

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

зі спеціальності 144 Теплоенергетика

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

на тему: «Дослідження ефективності застосування теплових насосів у системах  
централізованого теплопостачання навчального корпусу КПП ім. Ігоря  
Сікорського»

Виконав: студент II курсу, групи ТЕ-41мп

Деніс БОРОЗДІН  
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Науковий керівник Доц., к.т.н., доц Інна БІЛОУС  
(Посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Охорона праці Доц., к.т.н., доц. Ірина СУХОДУБ

Рецензент к.т.н Дмитро КАРПЕНКО  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент

(підпис)

Науковий керівник

(підпис)

Київ – 2025 року

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

**Інститут** Навчально-науковий інститут теплової та атомної енергетики  
(повна назва)

**Кафедра** Теплової та альтернативної енергетики  
(повна назва)

**Рівень вищої освіти** – другий (магістерський)

**Спеціальність** 144 Теплоенергетика  
(код і назва)

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Віталій ПЕШКО

(підпис)

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

на магістерську дисертацію студенту

Денісу Бороздіну

(Ім'я, Прізвище)

1. Тема дисертації: «Дослідження ефективності застосування теплових насосів у системах централізованого теплопостачання навчального корпусу КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Науковий керівник дисертації Інна Білоус Юріївна

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

Затверджені наказом по університету від «03» листопада 2025 р. № 4779-с.

2. Термін подання студентом дисертації 11 грудня 2025 року.
3. Об'єкт дослідження Навчальний корпус №8 в м. Київ.
4. Вихідні дані до дисертації: поверхові плани з основними геометричними показниками будівлі; житлова площа будівлі 3871 м<sup>2</sup>, площа стін 1804,2 м<sup>2</sup>, площа скління 514,48 м<sup>2</sup>, опалювальна площа 2844,5 м<sup>2</sup>; опалювальний об'єм будівлі 7291 м<sup>3</sup>, кількість мешканців 792.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) надати загальну характеристику об'єкта дослідження; 2) скласти тепловий баланс та визначити рівень енергоефективності; 3) дослідити інженерні системи об'єкта; 4) виконати розрахунок обладнання при реконструкції систем теплопостачання та ГВП; 5) виконати техніко-економічне обґрунтування; 6) змодельовати джерела теплозабезпечення; 7) розробити стартап-проект; 8) розробити заходи з охорони

праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Існуюча система теплопостачання об'єкту – 1 арк. ф. А1.

2. Генеральний план – 1 арк. ф. А1.

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

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

5. Модернізована система теплопостачання об'єкту – 1 арк. ф. А1.

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

7. Орієнтовний перелік публікацій: відсутні.

8. Консультанти розділів дисертації

| Розділ        | Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ<br>та посада консультанта | Підпис, дата      |                     |
|---------------|-------------------------------------------------|-------------------|---------------------|
|               |                                                 | Завдання<br>видав | Завдання<br>прийняв |
| Охорона праці | Ірина СУХОДУБ,<br>доц                           |                   |                     |

Дата видачі завдання «24» жовтня 2025р.

### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації                                                                                                                                                                 | Строк виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|
| 1     | Загальна характеристика об'єкту дослідження                                                                                                                                                                     | 01.11.2025р                                     |          |
| 2     | Аналіз систем енергопостачання об'єкту. Складання теплового балансу та визначення рівня енергоефективності до методики ДСТУ 9190:2022                                                                           | 11.11.2025р.                                    |          |
| 3     | Аналіз інженерних систем об'єкту дослідження (опалення, вентиляції, гарячого водопостачання), оцінка стану та ефективності систем обліку, автоматизації, моніторингу й управління споживанням теплової енергії. | 18.11.2025р.                                    |          |
| 4     | Вибір і розрахунок обладнання при реконструкції системи теплопостачання та ГВП, розробка основних технічних рішень з управління енергоефективністю                                                              | 23.11.2025р.                                    |          |
| 5     | Динамічне енергетичне моделювання теплових режимів будівлі                                                                                                                                                      | 26.11.2025р.                                    |          |
| 6     | Комп'ютерне моделювання джерел теплозабезпечення з комбінованим використанням відновлювальних джерел енергії                                                                                                    | 27.11.2025р.                                    |          |
| 7     | Розробка стартап проекту                                                                                                                                                                                        | 30.11.2025р.                                    |          |
| 8     | Розробка заходів з охорони праці                                                                                                                                                                                | 01.12.2025р.                                    |          |
| 9     | Графічна частина                                                                                                                                                                                                | 03.12.2025р.                                    |          |
| 10    | Оформлення пояснювальної записки                                                                                                                                                                                | 06.12.2025р.                                    |          |

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Деніс БОРОЗДІН

\_\_\_\_\_

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Інна БІЛОУС

\_\_\_\_\_

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за освітньо-професійною програмою підготовки «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем» на тему: «Дослідження ефективності застосування теплових насосів у системах централізованого тепlopостачання навчального корпусу КПІ ім. Ігоря Сікорського»: пояснювальна записка на 116 с., 20 рис., 42 табл., 15 бібліографічних найменувань; 6 кресленики ф. А1.

Мета роботи – комплексний аналіз систем енергопостачання навчального корпусу, створення достовірної динамічної енергетичної моделі будівлі та обґрунтування технічних і організаційно-управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності з використанням відновлювальних джерел енергії.

У роботі наведено загальну характеристику об'єкта дослідження, зокрема функціональне призначення навчального корпусу, його умови експлуатації та кліматичні характеристики регіону. Виконано аналіз систем енергопостачання об'єкта, складено тепловий баланс будівлі та визначено рівень її енергоефективності відповідно до вимог ДСТУ 9190:2022. Проведено детальний аналіз інженерних систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, а також оцінено стан і ефективність систем обліку, автоматизації, моніторингу та управління споживанням теплової енергії.

На основі отриманих результатів обґрунтовано вибір та виконано розрахунок обладнання при реконструкції системи тепlopостачання і ГВП, сформовано рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності навчального корпусу. Виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження сучасного енергетичного обладнання та альтернативних джерел енергії.

У межах спеціального питання виконано комп'ютерне та динамічне енергетичне моделювання джерел теплозабезпечення з комбінованим використанням відновлювальних джерел енергії. У програмних середовищах GeoTSol, PVSol та MathCAD змодельовано системи енергозабезпечення будівлі, розроблено схему під'єднання теплового насоса до системи теплозабезпечення

існуючого об'єкта та виконано розрахунок енергозабезпечення теплового насосу від дахової сонячної електростанції.

Окремим розділом роботи є розроблення стартап-проекту, спрямованого на впровадження енергоефективних технологій та відновлювальних джерел енергії у навчальних корпусах. Отримані результати можуть бути використані при плануванні модернізації інженерних систем громадських і житлових будівель та підвищенні їх енергоефективності.

**Ключові слова:** тепловий насос, енергоефективність, відновлювальні джерела енергії, динамічне енергетичне моделювання, енергетичний баланс будівлі, навчальний корпус, інженерні системи будівель, енергетичний менеджмент.

## ABSTRACT

Master's thesis for the degree of Master under the educational and professional program "Energy Management and Engineering of Thermal Power Systems" on the topic: "Investigation of the Efficiency of Heat Pump Application in Centralized District Heating Systems of the Educational Building of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute": explanatory note of 116 pages, 20 figures, 42 tables, 15 bibliographic references; 6 drawings in A1 format.

The aim of the work is a comprehensive analysis of the energy supply systems of an educational building, the development of a reliable dynamic energy model of the building, and the substantiation of technical as well as organizational and managerial solutions to improve energy efficiency through the use of renewable energy sources.

The thesis presents a general characterization of the research object, including the functional purpose of the educational building, its operating conditions, and the climatic characteristics of the region. An analysis of the building's energy supply systems was carried out, a heat balance was compiled, and the level of its energy efficiency was determined in accordance with the requirements of DSTU 9190:2022. A detailed analysis of the engineering systems—heating, ventilation, and domestic hot water supply—was performed, along with an assessment of the condition and efficiency of metering, automation, monitoring, and control systems for thermal energy consumption.

