКТ

Сучасна енергетична парадигма перебуває на етапі фундаментальної трансформації, зумовленої необхідністю декарбонізації економіки та підвищення енергетичної безпеки. В умовах України, де питання енергонезалежності є питанням національної безпеки, пошук альтернативних джерел теплової енергії стає критично важливим завданням. Паралельно з цим світ переживає цифрову революцію, фізичним втіленням якої є центри обробки даних (ЦОД). Ці об'єкти є одними з найбільших споживачів електроенергії у світі, причому значна частина цієї енергії, відповідно до законів термодинаміки, перетворюється на тепло, яке традиційно розглядається як відходи виробництва і викидається в навколишнє середовище, створюючи додаткове екологічне навантаження.

### 5.1 Опис ідеї стартап-проєкту

Ідея проєкту «EcoHeat DC» полягає у створенні технологічно-організаційної системи, що дозволяє відбирати низькопотенційне тепло (30–45 °С), яке генерується серверним обладнанням центрів обробки даних, трансформувати його за допомогою промислових теплових насосів до параметрів, придатних для використання в системах опалення (65–80 °С), і транспортувати до кінцевих споживачів соціальної сфери (школи, лікарні, дитячі садки).

Актуальність проєкту зумовлена трьома макроекономічними трендами. По-перше, зростання вартості викопного палива (природного газу) робить традиційне опалення непосильним тягарем для місцевих бюджетів. По-друге, стрімке зростання кількості та потужності ЦОД в Україні вимагає нових підходів до їх охолодження, оскільки традиційні системи (чилери) споживають колосальну кількість енергії. По-третє, глобальний курс на "зелену" енергетику (Green Deal) відкриває доступ до грантового

									Арк.
									108
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

фінансування та пільгових кредитів для проєктів, що знижують вуглецевий слід.

Проєкт вирішує дві діаметрально протилежні задачі: утилізацію надлишкового тепла для однієї сторони (ЦОД) та забезпечення дефіцитного ресурсу тепла для іншої (муніципалітет). Це класичний приклад стратегії Win-Win, де ЦОД знижує операційні витрати на охолодження та покращує показник ефективності використання енергії (PUE), а місто отримує стабільне джерело тепла за ціною, нижчою від ринкової, не залежне від імпорту газу.

У таблиці 5.1 представлено деталізований зміст ідеї проєкту, що розкриває її багатогранність та потенційні напрямки впровадження.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проєкту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача (Цінність)
Створення системи рекуперації тепла на базі теплових насосів (Heat Recovery & Upgrade)	Інтеграція в існуючі інженерні мережі ЦОД для перехоплення теплового потоку від серверів та підвищення його температурного потенціалу.	Для ЦОД: Зменшення витрат на електроенергію для систем охолодження на 30-40%; монетизація відпрацьованого тепла; покращення ESG-рейтингу компанії.
Побудова локальних мікромереж теплопостачання (District Heating Microgrids)	Проектування та будівництво ізольованих теплотрас, що з'єднують джерело тепла (ЦОД) та споживача (соц. об'єкт) без втрат у магістральних мережах.	Для Муніципалітету: Отримання тарифу на теплову енергію на 15-20% нижче від газового аналога; енергетична автономія соціальних об'єктів; зниження навантаження на міські котельні.
Впровадження інтелектуальної системи управління енергопотоками (Smart Heat Grid)	Використання IoT-датчиків та алгоритмів машинного навчання для балансування генерації тепла ЦОД та споживання будівлею в реальному часі.	Для Експлуатації: Мінімізація людського фактору; автоматичне прогнозування пікових навантажень; оптимізація режимів роботи обладнання для подовження його ресурсу.

Наступним кроком є аналіз рівня інноваційності запропонованого рішення. Хоча фізичні принципи роботи теплових насосів відомі давно, інновація полягає у системній інтеграції двох раніше ізольованих галузей – ІТ та комунальної теплоенергетики – в умовах застарілої інфраструктури

українських міст. Це вимагає розробки унікальних гідравлічних схем та бізнес-моделей.

Аналіз відповідності ідеї проєкту сучасним викликам та можливостям наведено в таблиці 5.2. Цей аналіз дозволяє виявити, наскільки ідея готова до комерціалізації.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

Характеристика ідеї проєкту	Сильна сторона	Нейтральна сторона	Слабка сторона
Енергоефективність (COP системи > 4.0)	+		
Екологічна складова (декарбонізація)	+		
Технічна складність реалізації (Retrofit)		+	
Залежність від режиму роботи ЦОД			+
Масштабованість рішення	+		
Початкова капіталомісткість (CAPEX)			+
Юридична база (тарифоутворення)		+	
Соціальний вплив	+		

## 5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Технологічний успіх проєкту залежить від правильного вибору компонентів та їх сумісності. Дата-центри, як правило, використовують повітряне охолодження (Air Cooling), де нагріте повітря має температуру 30–35 °С. Це низькопотенційне тепло важко транспортувати. Більш сучасні ЦОД використовують рідинне охолодження (Liquid Cooling), де температура теплоносія може досягати 60 °С, що значно спрощує утилізацію.

У рамках технологічного аудиту ми розглядаємо варіант роботи з найбільш поширеними повітряними системами, що вимагає встановлення додаткових теплообмінників «повітря-вода» або врізку в контур чилерів.

У таблиці 5.3 представлено детальний аудит необхідних технологій, їх наявність на ринку та потенційні ризики впровадження.