Based on the obtained results, the selection and calculation of equipment for the reconstruction of the heating and domestic hot water systems were substantiated, and recommendations for organizational and managerial measures aimed at improving the energy efficiency of the education building were developed. A techno- economic justification for the implementation of modern energy equipment and alternative energy sources was carried out.

Within the scope of the special topic, computer-based and dynamic energy modeling of heat supply sources with combined use of renewable energy sources was performed. Using the software environments GeoTSol, PVSol, and MathCAD, the building's energy supply systems were modeled, a connection scheme of the heat pump

to the existing heat supply system was developed, and the energy supply of the heat pump from a rooftop solar power plant was calculated.

A separate section of the thesis is devoted to the development of a startup project aimed at implementing energy-efficient technologies and renewable energy sources in an educational building. The obtained results can be used in planning the modernization of engineering systems of public and residential buildings and in improving their energy efficiency.

**Keywords:** heat pump, energy efficiency, renewable energy sources, dynamic energy modeling, building energy balance, educational building, building engineering systems, energy management.

**Пояснювальна записка  
до магістерської дисертації**

на тему: Дослідження ефективності застосування теплових насосів у системах  
централізованого теплопостачання навчального корпусу КПІ ім. Ігоря  
Сікорського

Київ – 2025 року

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ .....                                                                                   | 11 |
| ВСТУП.....                                                                                                                             | 14 |
| 1 Загальна характеристика об'єкту дослідження .....                                                                                    | 15 |
| Висновок до розділу 1 .....                                                                                                            | 17 |
| 2 Аналіз систем енергопостачання об'єкту.....                                                                                          | 18 |
| 2.1 Складання теплового балансу та визначення рівня енергоефективності навчального корпусу .....                                       | 18 |
| 2.2 Інженерні системи об'єкту дослідження: системи опалення, вентиляції, гарячого водопостачання .....                                 | 54 |
| 2.3 Оцінка стану та ефективності систем обліку, автоматизації, моніторингу та управління споживанням теплової енергії на об'єкті ..... | 56 |
| 2.4 Висновок до розділу 2.....                                                                                                         | 58 |
| 3 Інженерні заходи з підвищення енергоефективності навчального корпусу.....                                                            | 59 |
| 3.1 Вибір і розрахунок обладнання при реконструкції системи теплопостачання та ГВП.....                                                | 59 |
| 3.2 Рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів навчального корпусу.....                                                     | 64 |
| 3.3 Техніко-економічне обґрунтування впровадження сучасного енергетичного обладнання чи альтернативного джерела енергії.....           | 68 |
| 3.4 Висновки до розділу 3.....                                                                                                         | 70 |
| 4 Спецпитання. «Моделювання джерел теплозабезпечення з комбінованим використанням відновлювальних джерел енергії» .....                | 72 |

|            |      |          |        |      |                                                                                                          |                                                       |       |         |
|------------|------|----------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------|---------|
|            |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ                                                                                       |                                                       |       |         |
|            |      |          |        |      |                                                                                                          |                                                       |       |         |
|            | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                                                                                          |                                                       |       |         |
| Розробив   |      | Бороздін |        |      | Система теплопостачання<br>навчального корпусу № 8 КПІ<br>ім. Ігоря Сікорського.<br>Пояснювальна записка | Стадія                                                | Аркуш | Аркушів |
| Перевірила |      | Білоус   |        |      |                                                                                                          | МДп                                                   | 9     | 116     |
| Т.контр.   |      |          |        |      |                                                                                                          | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>Кафедра ТАЕ, Гр. ТЕ-41мп |       |         |
| Н.контр.   |      | Боженко  |        |      |                                                                                                          |                                                       |       |         |
| Зав.каф.   |      | Пешко    |        |      |                                                                                                          |                                                       |       |         |

|     |                                                                                                            |     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1 | Комп'ютерне моделювання систем енергозабезпечення об'єктів в програмних середовищах: GeoT*Sol, PV*Sol..... | 18  |
| 4.2 | Динамічне енергетичне моделювання теплових режимів в будівлі .....                                         | 54  |
| 4.3 | Схема під'єднання теплового насосу до системи теплозабезпечення існуючого об'єкту.....                     | 56  |
| 4.4 | Розрахунок енергозабезпечення теплового насосу від дахової сонячної станції .....                          | 58  |
| 4.5 | Висновок до розділу 4.....                                                                                 | 59  |
| 5   | Розроблення стартап проекту.....                                                                           | 93  |
| 5.1 | Висновок до розділу 5.....                                                                                 | 97  |
| 6   | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....                                                    | 63  |
|     | Висновок до розділу 6.....                                                                                 | 99  |
|     | ВИСНОВКИ .....                                                                                             | 105 |
|     | СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                        | 107 |
|     | Додаток А .....                                                                                            | 109 |
|     | Додаток Б.....                                                                                             | 115 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

### УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

$\alpha_{вн.}$  – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої сторони будівлі;

$\alpha_{зов.}$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої сторони будівлі;

$\lambda$  – теплопровідність матеріалу;

$\delta$  – товщина шару матеріалу;

$\Delta t$  – різниця температури в приміщенні та середньої температури зовнішнього повітря за опалювальний період;

$F_i$  – площа огорожувальної конструкції;

$n$  – коефіцієнт, який враховує зменшення розрахункової різниці температур;

$H_{tr,adj}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією, встановлений для різниці температур всередині-ззовні;

$\theta_{int,set,H}$  – задана внутрішня температура в будівлі в опалювальний період;

$\theta_e$  – середньомісячна температура зовнішнього середовища;

$t$  – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок;

$H_D$  – коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища;

$H_G$  – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту;

$H_U$  – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми;

$H_A$  – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель;

$A_i$  – площа  $i$ -го елемента теплоізоляційної оболонки будівлі виміряна за внутрішніми розмірами, включно з площею внутрішніх дверних та віконних укосів;

$H_{iu}$  – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі між кондиціонованим об'ємом/зоною та некондиціонованим об'ємом/ приміщенням оранжерейного типу;

$b_u$  – поправочний коефіцієнт;

$H_{ve,adj}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією для опалення;

$\rho_a \cdot c_a$  – теплоємність одиниці об'єму повітря;

$q_{ve,mn,H}$  – усереднена за часом витрата повітря для вентиляції для опалення та для охолодження відповідно;

$q_{inf,mn,H}$  – усереднена за часом витрата повітря для інфільтрації для опалення;

$n_{inf}$  – кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації;

$V$  – об'єм зони (чи вентиляційної підзони);

$\Phi_{int,mn,k}$  – усереднена за часом щільність теплового потоку від  $k$ -го внутрішнього джерела залежно від призначення будівлі;

$A_{f,k}$  – кондиціонована площа  $k$ -ї зони будівлі;

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

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

$I_{sol,k}$  – сонячна радіація, значення середньомісячної дози сонячної радіації, осередненої для однієї години для сприймальної площі  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності;

$F_{r,k}$  – коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом;

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

$U_c$  – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини;

$A_c$  – площа проекції елемента;

$h_r$  – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні;

$Q_{H,gn}$  – сумарна теплопередача для режиму опалення;

$Q_{H,ht}$  – сумарні теплонадходження для режиму опалення;

$C$  – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі на одиницю площі;

$f_{hydr}$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи;

$Q_{H,em,out}$  – енергія виходу від підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць;

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

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 12   |

$f_{rad}$  – коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку;  
 $\eta_{em}$  – загальний рівень ефективності для тепловіддавальної складової системи у приміщенні;  
 $\eta_{str}$  – складова, яка враховує вертикальний профіль температури повітря в приміщенні;  
 $\eta_{ctr}$  – складова загального рівня ефективності, яка враховує регулювання температури приміщення;  
 $k$  – коефіцієнт для розрахунку утилізованої частини додаткової енергії впродовж  $i$ -го місяця;  
 $Q_{H,em,out,i}$  – енергія виходу підсистеми тепловіддачі за  $i$ -й місяць;  
 $Q_{H,dis,out,i}$  – енергія виходу з підсистеми розподілення упродовж  $i$ -го місяця;  
 $Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$  – неутілізована тепловтрата для підсистеми розподілення упродовж  $i$ -го місяця;  
 $\eta_{H,gen}$  – ефективність підсистеми генерування теплоти;  
 $Q_{C,dis,out}$  – енергія виходу підсистеми розподілення упродовж певного місяця;  
 $\eta_{C,gen}$  – ефективність підсистеми генерування;  
 $\eta_{pg}$  – ефективність генерації електроенергії;  
 $EP_{use}$  – загальне питоме енергетичне споживання при опаленні, охолодженні;