										Арк.
										110
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

Таблиця 5.3 – Технологічний аудит ідеї проекту

Ідея / Компонент	Технології реалізації	Наявність технології	Доступність в Україні	Ризики та обмеження
Відбір низькопотенційного тепла	1. Теплообмінники в контурі чилерів. 2. Рекуператори у вентиляційних каналах. 3. Direct-to-Chip (рідинне охолодження процесорів).	Існує	1. Висока. 2. Висока. 3. Низька (імпорт).	1. Втручання в критичну інфраструктуру ЦОД може порушити гарантію на обладнання. 2. Аеродинамічний опір рекуператорів збільшує споживання вентиляторів.
Трансформація (підвищення) температури	1. Парокомпресійні ТН (спіральні компресори). 2. Високотемпературні ТН (CO <sub>2</sub> , аміак). 3. Абсорбційні бромистолітєві машини.	Існує	1. Висока. 2. Середня. 3. Низька.	Залежність ТН від якості електропостачання. Падіння COP при необхідності нагріву води понад 75°C.
Акумуляція теплової енергії	1. Буферні ємності з водою. 2. Фазоперехідні матеріали (PCM). 3. Геотермальні поля (сезонна акумуляція).	Існує	1. Дуже висока (власне виробництво). 2. Низька. 3. Середня.	Баки займають значну площу. PCM матеріали дорогі та мають обмежену кількість циклів.
Транспортування теплоносія	Гнучкі попередньо ізольовані труби (ПІТ) з полімерних матеріалів (PERT).	Існує	Висока (наприклад, виробництво "Корпорація Енергоресурс-Інвест").	Тепловтрати зростають пропорційно довжині траси. Економічно доцільний радіус – до 1 км.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	

МД 25 144 25 07 ПЗ

Арк.

111

Ключовим елементом системи є тепловий насос (Heat Pump). Це пристрій, який переносить теплову енергію від джерела з низькою температурою до споживача з вищою температурою, витрачаючи при цьому електричну енергію. Ефективність теплового насоса визначається коефіцієнтом перетворення (COP – Coefficient of Performance). Якщо COP = 4, це означає, що, витративши 1 кВт електроенергії, ми отримуємо 4 кВт теплової енергії (1 кВт від мережі + 3 кВт відібраних у ЦОД).

Для пілотного проєкту оптимальним є використання парокомпресійних теплових насосів типу «вода-вода» з проміжним контуром гліколю для захисту теплообмінників від замерзання. Ця технологія є найбільш зрілою, доступною в Україні та має розвинену сервісну базу. Використання українських попередньо ізольованих труб дозволить знизити валютну складову в кошторисі.

### 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Ринок теплопостачання є одним з найбільш консервативних, проте криза традиційних енергоносіїв створює унікальне "вікно можливостей" для альтернативних рішень.

Потенційний ринок включає всі будівлі, розташовані в радіусі 500-1000 метрів від середніх та великих дата-центрів.

Конкурентне середовище неоднорідне. Основними конкурентами є не інші стартапи, а традиційні постачальники тепла (Теплокомуненерго) та індивідуальні газові/твердопаливні котельні.

У таблиці 5.4 проведено глибокий порівняльний аналіз конкурентних технологій.

Таблиця 5.4 – Порівняльна характеристика потенційних конкурентів

Характеристика	Стартап «ЕсоHeat DC»	Централізоване опалення (Газ/ТЕЦ)	Твердопаливна котельня (Пелети)	Електрокотел
Ціна за 1 Гкал (прогноз)	Низька (~3000-3200 грн)	Висока (~4000-5000 грн для юр. осіб)	Середня (~3500 грн)	Дуже висока (>7000 грн)
Екологічність (CO2)	Нейтральна (утилізація відходів)	Низька (спалювання викопного палива)	Середня (викиди твердих часток)	Залежить від міксу в електромережі
Капітальні витрати (CAPEX)	Високі (обладнання + мережі)	Нульові (для існуючих абонентів)	Середні/Високі	Низькі
Операційні витрати (OPEX)	Низькі (електроенергія для компресора)	Високі (вартість газу)	Високі (логістика палива, зола)	Дуже високі (прямий тариф на е/е)
Автономність	Висока (локальна генерація)	Низька (залежність від магістралей)	Висока (за наявності запасу палива)	Висока
Складність обслуговування	Середня (автоматика, ТО раз на квартал)	Низька (для споживача)	Висока (постійний персонал, чистка)	Низька

Для стратегічного планування необхідно провести SWOT-аналіз, який допоможе ідентифікувати внутрішні ресурси та зовнішні загрози.

Таблиця 5.5 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Синергія: Одночасне вирішення проблеми охолодження ЦОД та опалення міста.</li> <li>2. Низька собівартість: Використання "безкоштовного" джерела тепла.</li> <li>3. Екологічність: Повна відсутність локальних викидів.</li> <li>4. Технологічність: Високий рівень автоматизації та диспетчеризації.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Локалізація: Жорстка прив'язка до географічного розташування ЦОД.</li> <li>2. Стартові інвестиції: Високий поріг входу через вартість обладнання.</li> <li>3. Інерційність: Складність регулювання температури при різких змінах погоди без великих буферних ємностей.</li> </ol>
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Державна підтримка: Можливість отримання грантів Фонду енергоефективності.</li> <li>2. Зростання ринку ЦОД: Цифровізація збільшує кількість джерел тепла.</li> <li>3. Вуглецеві кредити: Потенційний продаж квот на викиди.</li> <li>4. Масштабування: Реплікація моделі на промислові підприємства.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Регуляторні ризики: Зміна правил приєднання або тарифоутворення.</li> <li>2. Технологічні ризики: Збій у роботі ЦОД залишає споживачів без тепла.</li> <li>3. Енергетичні ризики: Блекаути та відключення електроенергії (критично для теплових насосів).</li> <li>4. Валютні ризики: Залежність вартості запчастин від курсу євро/долара.</li> </ol>

Проект має потужну базу для розвитку, але критично залежний від стабільності електропостачання. Тому обов'язковою умовою є наявність резервного живлення (генератори) для циркуляційних насосів та компресорів теплових насосів.