## СКОРОЧЕННЯ

ІТП – Індивідуальний тепловий пункт;  
 ФЕС – Фотоелектрична станція;  
 ГВП – Гаряче водопостачання;  
 ТН – Тепловий насос;  
 ДСТУ – державний стандарт України;  
 ДБН – державні будівельні норми;

## ВСТУП

В умовах зростання вартості енергоносіїв, підвищення вимог до енергоефективності будівель та необхідності скорочення викидів парникових газів особливої актуальності набуває модернізація систем теплопостачання громадських будівель. Навчальні корпуси закладів вищої освіти, зокрема будівлі КПІ ім. Ігоря Сікорського, характеризуються значними тепловими навантаженнями, застарілими інженерними системами та високою питомою витратою теплової енергії, що зумовлює необхідність впровадження сучасних енергоефективних технологій.

Застосування теплових насосів як складової модернізованих систем теплопостачання дозволяє підвищити енергоефективність, зменшити споживання традиційних енергоносіїв та забезпечити гнучке керування тепловими потоками.

Водночас ефективне впровадження теплових насосів у системах централізованого теплопостачання потребує науково обґрунтованих рішень, заснованих на комплексному аналізі енергетичних характеристик будівлі та динамічному моделюванні теплових процесів. Статичні методи розрахунку не дозволяють у повній мірі врахувати зміну зовнішньої температури, сонячних теплонадходжень, теплової інерції огорожувальних конструкцій і режимів експлуатації будівлі, що знижує точність прогнозування теплових навантажень і ускладнює оптимальний вибір обладнання.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для розроблення техніко-економічного обґрунтування модернізації систем теплопостачання навчальних будівель, коректного підбору теплотехнічного обладнання та кількісної оцінки очікуваного зниження споживання теплової енергії. Це сприятиме підвищенню енергетичної ефективності, надійності та сталості експлуатації систем теплозабезпечення в закладах вищої освіти.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 14   |

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Загальні відомості

Об'єктом дослідження є навчальний корпус КПІ ім. Ігоря Сікорського №8 в м. Київ (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Навчальний корпус №8

Рік будівництва – 1930. Будівля складається з трьох частин, має три поверхи та не з'єднані між собою два підвали, які опалюються. В корпусі є шість вбиральень, буфет та кімната для охоронця. Загальна кількість вікон – 157. Нижче наведені дані про основні розмірні параметри будівлі (табл. 1.1); режим роботи опалення та графік перебування людей (табл. 1.2), взяті з документації про об'єкт.

Таблиця 1.1 – Основні розмірні показники

| Основні розмірні показники |              |        |       |       |        |        |
|----------------------------|--------------|--------|-------|-------|--------|--------|
|                            |              | Поверх |       |       |        | Разом  |
|                            |              | 1      | 2     | 3     | підвал |        |
| Площа, м <sup>2</sup>      | Загальна     | 1136   | 1124  | 1143  | 445    | 3871,0 |
|                            | Опалювальна  | 784    | 830,5 | 827,5 | 130    | 2844,5 |
| Об'єм, м <sup>3</sup>      | Загальний    | 3067   | 3035  | 3086  | 1268   | 10820  |
|                            | Опалювальний | 2117   | 2242  | 2234  | 364    | 7291   |

Таблиця 1.2 – Режим роботи опалення та графік перебування людей

| Графік перебування людей, год/добу | Робочі дні                         | Субота   | Неділя | Святкові дні |
|------------------------------------|------------------------------------|----------|--------|--------------|
| (Блок А)<br>(Блок Б)<br>(Блок В)   | 8 <sup>30</sup> – 16 <sup>00</sup> | Частково | -      | -            |
| Графік опалення                    | цілодобово                         |          |        |              |

## 1.2 Призначення будівлі

Навчальний корпус № 8 був побудований як гуртожиток №2. В гуртожитку проживали студенти з різних факультетів. Завдяки архітектору Дяченко Дмитру Михайловичу було створено комфортні умови перш за все для студентів з різних куточків України. Через деякий час, тоді ще в гуртожитку №2 почали перебувати адміністративні та приватні заклади. У 1996 році було прийнято рішення зробити з гуртожитку навчальний корпус і передати об'єкт Видавничо-поліграфічному інституту. Зараз навчальний корпус повністю призначений для навчання студентів. В корпусі розташовані навчальні лабораторії, лекційні аудиторії та адміністративні кабінети.

Загальна кількість людей які перебувають у корпусі – 792 особи, з них 732 студенти та 60 викладачів. В період військового стану кількість людей в корпусі становить 200 студентів.

Кліматичні умови розміщення:

- Кліматична зона – І;
  - Розрахункова температура – мінус 22 °С;
  - Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період по населеному пункту в цілому – мінус 0,1 °С;
  - Тривалість опалювального періоду – 176 дні.
- Річні витрати енергогосіїв наведені в дод. А.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 16   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

**1.3 Висновок до розділу 1:** Аналіз споживання енергоресурсів навчальним корпусом №8 за 2019–2021 роки показав чітку тенденцію до зменшення використання електричної, теплової енергії та води. Найвищі обсяги споживання були у 2019 році, коли корпус працював у звичайному режимі. У 2020–2021 роках через пандемію та перехід на змішане навчання будівля частково не використовувалася, що спричинило значне скорочення енергетичних потреб і відповідних витрат. При порівнянні діаграм споживання енергоресурсів за три роки спостерігається зміна частки кожного з ресурсів у загальній структурі споживання. Середні показники за аналізований період становлять: теплової енергії — 145,51 Гкал, електроенергії — 34 086,3 кВт·год, води — 4 439,6 м³, що відображає реальні потреби будівлі за умов різної інтенсивності її експлуатації. Отримані результати створюють необхідну основу для подальшого енергетичного моделювання, оцінки енергоефективності та розроблення заходів з оптимізації систем теплозабезпечення.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 17   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 2 ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЛІ ДО ТА ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

### 2.1 Розрахунок енергоспоживання будівлі до термомодернізації

#### 2.1.1 Розрахунок енергопотреби на опалення існуючої будівлі

##### *Теплопередача трансмісією для режиму опалення*

Розрахунок проводиться за ДСТУ 9190, ДСТУ 9191, та стандарт по будівельній кліматології. Сумарну теплопередачу трансмісією  $Q_{tr}$ , Вт·год, розраховують для кожного місяця за формулою

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\vartheta_{int,set,H} - \vartheta_e) \cdot t, \quad (2.1)$$

де  $\vartheta_{int,set,H}$  – задана внутрішня температура в будівлі в опалювальний період, приймати згідно [2-3];

$\vartheta_e$  – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С; приймати за [2-3];

$t$  – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за [2-3];

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

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

де  $H_u=0$  – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К;

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

$H_D$  – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища (опір теплопередачі та площа огорожувальних конструкцій), Вт/К:

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 18   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$H_D = b_{tr,x} \sum_{i=1}^n A_i U_i$$

при розрахунках  $H_D$  поправочний коефіцієнт  $b_{tr,x} = 1$ ; тоді:

$$H_D = A_{\text{вік}} \cdot \frac{1}{R_{\text{вік}}} + A_{\text{дах}} \cdot \frac{1}{R_{\text{дах}}} + A_{\text{дв}} \cdot \frac{1}{R_{\text{дв}}} + A_{\text{ст}} \cdot \frac{1}{R_{\text{ст}}} \quad (2.2)$$

$$H_D = 514,48 \cdot \frac{1}{0,47} + 1428 \cdot \frac{1}{2,392} + 30,4 \cdot \frac{1}{0,624} + 1804,2 \cdot \frac{1}{1,292} = 3136,9 \text{ Вт/К}$$