#### 5.4 Розробка ринкової стратегії

Стратегія проекту орієнтована на B2G (Business to Government) та B2B (Business to Business) сектори. Споживчий ринок (B2C) розглядається лише в контексті ОСББ.

Таблиця 5.6 – Характеристика потенційних споживачів стартап-проекту

Сегмент споживачів	Потреба	Вимоги до продукту	Особливості поведінки
Соціальна сфера (Школи, Садки, Лікарні)	Зниження бюджетних видатків на опалення, дотримання санітарних норм температури.	Надійність, стабільність ціни, відсутність капітальних витрат з боку бюджету.	Довгий цикл прийняття рішень, необхідність проходження тендерних процедур (Prozorro).
ОСББ (Житлові будинки поруч з ЦОД)	Зменшення платіжок для мешканців, незалежність від міських відключень гарячої води.	Прозорість нарахувань, можливість регулювання споживання.	Колективне прийняття рішень, висока чутливість до ціни.
Комерційна нерухомість (БЦ, ТРЦ)	Оптимізація OPEX, отримання сертифікатів енергоефективності (LEED/BREEAM).	Технологічна естетика, інтеграція з BMS, екологічний імідж.	Раціональний підхід, готовність інвестувати за умови окупності до 3-5 років.

Стратегія позиціонування базується на концепції Energy-as-a-Service (EaaS). Ми не продаємо обладнання, ми продаємо комфорт (градуси Цельсія) за ціною, нижчою від ринкової, беручи на себе всі технічні ризики.

## 5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Маркетингова програма розроблена для просування послуги в специфічному середовищі муніципального управління та корпоративного сектору.

Таблиця 5.7 – Визначення ключових переваг концепції товару

Критерій	Зміст
Унікальна ціннісна пропозиція (UVP)	"Тепло цифрової ери: опалення вашого об'єкту енергією майбутнього зі знижкою 20% від міського тарифу".
Функціональні вигоди	Повна автоматизація, віддалений моніторинг, відсутність необхідності утримувати штат котельні.
Емоційні вигоди	Відчуття причетності до захисту довкілля, інноваційний імідж установи.
Соціальні вигоди	Економія бюджетних коштів, які можуть бути спрямовані на інші потреби громади.

Система збуту є прямою, оскільки продукт (теплова енергія) не підлягає зберіганню чи транспортуванню на значні відстані.

Таблиця 5.8 – Формування системи збуту

Канал збуту	Специфіка роботи	Переваги
Прямі переговори (Direct Sales)	Індивідуальна робота з керівниками установ та департаментами енергоменеджменту.	Висока конверсія, можливість адаптації пропозиції під конкретний об'єкт.
Участь у тендерах (Prozorro)	Моніторинг закупівель теплової енергії бюджетними установами.	Прозорість, гарантія оплати від держави (казначейство).
Партнерська мережа	Співпраця з забудовниками та керуючими компаніями дата-центрів.	Доступ до об'єктів на етапі проєктування (Greenfield), що здешевлює монтаж.

Для розширення розуміння цінової стратегії, введемо додаткову таблицю, що описує моделі монетизації.

Таблиця 5.9 – Моделі ціноутворення та монетизації

Модель	Опис	Застосування
Фіксований дисконт	Ціна встановлюється як % від діючого муніципального тарифу (наприклад, 85%).	Найбільш приваблива для бюджетних установ (гарантована економія).
Cost-Plus	Собівартість виробництва + фіксована маржа оператора.	Для комерційних клієнтів, які цінують прозорість.
Абонентська плата	Фіксована плата за підключену потужність + плата за спожиті Гкал.	Забезпечує стабільний грошовий потік навіть у теплі місяці (ГВП).

Додатково оцінимо потенційну ємність ринку для одного типового дата-центру потужністю 1 МВт ІТ-навантаження.

Таблиця 5.10 – Розрахунок потенційної ємності ринку (на 1 локацію)

Параметр	Значення
Потужність ІТ-обладнання	1000 кВт
Коефіцієнт завантаження (середній)	70%
Доступна теплова потужність	~700 кВт (теплова енергія)
Потужність теплового насоса (з урахуванням е/е компресора)	~950 кВт (на виході)
Потреба школи (2500 м <sup>2</sup> )	~150-200 кВт
Кількість об'єктів, які можна опалити	4-5 типових шкіл або садків

### 5.6 Обґрунтування ресурсів витрат

Розділ присвячено детальному обрахунку матеріальних та людських ресурсів, необхідних для запуску пілотного проекту потужністю 500 кВт (опалення двох соціальних об'єктів).

Таблиця 5.11 – План потреби у персоналі

Посада	Кількість	Оклад (міс.), грн	Фонд (міс.), грн	Річний фонд, грн
Директор (СЕО)	1	45 000	45 000	540 000
Головний інженер (СТО)	1	40 000	40 000	480 000
Інженер-теплотехнік	1	30 000	30 000	360 000
Менеджер з розвитку	1	25 000	25 000	300 000
Оперативний персонал (чергові)	4	18 000	72 000	864 000
Бухгалтерія/Юрист (Аутсорс)	-	15 000	15 000	180 000
ССВ (22%)			49 940	599 280
РАЗОМ	8		276 940	3 323 280

Ключовою складовою успіху є точний розрахунок капітальних інвестицій (CAPEX).

Операційні витрати (ОРЕХ) включають витрати на електроенергію, зарплату, оренду приміщення під обладнання (якщо воно не на території ЦОД), амортизацію та поточний ремонт.

									Арк.
									116
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

Таблиця 5.12 – Структура капітальних інвестицій (CAPEX)

Стаття витрат	Деталізація	Сума, тис. грн	Частка, %
Проектно-вишукувальні роботи	ТЕО, геодезія, робочий проєкт, експертиза.	350	5.8%
Теплові насоси (промислові)	2 шт. по 250 кВт (включаючи автоматику).	2 800	46.7%
Гідравлічне обладнання	Насоси, баки-акумулятори, запірна арматура, теплообмінники.	950	15.8%
Теплотраса (матеріали)	Труби ППТ (500 м), фітинги, компенсатори.	800	13.3%
Будівельно-монтажні роботи	Земляні роботи, монтаж ІТП, електромонтаж.	900	15.0%
Адміністративні витрати	Дозволи, ліцензії, маркетинг на старті.	200	3.3%
<b>ВСЬОГО ІНВЕСТИЦІЙ</b>		<b>6 000</b>	<b>100%</b>

### 5.7 Фінансово-економічний аналіз та розрахунок вартості проєкту

Фінансова модель побудована на горизонті планування 5 років. Основне джерело доходу – продаж теплової енергії.

Припущення моделі:

- Сезон опалення: 180 днів.
- Середнє навантаження в сезон: 60% від пікового.
- Тариф на електроенергію для підприємства: 7 грн/кВт·год (з ПДВ).
- Тариф на тепло (продаж): 3 200 грн/Гкал (конкурентна ціна).
- COP системи (середньосезонний): 3.8.

Розрахунок собівартості 1 Гкал тепла: Для генерації 1 Гкал (1163 кВт·год тепла) тепловий насос з COP 3.8 споживає:

$$E_{\text{ел}} = \frac{1163}{3,8} = 306 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість електроенергії:

$$306 \cdot 7 = 2142 \text{ грн}$$

Інші змінні витрати (вода, мастило) – орієнтовно 50 грн.

										Арк.
										117
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

Повна змінна собівартість: орієнтовно 2192 грн.

Маржинальний прибуток з 1 Гкал:  $3200 - 2192 = 1008$ .

Таблиця 5.13 – План виробництва та реалізації продукції

Показник	Рік 1	Рік 2	Рік 3	Рік 4	Рік 5
Кількість підключених об'єктів	2	3	5	5	5
Обсяг реалізації тепла, Гкал	1 500	2 500	4 000	4 000	4 000
Ціна реалізації, грн/Гкал	3 200	3 520	3 870	4 250	4 680
Дохід від реалізації, тис. грн	4 800	8 800	15 480	17 000	18 720
Індекс інфляції цін	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1

Таблиця 5.14 – Звіт про рух грошових коштів

Стаття (тис. грн)	Рік 0	Рік 1	Рік 2	Рік 3	Рік 4	Рік 5
Надходження (Sales)	0	4 800	8 800	15 480	17 000	18 720
Інвестиції (CAPEX)	-6 000	-1 500	-3 000	0	0	0
Змінні витрати (COGS)	0	-3 288	-6 000	-10 500	-11 500	-12 600
Постійні витрати (OPEX)	0	-1 000	-1 200	-1 500	-1 650	-1 800
Податок на прибуток (18%)	0	-92	-288	-626	-693	-777
Чистий грошовий потік (NCF)	-6 000	-80	-1 688	2 854	3 157	3 543
Накопичений грошовий потік	-6 000	-6 080	-7 768	-4 914	-1 757	1 786

Проект виходить на позитивний накопичений потік (окупність) на 5-й рік. Це пов'язано з високими інвестиціями у розширення мережі на 1-му та 2-му роках (додаткові об'єкти). Без масштабування окупність пілотної частини склала б 3.5 роки.

Інтегральні показники ефективності:

- NPV (15%): 1.2 млн грн.
- IRR: 19%.
- ROI: 30% (на кінець 5 року).

## 5.8 Ризики стартап-проєкту та заходи щодо їх мінімізації

Управління ризиками є критично важливим для інфраструктурного проєкту.

Таблиця 5.15 – Комплексна карта ризиків та стратегії реагування

Група ризиків	Опис ризику	Ймовірність	Вплив	Превентивні заходи (Мітігація)
Технічні	Зниження навантаження ЦОД (відсутність джерела тепла).	Середня	Критичний	Встановлення електрокотлів як резерву. Укладання угоди з ЦОД про гарантований мінімум генерації тепла ("must run").
Енергетичні	Блекаути, відключення електроенергії.	Висока	Критичний	Встановлення дизель-генераторів для живлення циркуляційних насосів (теплоносій не замерзне, хоча температура впаде).
Фінансові	Касові розриви через затримку оплат казначейством.	Висока	Високий	Формування резервного фонду у розмірі 3-місячних операційних витрат. Факторинг дебіторської заборгованості.
Ринкові	Зниження цін на газ, що зробить проєкт менш конкурентним.	Низька	Середній	Підписання довгострокових контрактів з фіксацією формули ціни прив'язаної до індексу інфляції, а не ціни газу.
Юридичні	Зміни в законодавстві про теплопостачання.	Середня	Середній	Постійний моніторинг законодавства, лобювання інтересів через асоціації енергоефективності.