$H_G$  – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К:

$$H_G = A \cdot U, \quad (2.3)$$

де  $A$  – площа підлоги,  $A = 1134,6 \text{ м}^2$ ;

$U$  – коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту, Вт/(м<sup>2</sup>·К), визначається за формулою:

- Якщо  $d_t < B'$  (неізольована або посередньо ізольованою підлога):

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right), \quad (2.4)$$

- Якщо  $d_t > B'$  (добре ізольована підлога):

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t}, \quad (2.5)$$

де  $B'$  – характерний розмір підлоги, що дорівнює відношенню площі підлоги на половину периметра підлоги за формулою

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}, \quad (2.6)$$

де  $P$  – зовнішній периметр підлоги,  $P = 254,32 \text{ м}$

$$B' = \frac{1134,6}{0,5 \cdot 254,32} = 8,92$$

$d_t$ – еквівалентна товщина підлоги, яку розраховують за формулою:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (2.7)$$

де  $w$ – загальна товщина зовнішньої стіни, включаючи всі шари,  $w = 0,5$  м;

$\lambda$ – теплопровідність ґрунту,  $\lambda = 1,5$  Вт/м · К [2-3];

$R_{si}$ – тепловий внутрішній поверхневий опір,  $R_{si} = 0,17$  м<sup>2</sup> · К/Вт [2-3];

$R_f$ – термічний опір підлоги включаючи всі шари,  $R_f = 1,756$  м<sup>2</sup> · К/Вт [2-3];

$R_{se}$ – тепловий зовнішній поверхневий опір,  $R_{se} = 0,17$  м<sup>2</sup> · К/Вт [2-3];

$$d_t = 0,5 + 1,5 \cdot (0,17 + 1,756 + 0,17) = 3,63$$

$$U = \frac{2 \cdot 1,5}{\pi \cdot 8,92 + 3,63} \ln \left( \frac{\pi \cdot 8,92}{3,263} + 1 \right) = 0,205 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$H_G = 1134,6 \cdot 0,205 = 232,83 \text{ Вт/К.}$$

Підставимо значення у формулу (2.2):

$$H_{tr,adj} = 3136,9 + 232,83 = 3369,74 \text{ Вт/К};$$

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

$$Q_{tr}^I = 3369,74 \cdot (20 - (-4,7)) \cdot 744 = 61924,97 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Теплопередача трансмісією для інших місяців опалювального періоду розраховується аналогічно.

Проміжні значення та розрахунки теплопередачі трансмісією зведені в таблицю 2.1.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 20   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Таблиця 2.1 – Розрахунок теплопередачі трансмісією для кожного місяця

| Місяць | $\vartheta_e$ , °C | $t$ , год | $H_D$ , Вт/К | $H_G$ , Вт/К | $H_{tr,adj}$ ,<br>Вт/К | $H_{tr}$ , кВт·год |
|--------|--------------------|-----------|--------------|--------------|------------------------|--------------------|
| I      | -4,7               | 744       | 3136,9       | 232,83       | 3369,74                | 61924,97           |
| II     | -3,6               | 672       |              |              |                        | 53441,32           |
| III    | 1                  | 744       |              |              |                        | 47634,59           |
| IV     | 9                  | 264       |              |              |                        | 8896,10            |
| X      | 8,1                | 360       |              |              |                        | 14435,95           |
| XI     | 1,9                | 720       |              |              |                        | 43914,40           |
| XII    | -2,5               | 744       |              |              |                        | 56409,39           |

**Теплопередача вентиляцією для режиму опалення**

Сумарну теплопередачу вентиляцією  $Q_{ve}$ , Вт·год, розраховують для кожного місяця за формулою:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\vartheta_{int,set,H} - \vartheta_e) \cdot t, \quad (2.8)$$

де  $t$  – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за [2-3];

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

$$H_{ve,adj} = c \cdot \rho \cdot q_{ve}, \quad (2.9)$$

де  $c \cdot \rho$  – теплоємність повітря одиниці об'єму,  $c \cdot \rho = 0,336$  Вт·год/(м³·К) [2];

$q_{ve}$  – усереднена за часом витрата повітря:

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

де  $n_{inf}$  – кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації, враховуючи вплив механічної вентиляції, в зонах де вона присутня, та часу роботи системи вентиляції,  $n_{inf} = 0,6$  год⁻¹;

$V$  – кондиціонований об'єм зони/будівлі, м³;

$$q_{ve,inf} = 0,6 \cdot 7291 = 4376,6 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$H_{ve,adj} = 0,336 \cdot 4376,6 = 1469,87 \text{ Вт/К.}$$

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі вентиляцією за формулою (2.8) для січня місяця:

$$Q_{ve}^I = 1469,87 \cdot (20 - (-4,7)) \cdot 744 = 27011,51 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Теплопередача вентиляцією для інших місяців опалювального періоду розраховується аналогічно. Проміжні значення та розрахунки теплопередачі вентиляцією зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок теплопередачі вентиляцією для кожного місяця

| Місяць | $\vartheta_e$ , °C | t, год | $H_{ve,adj}$<br>Вт/К | $Q_{ve}$ ,<br>кВт·год |
|--------|--------------------|--------|----------------------|-----------------------|
| I      | -4,7               | 744    | 1469,87              | 27011,43              |
| II     | -3,6               | 672    |                      | 23310,89              |
| III    | 1                  | 744    |                      | 20778,02              |
| IV     | 9                  | 264    |                      | 3880,45               |
| X      | 8,1                | 360    |                      | 6296,90               |
| XI     | 1,9                | 720    |                      | 19155,29              |
| XII    | -2,5               | 744    |                      | 24605,55              |

### **Теплопередача для режиму опалення**

Сумарну теплопередачу для кожної зони будівлі та для кожного місяця, Вт·год, визначимо за формулою:

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

Покажемо розрахунок сумарної теплопередачі для грудня місяця:

$$Q_{ht}^I = 61924,97 + 27011,43 = 88936,4 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Сумарна теплопередача для інших місяців знаходиться так само. Для наочності зведемо розрахунок в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3– Розрахунок сумарної теплопередачі для кожного місяця

| Місяць | $Q_{tr}$ , кВт·год | $Q_{ve}$ , кВт·год | $Q_{ht}$ , кВт·год |
|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| I      | 61924,97           | 27011,43           | 88936,40           |
| II     | 53441,32           | 23310,89           | 76752,21           |
| III    | 47634,59           | 20778,02           | 68412,61           |
| IV     | 8896,10            | 3880,45            | 12776,55           |
| X      | 14435,95           | 6296,90            | 20732,85           |
| XI     | 43914,40           | 19155,29           | 63069,69           |
| XII    | 56409,39           | 24605,55           | 81014,94           |

### **Внутрішні теплонадходження для режиму опалення**

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

$$Q_{int} = \left( \sum_k \Phi_{int,mn,k} \cdot A_f \right) \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (2.12)$$

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 з [2-3];

$A_f$  – опалювальна площа будівлі,  $A_f = 2844,5$  м<sup>2</sup>;

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

Для будівлі навчальних закладів:

- метаболічна теплота від людей  $\Phi_{int,Oc} = 1,8$  Вт/м<sup>2</sup>,
- освітлення  $\Phi_{int,L} = 2$  Вт/м<sup>2</sup>,
- обладнання  $\Phi_{int,A} = 2$  Вт/м<sup>2</sup>,
- графік використання: 50 год/тиждень.