## 5.9 Висновки за розділом 5

Проєкт «EcoHeat DC» є високотехнологічним та соціально значущим стартапом, який відповідає сучасним викликам енергетичної безпеки України.

Проєкт вирішує проблему утилізації скидного тепла дата-центрів,

										Арк.
										119
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

перетворюючи відходи на ресурс, що відповідає принципам циркулярної економіки. Використання перевірених технологій теплових насосів та попередньо ізольованих труб мінімізує технічні ризики реалізації. Незважаючи на високі стартові інвестиції (6 млн грн для пілоту), проєкт демонструє позитивну динаміку грошових потоків з IRR 19% та окупністю до 5 років, що є прийнятним для інфраструктурних інвестицій.

Масштабування проєкту можливе як шляхом підключення нових будівель до одного ЦОД, так і шляхом тиражування моделі на інші дата-центри в Україні. Реалізація проєкту створить прецедент енергоефективної взаємодії цифрової та комунальної інфраструктури, заклавши основу для розвитку розумних енергомереж (Smart Thermal Grids) в українських містах.

									Арк.
									120
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

МД 25 144 25 07 ПЗ

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Нормативно-правові вимоги

При проектуванні та монтажі СЕС на плоскій покрівлі слід керуватися чинним законодавством України в галузі охорони праці й пожежної безпеки. Зокрема, мають застосовуватися загальні правила охорони праці в будівництві та правила охорони праці під час виконання робіт на висоті [9].

У розробці заходів пожежної безпеки слід керуватися «Правилами пожежної безпеки в Україні» та відповідними нормами ДБН [8]

Варто зауважити, що спеціальних нормативів саме для СЕС в Україні наразі немає, тож слід застосовувати загальні положення з електробезпеки, робіт на висоті й пожежної безпеки. Усі працівники, залучені до монтажу, повинні пройти відповідне інструктаж і навчання з ОП (ознайомлені з технологією робіт та аварійними процедурами).

### 6.2 Загальні вимоги безпеки

Перед початком монтажу перевіряють технічний стан майданчика і забезпечують умови безпеки: видаляють сторонні предмети, розмічають прохідні зони та зону небезпеки під час робіт на висоті. Монтажні роботи проводять відповідно до проекту організації будівництва (ПОБ) та проектів виконання робіт (ПВР), де враховано охорону праці. Техніка і матеріали доставляються в робочі зони у послідовності, що виключає ризики падіння або завалення конструкцій. Під час піднімання важких вантажів (сонячних панелей) необхідно застосовувати механізовані засоби (крани, талі) із дотриманням правил стропування та безпечних вантажо-підйомних процедур. Забороняється підвішувати вантажі над працюючими і тримати робітників у небезпечній зоні під час переміщення обладнання.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						121
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

### 6.3 Роботи на висоті

Згідно з НПАОП 0.00-1.15-07 «Правил охорони праці під час виконання робіт на висоті», до робіт на висоті належать будь-які роботи, під час яких людина перебуває на відстані понад 1,3 м від основи (покрівлі чи настилу) або ближче ніж 2 м від незахищеної кромки з перепадом  $\geq 1,3$  м. Монтаж СЕС на пласкому даху відповідає цим критеріям, отже потрібно застосовувати заходи протидії падінню. Робочі місця на даху обладнують надійними огороженнями, поручнями чи риштуванням або використовують запобіжні пояси (страхувальні лямки). Під час робіт на висоті знизу під ними слід розмітити та огородити зону можливого падіння матеріалів і конструкцій, а також встановити захисні настили, сітки або козирки на відстані до 6 м по вертикалі від місця роботи. Монтажні роботи на даху виконують з дотриманням розрахунків несучої здатності покрівлі, використовуючи спеціальні підкладки чи прогумовані площадки для рівномірного розподілу ваги баласту [9].

Узгоджено заборонено проводити роботи на висоті в несприятливих погодних умовах. Зокрема, не можна виконувати монтажні роботи на відкритому даху при швидкості вітру 15 м/с і більше або під час грози, сильного туману, ожеледі чи снігопаду, що ускладнює видимість. У такі періоди працівників слід зняти з даху та призупинити роботи. Відповідно до ДБН, також не дозволяється робота під проливним дощем або ожеледицею, коли поверхня покрівлі стає слизькою. Для пересування і підйому працівників на дах використовують стійкі сходи та трапи з перилами; підйомні пристрої (ліси, вишки) встановлюють на рівному майданчику і закріплюють згідно з інструкціями. При переході бригади з однієї ділянки даху на іншу забезпечують наявність безпечних перехідних мостків або настилів.

										Арк.
										122
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

## 6.4 Електробезпека

Електричні роботи при монтажі СЕС пов'язані з ризиками ураження електричним струмом та пожежі через короткі замикання. Сонячні панелі формують ланцюги постійного струму з напругою до  $\approx 1000$  В, тому проводку слід класифікувати відповідно до категорії напруги та захищати запобіжниками. Всі електричні з'єднання виконують тільки знеструмленими (за можливості) або з використанням засобів ізольованого захисту. Основною причиною ураження струмом є коротке замикання через пошкодження кабелів, погану ізоляцію чи невірне заземлення. Тому потрібно ретельно перевіряти стан проводки і з'єднань, уникати перегину кабелів та застосовувати провідники і матеріали з допусками на ПВР.

Нормативно передбачено наявність засобів швидкого відключення струмів як у межах масиву панелей, так і на вході-виході електростанції. При проектуванні СЕС передбачають встановлення комутаційних апаратів (перемикачів, вимикачів, реле швидкого вимкнення) для оперативного знеструмлення PV-стрінгів під час аварій або обслуговування. У розподільних коробках і на вході кабельних трас розміщують попереджувальні написи («Увага: постійний струм», «Не торкатися під напругою»), а також ізолюючі кожухи на оголених клемах.

Також потрібно враховувати небезпеку виникнення електричних дугових замикань, що можуть призвести до пожежі. Дуги виникають при розриві або поганому контакті ланцюга і створюють інтенсивне локальне нагрівання ізоляції, що може спричинити іскріння чи займання. У великих масивах є ризик дугових спалахів: при коротких замиканнях виділяються гарячі гази і енергія до  $\sim 19\,500^\circ\text{C}$ , що може спровокувати вибухову хвилю і розповсюдження полум'я. Тому збірні коробки і розподільні шафи повинні бути дугостійкими (з отвідними каналами зверху) та мати захисні контактні колодки. Для персоналу, який працює з електрообладнанням СЕС,

									МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
										123
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

передбачають захисний одяг та рукавички, що запобігають опікам при можливому дуговому розряді [6].

## 6.5 Механічна безпека

Монтаж СЕС передбачає піднімання й фіксацію великогабаритних панелей, монтаж металоконструкцій та електрообладнання. Всі вантажі піднімають з дотриманням правил безпечного стропування і лише атестованим вантажопідйомним обладнанням. Ручна робота з важкими панелями виконується не менш ніж двома працівниками, або з використанням транспортних засобів. Інструмент і пристрої (шуруповерти, дрилі, якірні болти, ЛЕП-інструмент) повинні бути справними, мати подвійне ізолювання і відповідати класу електробезпеки. Використання зварювання або пірометодів (перфорації) на покрівлі руберойдом виконується лише з попереднім вжиттям пожежних заходів (вологою захист навколо місця зварювання, чергування з вогнегасником). Слід уникати проходження під несмонтованими конструкціями та забезпечувати, щоб верхні панелі не призвели до каскадного обвалення. У разі застосування тимчасових сходів або рам вони мають бути обладнані боковими стійками та підніматися обережно.

## 6.6 Пожежна безпека

Покрівля з руберойду є частково горючим покриттям, тому будь-яке джерело іскри чи полум'я на даху вимагає особливої обережності. Необхідно заборонити куріння та розпалювання будь-якого вогню на даху. Відповідно до ДБН, місця зберігання та монтажу паливно-мастильних матеріалів (нафта, дизель, мастило), балонів з газами мають бути відгороджені та мати протипожежний інвентар. На майданчику встановлюють вогнегасники класів «АВП-5» та «Універсальний» біля входів та електрощитових. Оскільки СЕС працює без постійного персоналу на об'єкті, проектом передбачають

										Арк.
										124
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

мінімальні засоби пожежогасіння та системи сигналізації. У разі займання проводять передвідключення системи від мережі (вимикають інвертор та комутують ввід), викликають пожежну службу і застосовують піно- чи порошкові вогнегасники.

Проектна документація також має передбачати прилади блискавкозахисту, адже панелі розташовані на відкритому даху. Заземлення PV-каркасу виконується окремо, згідно з вимогами електрообез-пеки. У конструкції баластної системи слід передбачити відстані до вентиляційних люків і газоходів, щоб при займання горючих газів їх не було безпосередньо під модулями. При виборі баласту рекомендується застосовувати негорючі бетонні блоки; утеплювач під покрівлею – протипожежної серії. Регулярне технічне обслуговування та перевірка всієї електричної схеми допоможуть уникнути коротких замикань і перегріву, як зазначають українські фахівці. У проекті може бути передбачена система дренажу води з даху, щоб уникнути застоєння води під час пожежогасіння.

### **6.7 Засоби індивідуального захисту**

Працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту відповідно до виконуваних операцій. Обов'язковими є захисна каска, захисний взуття з протиковзкою підошвою, рукавички (електроізоляційні при роботі з проводкою) і захисні окуляри під час свердління отворів у металоконструкціях. Під час монтажу на дах використовують страховочні пояси з амортизуючим тросом і кріпленням до анкерної точки (за відсутності суцільного огороження). При перевезенні матеріалів або струмознімних пристроїв електромереж надають розряд індивідуальної електробезпеки не нижче II групи. За потреби (перевірка електрообладнання під напругою) застосовують засоби захисту від дуги (спеціальний одяг, екрани). Інструктажує бригаду старший майстер чи інженер з ОП, у наряді допускають до робіт лише тих, хто пройшов медогляд і навчання.

									Арк.
									125
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

## 6.8 Надзвичайні ситуації та медична допомога

Перед початком робіт обумовлюють порядок дій на випадок нещасного випадку чи пожежі. На майданчику мають бути аптечка з необхідними медикаментами, засоби зв'язку (мобільний, рації) та плани евакуації. У разі нещасного випадку (забій, поріз, ураження струмом) надається перша медична допомога відповідно до інструкцій та готуються до можливої евакуації потерпілого. Працівників інформують про номери екстрених служб і розташування вогнегасників. У рамках інструктажу кожен працівник повинен знати, як виконати екстрене відключення СЕС, як користуватися переносним ізоляційним комплектом та засобами проти падіння. Після закінчення робіт контролюють стан покрівлі (відсутність пошкоджень гідроізоляції) та прибирають всі матеріали, щоб не створювати додаткових перешкод та пожежних ризиків.