Усереднений за часом тепловий потік, враховуючи графік використання, для вихідних даних:

$$\sum_k \Phi_{int,mn,k} = (1,8 + 2 + 2) \cdot \frac{168}{168} = 5,8 \text{ Вт/м}^2$$

Покажемо приклад розрахунку внутрішніх теплонадходжень для січня місяця:

$$Q_{int}^I = 5,8 \cdot 2844,5 \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 12274,59 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для інших місяців представлено в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Розрахунок внутрішніх теплонадходжень в опалювальний період

| Місяць | t, год | $\sum_k \Phi_{int,mn,k}$ , Вт/м <sup>2</sup> | $Q_{int}$ , кВт·год |
|--------|--------|----------------------------------------------|---------------------|
| I      | 744    | 5,8                                          | 12274,59            |
| II     | 672    |                                              | 11086,72            |
| III    | 744    |                                              | 12274,59            |
| IV     | 216    |                                              | 3959,54             |
| X      | 384    |                                              | 5939,32             |
| XI     | 720    |                                              | 11878,63            |
| XII    | 744    |                                              | 12274,59            |
| Разом  |        |                                              | 69687,97            |

### **Теплонадходження від сонця для режиму опалення**

Теплонадходження від сонця до будівлі, що розглядається, для кожного місяця, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{sol} = (\sum_k \Phi_{sol,mn,k}) \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (2.13)$$

де  $t$  – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за [2-3];

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

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

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

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

$A_{sol,k}$  – еквівалентна площа інсоляції  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, 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 [2-3];

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

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

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 25   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

### Визначення понижувальних коефіцієнтів затінення

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):

$$F_{sh} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin}, \quad (2.15)$$

де  $F_{hor}$  – частковий поправочний коефіцієнт затінення горизонту, визначають за [2-3];

$F_{ov}$  – частковий поправочний коефіцієнт затінення для звисів, визначають за [2-3];

$F_{fin}$  – частковий поправочний коефіцієнт затінення для ребер, визначають за [2-3]; якщо ребра з обох боків від вікна, то відповідні значення з таблиць перемножуються.

Для користування таблицями потрібно попередньо визначити архітектурно-будівельний кліматичний район для міста, де розташована будівля, для цього потрібно скористатися картою [1].

Місто Київ – це I архітектурно-будівельний кліматичний район:

– коефіцієнт затінення горизонту для поверхонь з орієнтацією (кут  $0^\circ$ ):

– Пн:  $F_{hor}=1$ ;

– С:  $F_{hor} =1$ ;

– Пд:  $F_{hor} =1$ ;

– З:  $F_{hor} =1$ .

– коефіцієнт затінення для звисів для поверхонь з орієнтацією (кут  $0^\circ$ ):

– Пн:  $F_{ov} =1$ ;

– С:  $F_{ov} =1$ ;

– Пд:  $F_{ov} =1$ ;

– З:  $F_{ov} =1$ .

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 26   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

– коефіцієнт затінення для ребер (розташування ребер – праворуч)  
для поверхонь з орієнтацією (кут  $0^\circ$ ):

$$- \text{Пн: } F_{fin}=1;$$

$$- \text{С: } F_{fin}=1;$$

$$- \text{Пд: } F_{fin}=1;$$

$$- \text{З: } F_{fin}=1.$$

Тоді, підставляючи в формулу (2.15), отримаємо наступні результати:

$$- \text{Пн: } F_{sh}=F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin}=1;$$

$$- \text{С: } F_{sh}=F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin}=1;$$

$$- \text{Пд: } F_{sh}=F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin}=1;$$

$$- \text{З: } F_{sh}=F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin}=1.$$

*Визначення еквівалентної площі інсоляції вікон*

Еквівалентна площа інсоляції зашкленого елемента (вікна):

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}, \quad (2.16)$$

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 зашкленого елемента (наприклад, площа вікна),  $\text{м}^2$ ;

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

$$g_{gl} = F_w \cdot g_n, \quad (2.17)$$

де  $F_w$  – поправочний коефіцієнт для нерозсіючого скління, приймають

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 27   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$F_w = 0,9;$$

$g_n$  – коефіцієнт загального пропускання сонячної енергії при нормальному куті падіння, приймають за [2-3] для навчального корпусу №8 (подвійне скління)  $g_n = 0,75$ .

Тоді:

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

Тоді за формулою (2.16) еквівалентна площа інсоляції вікна:

$$\begin{aligned} A_{\text{вік.Пн}}^{\text{сол}} &= 1 \cdot 0,675 \cdot (1-0,3) \cdot 244,26 = 115,41 \text{ м}^2, \\ A_{\text{вік.Пд}}^{\text{сол}} &= 1 \cdot 0,675 \cdot (1-0,3) \cdot 227,38 = 107,44 \text{ м}^2; \\ A_{\text{вік.Зх}}^{\text{сол}} &= 1 \cdot 0,675 \cdot (1-0,3) \cdot 21,32 = 10,07 \text{ м}^2; \\ A_{\text{вік.Сх}}^{\text{сол}} &= 1 \cdot 0,675 \cdot (1-0,3) \cdot 21,32 = 10,07 \text{ м}^2; \end{aligned}$$

*Визначення еквівалентної площі інсоляції непрозорих елементів*

Еквівалентна площа інсоляції непрозорого елемента будівлі:

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

де  $a_{\text{S,c}}$  – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною, приймають за даними [2-3].

В нашому випадку:

- для даху  $a_{\text{S,c}} = 0,9$
- для стін  $a_{\text{S,c}} = 0,7$
- для дверей  $a_{\text{S,c}} = 0,8$

$R_{\text{se}}$  – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ,  
приймають  $R_{\text{se}} = 0,04 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$

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

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

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 28   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Тоді, підставляючи значення до формули (2.17), отримаємо для стін і даху відповідно до орієнтації по сторонам світу.

– Стіни:

$$A_{sol}^{пн} = 0,7 \cdot 0,04 \cdot (1/1,292) \cdot 719,82 = 16,77 \text{ м}^2$$

$$A_{sol}^{пд} = 0,7 \cdot 0,04 \cdot (1/1,292) \cdot 708,96 = 16,52 \text{ м}^2$$

$$A_{sol}^{зх} = 0,7 \cdot 0,04 \cdot (1/1,292) \cdot 187,71 = 4,37 \text{ м}^2$$

$$A_{sol}^{сх} = 0,7 \cdot 0,04 \cdot (1/1,292) \cdot 187,91 = 4,37 \text{ м}^2$$

– Двері:

$$A_{sol}^{сх} = 0,8 \cdot 0,04 \cdot (1/0,624) \cdot 10,8 = 4,37 \text{ м}^2$$

$$A_{sol}^{сх} = 0,8 \cdot 0,04 \cdot (1/0,624) \cdot 19,6 = 0,6 \text{ м}^2$$

– Дах:

$$A_{sol}^{дах} = 0,9 \cdot 0,04 \cdot (1/2,392) \cdot 1428 = 1,08 \text{ м}^2$$

#### *Визначення сонячної радіації*

Сонячна радіація,  $I_{sol,k}$ , (таб.2.5) або значення енергетичної освітленості сприймаючої площі  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м<sup>2</sup>, зведена до таблиці 2.5.

#### *Визначення додаткового потоку внаслідок теплового випромінювання в атмосферу*

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

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

де  $U_c$ — коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К), обирається для кожного елемента будівлі згідно з варіантами в [2];

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

$h_r$ — коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні, Вт/(м<sup>2</sup>·К); який наближено можна визначити як

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 29   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$h_r = 5 \cdot \varepsilon,$$

де  $\varepsilon = 0,7$  для стіни;

$\varepsilon = 0,5$  для вікон;

$\Delta\theta_{er}$  – середня різниця між температурою зовнішнього повітря та уявною температурою атмосфери, для помірних широт приймають

$\Delta\theta_{er} = 11$  К, згідно з [2-3].