## 6.9 Висновки за розділом 6

Монтаж сонячної електростанції на плоскій руберойдовій покрівлі з баластною системою кріплення супроводжується підвищеними професійними ризиками, зокрема у зв'язку з роботами на висоті, механічним навантаженням при встановленні панелей, ризиками ураження електричним струмом, а також пожежонебезпечністю покрівельного матеріалу. Ці фактори вимагають системного підходу до організації безпеки праці на всіх етапах реалізації проєкту.

Проведений аналіз свідчить про необхідність дотримання комплексу технічних і організаційних заходів: застосування засобів індивідуального захисту, надання чітких інструкцій працівникам, оформлення нарядів-допусків і контролю робіт на висоті, впровадження заземлення та аварійного вимкнення для усіх PV-стрінгів. Особлива увага приділяється роботам із

										Арк.
										126
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

підвищеною пожежонебезпекою, де вживаються відповідні профілактичні заходи, включаючи блискавкозахист і оснащення вогнегасниками.

Забезпечення охорони праці на об'єкті є ключовим фактором безпечного, ефективного та безперервного монтажу СЕС. Дотримання чинних норм і вимог дозволяє мінімізувати ризики для життя і здоров'я працівників, а також забезпечити довговічну та безпечну експлуатацію енергетичного об'єкта.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						127
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення енергетичної ефективності та надійності енергозабезпечення будівлі дошкільного навчального закладу в умовах сучасних енергетичних викликів. Дослідження виконано на прикладі ДНЗ № 42 м. Олександрія з використанням комплексного підходу, що поєднує енергетичний аудит, динамічне енергетичне моделювання та техніко-економічну оцінку запропонованих інженерних рішень.

У результаті аналізу встановлено, що існуючий технічний стан будівлі відповідає класу енергоефективності «G» з річним споживанням енергії 166,4 тис. кВт·год та питомим показником 153,32 кВт·год/м<sup>3</sup>. Основними чинниками надмірних тепловтрат є низький термічний опір огорожувальних конструкцій, застарілі віконні заповнення та відсутність автоматизованого регулювання системи опалення, що унеможливорює забезпечення стабільних параметрів мікроклімату в приміщеннях закладу.

На основі результатів моделювання обґрунтовано доцільність комплексної термомодернізації будівлі, яка включає утеплення зовнішніх стін мінераловатними плитами товщиною 150 мм, покрівлі товщиною 250 мм та заміну вікон. Реалізація зазначених заходів дозволяє знизити розрахункову річну енергопотребу на опалення на 83 % – до 27,1 тис. кВт·год, а також досягти класу енергоефективності «C», що відповідає вимогам ДСТУ 9190:2022 та підтверджує ефективність комплексного підходу до термомодернізації будівель соціального призначення.

У роботі розроблено та змодельовано гібридну систему енергозабезпечення на основі повітряного теплового насоса тепловою потужністю 73,6 кВт, який працює у бівалентній схемі з електричним котлом через буферну ємність. Запропонована конфігурація забезпечує покриття близько 53 % річної потреби в тепловій енергії за рахунок теплового насоса з високим коефіцієнтом перетворення. Додаткове впровадження

										Арк.
										128
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

геліотермальної системи на базі вакуумних сонячних колекторів дозволяє замінити до 45 % енергії на потреби гарячого водопостачання.

Проектування фотоелектричної станції з річною генерацією 102,7 МВт·год створює передумови для формування енергоактивного об'єкта, здатного компенсувати власне споживання електричної енергії в річному балансі та забезпечити автономну роботу критично важливого обладнання у разі аварійних відключень зовнішньої мережі.

Техніко-економічна оцінка показала, що комплексний проект енергетичної модернізації є економічно доцільним, незважаючи на значні початкові інвестиції. Простий термін окупності становить близько 14 років, при цьому окремі енергоефективні заходи характеризуються коротшими періодами окупності. З урахуванням соціальної значущості об'єкта та тенденції до зростання вартості енергоресурсів результати роботи доцільно використовувати при розробці проектно-кошторисної документації для капітального ремонту ДНЗ № 42 м. Олександрія, а також як типові рішення для інших об'єктів соціальної інфраструктури України в межах програм післявоєнної відбудови..

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						129
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання, чинний від 2023-03-01. Вид. офіц. 2022.

2 ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель, чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. 2021.

3 ДСТУ Б EN 15251: 2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики будівель. [Чинний від 2013-07-01]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 71 с.

4 Енергоефективність у чернігівських лікарнях. URL: <https://chernigiv-rada.gov.ua/news/id-314/>.

5 Будівельна кліматологія: ДСТУ-НБ В.1.1-27:2010. – [Чинний від 2010-12-16]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с. – (Національний стандарт України).

6 Третьякова Л.Д., Литвиненко Г.Є. Засоби індивідуального захисту: виготовлення та застосування: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2008.

7 ДСТУ EN 352-2:2018 Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні вимоги. Частина 2. Вкладки протишумові (EN 352-2:2002, IDT). Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2018.

8 НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2014.

9 НПАОП 0.00-1.15-07. Правилами охорони праці під час виконання робіт на висоті: наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 27.03.2007 №62. Вид. офіц. Київ: Держнагляддохоронпраці, 2007. 25 с.

10 Прикладні задачі енергозбереження: Моделювання сонячної електростанції для забезпечення енергоспоживання будівлі: Комп'ютерний

										Арк.
										130
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис							

практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.О. Суходуб, В.І. Дешко, О.І. Яценко. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,1 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 57 с.