Розрахуємо додаткового теплового потоку внаслідок теплового випромінювання в атмосферу за формулою (2.18):

– для світлопрозорих поверхонь (вікна):

$$\Phi_{Пн}^{r \text{ (вікна)}} = 0,04 \cdot 1/0,47 \cdot 244,46 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 572,14 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Пн}^{r \text{ (вікна)}} = 0,04 \cdot 1/0,47 \cdot 227,38 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 532,17 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Пн}^{r \text{ (вікна)}} = 0,04 \cdot 1/0,47 \cdot 21,32 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 49,9 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Пн}^{r \text{ (вікна)}} = 0,04 \cdot 1/0,47 \cdot 21,32 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 49,9 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Пн}^{r \text{ (вікна)}} = 0,04 \cdot 1/0,47 \cdot 21,32 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 49,9 \text{ Вт}$$

– для непрозорих конструкцій (стіни, дах, двері):

$$\Phi_{Пн}^r = 0,04 \cdot 1/1,292 \cdot 719,87 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 857,98 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Пд}^r = 0,04 \cdot 1/1,292 \cdot 708,96 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 845,03 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Пзх}^r = 0,04 \cdot 1/1,292 \cdot 187,71 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 223,74 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Псх}^r = 0,04 \cdot 1/1,292 \cdot 187,71 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 223,74 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Пн}^{r \text{ (вх.двері)}} = 0,04 \cdot 1/0,624 \cdot 10,8 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 26,61 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Пд}^{r \text{ (вх.двері)}} = 0,04 \cdot 1/0,624 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 48,29 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{Пдах}^r = 0,04 \cdot 1/2,392 \cdot 1428 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 919,53 \text{ Вт}$$

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 30   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Таблиця 2.5 – Середньомісячна сумарна сонячна радіація, що надходить на вертикальну та горизонтальну поверхню для середніх умов хмарності (м. Київ) згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2011. Будівельна кліматологія. — Чинний від 01.11.2011. — Київ: Мінрегіон України, 2011.

|        | $I_{sol}$ , Вт/м <sup>2</sup> (м.Київ) |     |     |     |          |
|--------|----------------------------------------|-----|-----|-----|----------|
| Місяць | Пн                                     | Пд  | Зх  | Сх  | Горизонт |
| I      | 13                                     | 50  | 22  | 21  | 32       |
| II     | 24                                     | 70  | 38  | 36  | 59       |
| III    | 35                                     | 90  | 61  | 58  | 101      |
| IV     | 39                                     | 92  | 73  | 77  | 149      |
| V      | 56                                     | 101 | 99  | 104 | 211      |
| VI     | 67                                     | 96  | 105 | 111 | 228      |
| VII    | 61                                     | 98  | 104 | 108 | 220      |
| VIII   | 40                                     | 106 | 89  | 93  | 185      |
| IX     | 29                                     | 102 | 66  | 70  | 130      |
| X      | 19                                     | 75  | 37  | 38  | 71       |
| XI     | 11                                     | 39  | 17  | 17  | 31       |
| XII    | 9                                      | 35  | 15  | 14  | 22       |

*Визначення сонячних теплонадходжень через елементи будівлі за рік*

Визначимо сонячні теплонадходження через  $k$ -ий елемент будівлі за формулою (2.14), Вт (на прикладі одного місяця – січня):

– стіни:

$$\Phi_{sol,mn,ст.ПН} = 1 \cdot 16,77 \cdot 13 - 0,5 \cdot 857,98 = -210,99 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,ст.ПД} = 1 \cdot 16,52 \cdot 50 - 0,5 \cdot 845,03 = 403,31 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,ст.ЗХ} = 1 \cdot 4,37 \cdot 21 - 0,5 \cdot 223,74 = -28,49 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,ст.СХ} = 1 \cdot 4,37 \cdot 22 - 0,5 \cdot 223,74 = -15,73 \text{ Вт}$$

– вікна:

$$\Phi_{sol,mn,вік.ПН} = 1 \cdot 115,41 \cdot 13 - 0,5 \cdot 572,14 = 1214,26 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,вік.ПД} = 1 \cdot 107,44 \cdot 50 - 0,5 \cdot 532,17 = 5104,56 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,вік.ЗХ} = 1 \cdot 10,07 \cdot 22 - 0,5 \cdot 49,9 = 196,67 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,вік.СХ} = 1 \cdot 10,07 \cdot 21 - 0,5 \cdot 49,9 = 186,6 \text{ Вт}$$

– входні двері:

$$\Phi_{sol,mn,дв.ПН} = 1 \cdot 0,6 \cdot 13 - 0,5 \cdot 26,61 = -5,56 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,дв.ПД} = 1 \cdot 1,08 \cdot 50 - 0,5 \cdot 48,29 = 29,85 \text{ Вт}$$

– дах:

$$\Phi_{sol,mn,дах} = 1 \cdot 23,11 \cdot 32 - 1 \cdot 919,53 = -180,08 \text{ Вт}$$

Разом за січень через усі елементи огороження:

$$(\sum_k \Phi_{sol,mn,k}) = 7283,05 \text{ Вт}$$

Тоді за формулою (2.13) визначимо теплонадходження від сонця для січня місяця. кВт·год:

$$Q_{sol} = (\sum_k \Phi_{sol,mn,k}) \cdot t \cdot 10^{-3} = 7283,05 \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 5418,59 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Далі розрахунок для інших місяців року відбувається аналогічно, покажемо результати в таблиці 2.6.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 32   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Таблиця 2.6 – Розрахунок теплових надходжень від сонця в опалювальний період

| Місяць | $t$ ,<br>год | $\Phi_{sol,вик}$ ,<br>Вт | $\Phi_{sol,ст'}$ ,<br>Вт | $\Phi_{sol,дах'}$ ,<br>Вт | $\Phi_{sol,де}$ ,<br>Вт | $\Sigma \Phi_{sol}$ ,<br>Вт | $Q_{sol}$ ,<br>кВт·год |
|--------|--------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|
| I      | 744,00       | 7102,13                  | 156,63                   |                           | 24,29                   | 7283,05                     | 5418,59                |
| II     | 672,00       | 10992,21                 | 806,99                   | 443,82                    | 52,45                   | 12295,47                    | 8262,56                |
| III    | 744,00       | 15023,33                 | 1518,58                  | 1414,34                   | 80,60                   | 18036,84                    | 13419,41               |
| IV     | 360,00       | 16028,09                 | 1744,38                  | 2523,51                   | 85,14                   | 20381,12                    | 7337,20                |
| X      | 528,00       | 11002,28                 | 810,10                   | 721,11                    | 54,87                   | 12588,36                    | 6646,66                |
| XI     | 720,00       | 5511,10                  |                          |                           | 11,22                   | 5522,32                     | 3976,07                |
| XII    | 744,00       | 4768,25                  | 156,63                   |                           | 5,71                    | 4773,96                     | 3551,83                |
| Разом  |              |                          |                          |                           |                         |                             | <b>48612,31</b>        |

### *Сумарні теплонадходження для режиму опалення*

Сумарні теплові надходження, Вт·год, для кожної зони будівлі для кожного місяця визначимо за формулою:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}, \quad (2.19)$$

Зведемо результати розрахунку за формулою (2.19) в таблицю 2.7.

### *Коефіцієнт використання надходжень для опалення*

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

Таблиця 2.7 – Розрахунок сумарних теплонадходжень за опалювальний період

| Місяць | $t$ , год | $Q_{int}$ , кВт · год | $Q_{sol}$ , кВт · год | $Q_{gn}$ , кВт · год |
|--------|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| I      | 744       | 12274,59              | 5418,59               | 17693,18             |
| II     | 672       | 11086,72              | 8262,56               | 19349,28             |
| III    | 744       | 12274,59              | 13419,41              | 25694,00             |
| IV     | 240       | 3959,54               | 7337,20               | 11296,75             |
| X      | 360       | 5939,32               | 6646,66               | 12585,97             |
| XI     | 720       | 11878,63              | 3976,07               | 15854,70             |
| XII    | 744       | 12274,59              | 3551,83               | 15826,41             |
| Разом  |           | 69687,97              | 48612,31              | 118300,28            |

Покажемо розрахунок цього коефіцієнту на прикладі січня місяця.

Знайдемо безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}, \quad (2.20)$$

$$\gamma_H^I = 17693,18/88936,40 = 0,2$$

Оскільки  $\gamma_H^I > 0$  та  $\gamma_H^I \neq 1$  скористаємося наступною формулою (у разі інших співвідношень потрібно використати формули з [2-3]):

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{\alpha_H}}{\alpha_H \gamma_H^{\alpha_H + 1}}, \quad (2.21)$$

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

$$\alpha_H = \alpha_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad (2.22)$$

де  $\alpha_{H,0}$  – довідковий безрозмірний числовий параметр, приймають рівним 1,0 [2];

$\tau_{H,0}$  – довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год [2-3];

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

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (2.23)$$

де  $H_{tr,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К, розраховане в п.2.1;

$H_{ve,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К, розраховане в п.2.2;

$H_{ve,extra,adj}$  – 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:

$$C_m = C \cdot A_f, \quad (2.24)$$

де  $C$  – внутрішня теплоємність будівлі, обирається за [2-3], 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 за формулою (2.24):

$$C_m = 80 \cdot 2844,5 = 227560 \text{ Вт} \cdot \text{год/К},$$

Тоді, підставляючи значення до формули (2.23), отримаємо:

$$\tau = \frac{227560}{3369,74 + 1469,87} = 47,02 \text{ год.}$$

Тоді безрозмірний числовий параметр за формулою (2.22):

$$\alpha_H = 1 + \frac{47,02}{15} = 4,13.$$

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 35   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Підставимо отримане значення у формулу (2.21):

$$\eta_{H,gn} = 1 - 0,2^{4,13} / 1 - 0,2^{4,13+1} = 0,999$$

Результати розрахунку безрозмірного коефіцієнту для кожного з місяців опалювального періоду наведені у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунок безрозмірного коефіцієнту для кожного місяця

| Місяць | $\gamma_H$ | $C_m$ ,<br>Вт·год/К | $\tau$ , год | $\alpha_H$ | $\eta_{H,gn}$ |
|--------|------------|---------------------|--------------|------------|---------------|
| I      | 0,20       | 227560,00           | 47,02        | 4,13       | 0,9990        |
| II     | 0,25       |                     |              |            | 0,9975        |
| III    | 0,38       |                     |              |            | 0,9890        |
| IV     | 0,88       |                     |              |            | 0,8514        |
| X      | 0,61       |                     |              |            | 0,9459        |
| XI     | 0,25       |                     |              |            | 0,9975        |
| XII    | 0,20       |                     |              |            | 0,9991        |

### **Енергопотреба для опалення**

Для визначення сумарної енергопотреби на опалення скористаємося формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} + \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad (2.25)$$

де  $Q_{H,ht}$  – сумарна теплопередача в режимі опалення, кВт·год, визначені в п.2.3;

$\eta_{H,gn}$  – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень, визначений в п.2.7;

$Q_{H,gn}$  – сумарні теплонадходження в режимі опалення, кВт·год, визначені в п. 2.6.

Покажемо розрахунок на прикладі січня місяця:

$$Q_{H,nd}^I = 88936,4 + 0,9991 \cdot 17097,49 = 71854,02 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Результати розрахунків енергопотребы на опалення зведені у таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Енергопотреба на опалення

| Місяць | $Q_{H,ht}$<br>кВт·год | $\eta_{H,gn}$<br>кВт·год | $Q_{H,gn}$<br>кВт·год | $Q_{H,nd}$<br>кВт·год |
|--------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| I      | 88936,40              | 0,9990                   | 17693,18              | 71261,09              |
| II     | 76752,21              | 0,9975                   | 19349,28              | 57451,53              |
| III    | 68412,61              | 0,9890                   | 25694,00              | 43000,24              |
| IV     | 12776,55              | 0,8514                   | 11296,75              | 3158,56               |
| X      | 20732,85              | 0,9459                   | 12585,97              | 8827,29               |
| XI     | 63069,69              | 0,9975                   | 15854,70              | 47254,38              |
| XII    | 81014,94              | 0,9991                   | 15826,41              | 65203,41              |
| Разом  |                       |                          |                       | <b>296156,48</b>      |

## 2.1.2. Розрахунок споживання енергії на опалення існуючою будівлею

### Енергоспоживання підсистеми тепловіддачі при опаленні

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі визначаються помісячно за формулою, Вт·год:

$$Q_{H,em,ls,i} = \left( \frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,em,out,i} \quad (2.26)$$

де  $Q_{H,em,out,i} = Q_{H,nd,i}$  – енергія виходу від підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць, Вт год, визначається в п. 2.8;

$f_{hydr}$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи, визначається за [2-3],

- для прикладу, де системи з автоматичними регуляторами температури у приміщенні

$f_{im}$  – 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,

де  $\eta_{str}$  – складова, яка враховує регулювання температури в приміщенні, визначається за [2-3],

- в прикладі розрахунку  $\eta_{ctr} = 0,88$  для регулювання за усередненої температури повітря приміщень;

$\eta_{emb}$  – 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:

$$\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2},$$

де  $\eta_{str1}, \eta_{str2}$  – обираються за [2-3],

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 38   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

- для прикладу розрахунку обираємо  $\eta_{str1} = 0,93$  враховуючи, що прилади опалення встановлені під вікнами без радіаційного захисту  $\eta_{str2} = 0,83$ .

Підставимо значення у формулу (2.27):

$$\eta_{em} = 1 / (4 - (0,88 + 0,88 + 1)) = 0,806.$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми для січня

$$Q_{H,em,ls}^I = (1,07 \cdot 1 \cdot 1 / 0,806 - 1) \cdot 71261,09 = 23288,12 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Енергію входу для підсистеми тепловіддачі розраховується за формулою:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out,i} - k \cdot W_{H,em,aux,i} - Q_{H,em,ls,rvd,i} + Q_{H,em,ls,nrvd,i} \quad (2.28)$$

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, для розглянутого 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 (2.28):

$$Q_{H,em,is,i}^I = 71261,09 + (1 - 0,8 \cdot 1) \cdot 23288,12 = 75937,52 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми тепловіддачі для кожного місяця опалювального періоду зведено в таблицю 2.10.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 39   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

### **Енергоспоживання підсистеми розподілення при опаленні**

Загальні тепловтрати підсистеми розподілення визначаються помісячно за формулою, Вт·год:

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \psi_{L,j} \cdot (\theta_{m,i} - \theta_i) \cdot L_j \cdot t_{op,an,i} \quad (2.29)$$

де  $\psi_{L,j}$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі  $j$ -го трубопроводу, Вт/(м·К);

$\theta_{m,i}$  – середня температура теплоносія в зоні упродовж  $i$ -го місяця, °С;

$\theta_i$  – температура навколишнього середовища, °С;

$L_j$  – довжина трубопроводу, м;

$t_{op,an,i}$  – час опалення впродовж  $i$ -го місяця, год.

Для розглянутої будівлі тепловтрати підсистеми розподілення (трубопроводів опалення) можна вважати утилізаційними, тому що підсистема розташована в опалюваному приміщенні.

У випадку, коли підсистема частково або повністю розміщена у неопалюваних приміщеннях необхідно проводити розрахунок тепловтрат за формулою (2.29).

Енергію входу для підсистеми розподілення розраховується за формулою:

$$Q_{H,dis,in,i} = Q_{H,dis,out,i} + Q_{H,dis,ls,nrvd,i} \quad (2.30)$$

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

$$Q_{H,dis,out,i} = Q_{H,em,in,i}$$

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

- для розглянутого випадку  $Q_{H,dis,ls,nrvd,i} = 0$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми розподілення для кожного місяця опалювального періоду зведено в таблицю 2.10.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 40   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## **Енергоспоживання підсистеми генерування при опаленні**

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

$$Q_{H,gen,ls,i} = Q_{H,gen,out,i} \cdot (1 - \eta_{H,gen}) / \eta_{H,gen}, \quad (2.31)$$

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

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

$\eta_{H,gen}$  – ефективність підсистеми генерування теплоти, визначається за [2-3];

- для розглянутої будівлі, де централізоване теплопостачання з постійною температурою теплоносія без коригування в ІТП,  $\eta_{H,gen} = 0,70$ .