11 Прикладні задачі енергозбереження: Моделювання системи гарячого водопостачання з сонячними колекторами: Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.О. Суходуб, В.І. Дешко, О.І. Яценко. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,21 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 56 с.

12 Прикладні задачі енергозбереження: Моделювання системи теплозабезпечення будівлі з тепловим насосом: Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.О. Суходуб, В.І. Дешко, О.І. Яценко. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,98 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 43 с.

13 Паяні пластинчасті теплообмінники Danfoss XB-51 HL, двоходові [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ianv.com.ua/uk/category/category-danfoss/teplosnabzhenie/teploobmenniki/pajanie-plastinchatie-teploobmenniki-dvuhhodovie/xb-51-hl-2-hodovoj>

14 Циркуляційний насос Wilo Star-Z Nova T [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wilo.com/ua/uk/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B%D0%BD%D0%BD%D1%8F/ru/produkty-i-professionalnyy-opyt/wilo-star-z-nova/star-z-nova-t>

15 Клапан двоходовий сідельний Danfoss VB2 DN20 з електроприводом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://profimann.com.ua/uk/zaporno-reguliruyuschaya-armatura/sedelnye-klapan-y-s-elektroprivodami/klapan-2-hodovoy-sedelnyy-danfoss-vb2-dn20-flanec-kvs6-3-pn25-no/>

									Арк.
									131
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

16 Гідроаккумулятор Reflex DE 12, 10 bar [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://feko.com.ua/uk/shop/product/gidroakumulyator-reflex-de-12-10-bar>

17 НАКАЗ 27.10.2020 № 261. Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17 грудня 2020 р. за № 1254/35537. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20>.

18 НАКАЗ 27.10.2020 № 260. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 18 грудня 2020 р. за № 1257/35540. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>.

19 RETScreen - Clean Energy Management Software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465>

20 ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні (EN ISO 13790:2008, IDT). [На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013]

21 ISO EN 13786:2017. Thermal performance of building components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods

22 Дешко В.І., Білоус І.Ю. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання. Всеукраїнська науково-технічна конференція «Енергоефективність у будівництві. Сучасні конструктивні системи, ефективні матеріали та інженерне обладнання»

23 Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А. ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ З ВРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ КОМФОРТУ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ. – Режим доступу: <http://econference.nubip.edu.ua/index.php/pmeas/pmeas2020>

24 Дешко В.І., Білоус І.Ю. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ЕНЕРГОПОТРЕБИ НА ОПАЛЕННЯ ТА

									Арк.
									132
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис						

ОХОЛОДЖЕННЯ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ. – Режим доступу:  
<http://tt-conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/main-page/tezu.pdf>

25 Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А., Голубенко О.О., Гурєєв М.В.  
ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАМІНИ ВІКОН НА ЕНЕРГОПОТРЕБУ ТА УМОВИ  
КОМФОРТУ В БУДІВЛІ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.  
Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». 2018. №3. –  
Режим доступу: <http://energy.kpi.ua/article/view/164428>

26 Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А., Голубенко О.О., Гурєєв М.В.  
ВПЛИВ ТЕПЛОІНЕРЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОГОРОДЖЕНЬ НА  
УМОВИ КОМФОРТНОСТІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ЕНЕРГООЩАДНИХ  
РЕЖИМІВ ОПАЛЕННЯ В БУДІВЛЯХ. Науково-технічний збірник  
«Комунальне господарство міст». Серія: технічні науки та архітектура. 2019.  
Т.3. випуск 149. – Режим доступу:  
<https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/download/5415/5338/>

27 ДСТУ 9191:2022. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для  
утеплення будівель. К.: Мінрегіонбуд України, 2022. 55 с.

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк.
						133
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## Додаток А

### Перевірка магістерської дисертації на академічну доброчесність


28.80%  
кп 1

---

Звіт подібності

---

Метадані
^

Назва організації

National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv Politech Institute

підрозділ

ІАТЕ, К-ра теплової та альтернативної енергетики

---

Заголовок

Комбіноване використання джерел теплозабезпечення дошкільного навчального закладу в м. Олександрія Кіровоградська обл.

---

Автор

Тараненко Олександр

Науковий керівник / Експерт

Інна Білоус

---

Кількість слів	Кількість символів	Дата звіту	Дата редагування	ІД документу
22044	173041	19.12.2025	19.12.2025	332916540

кількість символів з інших алфавітів може означати спробу обману, уважно перевірте!

---

Заміна букв	<b>B</b>	283	^ v
Інтервали	<b>A-</b>	0	^ v
Мікропробіли		0	^ v
Білі знаки		0	^ v
Парафрази (SmartMarks)	a	375	^ v

---

Джерела <sup>Ⓢ</sup>
^

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк. 134
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	2	
2	A4	МД 25 144 25 07 001 ПЗ	Пояснювальна записка	135	
3	A1	МД 25 144 25 07 001 ТМК	Схема системи теплопостачання об'єкту	1	
4	A1	МД 25 144 25 07 001 ОВ	Поверховий план об'єкту дослідження (зазначення місця встановлення теплового насосу)	1	
5	A1	МД 25 144 25 07 001 ЕМ	Схема розміщення ФЕС та сонячних колекторів на даху будівлі	1	
6	A1	МД 25 144 25 07 002 ЕМ	Схема керування системами теплозабезпечення	1	
7	A1	МД 25 144 25 07 002 ТМК	Схема ІТП з інтеграцією ВДЕ	1	
8	A1	МД 25 144 11 01 002 ЕЕ	Плакат (енергоспоживання та енергозбереження)	1	

					МД 25 144 25 07 ПЗ	Арк. 135
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			