Визначимо тепловтрати підсистеми генерування для січня за формулою (2.31):

$$Q_{H,gen,ls,i}^I = 75937,52 \cdot (1 - 0,7) / 0,7 = 32544,65 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Енергоспоживання на потреби опалення визначається за формулою:

$$Q_{H,use,i} = Q_{H,gen,out,t,i} + Q_{H,gen,ls,i}, \quad (2.32)$$

Визначимо енергоспоживання, підставивши значення у формулу (2.32):

$$Q_{H,use,i}^I = 75937,52 + 32544,65 = 108482,18 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Результати розрахунку енергоспоживання підсистемами зведені до таблиці 2.10. Базавий рівень енергоспоживання на потреби опалення розрахований відповідно до [2-3] для нормативної внутрішньої температури, рівня повітряобміну та кліматичних даних (м.Київ)

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 41   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Таблиця 2.10 – Енергоспоживання для опалення

| Місяць | $Q_{H,em,out}$ ,<br>кВт· год | $Q_{H,em,ls}$ ,<br>кВт· год | $Q_{H,em,in} =$<br>$Q_{H,dis,out}$ | $Q_{H,dis,in} =$<br>$Q_{H,gen,out}$ | $Q_{H,gen,ls}$ ,<br>кВт· год | $Q_{H,use}$<br>кВт· год |
|--------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| I      | 71261,09                     | 23288,12                    | 75937,52                           | 75937,52                            | 32544,65268                  | 108482,18               |
| II     | 57451,53                     | 18775,16                    | 61244,28                           | 61244,28                            | 26247,54854                  | 87491,83                |
| III    | 43000,24                     | 14052,48                    | 45933,95                           | 45933,95                            | 19685,97798                  | 65619,93                |
| IV     | 3158,56                      | 1032,22                     | 3487,71                            | 3487,71                             | 1494,73415                   | 4982,45                 |
| X      | 8827,29                      | 2884,76                     | 9529,00                            | 9529,00                             | 4083,857608                  | 13612,86                |
| XI     | 47254,38                     | 15442,73                    | 50373,62                           | 50373,62                            | 21588,69241                  | 71962,31                |
| XII    | 65203,41                     | 21308,47                    | 69481,14                           | 69481,14                            | 29777,63184                  | 99258,77                |
| Разом  |                              |                             |                                    |                                     |                              | <b>451410,32</b>        |

### 2.1.3. Розрахунок енергопотреби на охолодження

#### *Сумарна теплопередача трансмісією для режиму охолодження*

Сумарну теплопередачу трансмісією  $Q_{tr}$ , Вт·год, для охолодження розраховують для кожного місяця за формулою (2.33)

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.33)$$

де  $\theta_{int,set,C}$  – задана внутрішня температура в будівлі в період охолодження, °С, приймати за [2-3];

$H_{tr,adj}$  – те саме, що у формулі (2.1);

$t$  – тривалість періоду охолодження, год/місяць, коли температура зовнішнього повітря вище  $21^{\circ}\text{C}$ , приймається для відповідного міста згідно з [2-3].

- Для міста Київ становить **740** год [1].

Враховуючи дані погодинної температури зовнішнього повітря за [2-3], тривалість періоду охолодження було розбито на три літні місяці.

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі трансмісією за формулою (2.33) для червня місяця:

$$Q_{tr}^{VI} = 3369,74 \cdot (26 - 15,2) \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 8734,36 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Теплопередача трансмісією для інших місяців періоду охолодження розраховується аналогічно.

Розрахунки теплопередачі трансмісією помісячно зведені в таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунок теплопередачі трансмісією (режиму опалення)  $\theta_e, ^{\circ}\text{C}$

| Місяць | $\theta_e$ , °C | $t$ , год | $H_{tr,adj}$ , Вт/К | $Q_{tr}$ , кВт · год |
|--------|-----------------|-----------|---------------------|----------------------|
| VI     | 15,20           | 240,00    | 3369,74             | 8734,36              |
| VII    | 18,30           | 310,00    |                     | 8043,56              |
| VIII   | 19,80           | 279,00    |                     | 5828,97              |
| Разом  |                 |           |                     | 22606,89             |

### **Сумарна теплопередача вентиляцією для режиму охолодження**

Сумарну теплопередачу вентиляцією  $Q_{ve}$ , Вт·год, розраховують для кожного місяця за формулою:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.34)$$

де  $\theta_{int,set,C}$  – те саме, що у формулі (2.33);

$H_{ve,adj}$  – те саме, що у формулі (2.8) визначається у п. 2.2.

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі вентиляцією за формулою (2.34) для червня місяця:

$$Q_{ve}^{VI} = 1469,87 \cdot (26-15,2) \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 3809,89 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Теплопередача вентиляцією для інших місяців періоду охолодження розраховується аналогічно. Проміжні значення та розрахунки теплопередачі вентиляцією зведені в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахунок теплопередачі вентиляцією для кожного місяця

| Місяць | $\theta_e, ^\circ\text{C}$ | $t, \text{ год}$ | $H_{ve,adj}, \text{ Вт/К}$ | $Q_{ve}, \text{ кВт} \cdot \text{ год}$ |
|--------|----------------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| VI     | 15,20                      | 240,00           | 1469,87                    | 3809,89                                 |
| VII    | 18,30                      | 310,00           |                            | 3508,57                                 |
| VIII   | 19,80                      | 279,00           |                            | 2542,57                                 |
| Разом  |                            |                  |                            | <b>9861,03</b>                          |

### *Теплопередача для режиму охолодження*

Сумарна теплопередача для режиму охолодження визначається так само як для режиму опалення (п. 2.1.1).

Покажемо розрахунок сумарної теплопередачі для червня місяця:

$$Q_{C,ht}^{VI} = 3809,89 + 8734,36 = 12544,25 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Сумарна теплопередача для липня та серпня знаходиться аналогічно.

Результати розрахунку для трьох місяців зведені до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Розрахунок сумарної теплопередачі для режиму охолодження

| Місяць | $Q_{tr}, \text{кВт} \cdot \text{год}$ | $Q_{ve}, \text{кВт} \cdot \text{год}$ | $Q_{C,ht}, \text{кВт} \cdot \text{год}$ |
|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| VI     | 3809,89                               | 8734,36                               | 12544,25                                |
| VII    | 3508,57                               | 8043,56                               | 11552,13                                |
| VIII   | 2542,57                               | 5828,97                               | 8371,54                                 |
| Разом  | <b>9861,03</b>                        | <b>22606,89</b>                       | <b>32467,92</b>                         |

### **Внутрішні теплонаходження в період охолодження**

Теплонаходження від внутрішніх теплових джерел для періоду охолодження визначаються так само як для періоду опалення (п.2.1.3). Приклад розрахунку внутрішніх теплонаходжень для червня місяця:

$$Q_{int}^{VI} = 50/168 \cdot 5,8 \cdot 2844,5 \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 1178,44 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таблиця 2.14 – Розрахунок внутрішніх теплонаходжень в період охолодження

| Місяць | t, год | $\sum_k \Phi_{int,mn,k}$ Вт/ м | $Q_{int}$ , кВт · год |
|--------|--------|--------------------------------|-----------------------|
| VI     | 240,00 | 5,8                            | 1178,44               |
| VII    | 310,00 |                                | 1522,15               |
| VIII   | 279,00 |                                | 1369,93               |
| Разом  |        |                                | <b>4070,51</b>        |

### **Теплонаходження від сонця в період охолодження**

Теплонаходження від сонця для періоду охолодження визначаються так само як для періоду опалення (п. 2.1.4). Відрізнятимуться лише значення понижувальних коефіцієнтів затінення  $F_{sh}$  [2-3]. Сонячна радіація,  $I_{sol,k}$ , приймається за таблицею 2.5.

Приклад розрахунку сонячних теплонаходжень за формулою (2.12) для червня місяця, кВт·год:

$$Q_{sol}^{VI} = 19260,94 \cdot 240 \cdot 10^{-3} = 4622,63 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахунок для інших місяців року відбувається аналогічно, покажемо результати в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Розрахунок теплонадходжень від сонця в період охолодження

| Місяць | t,<br>год | $\Phi_{sol,ct,}$<br>Вт | $\Phi_{sol,вік,}$<br>Вт | $\Phi_{sol,дах,}$<br>Вт | $\Phi_{sol,дв,}$<br>Вт | $\sum \Phi_{sol,mn,k,}$<br>Вт | $Q_{sol,}$<br>кВт·год |
|--------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| VI     | 240       | 1754,05                | 13107,11                | 4349,01                 | 50,77                  | 19260,94                      | 4622,63               |
| VII    | 310       | 2066,78                | 12701,74                | 4164,15                 | 48,99                  | 18981,66                      | 5884,31               |
| VIII   | 279       | 1594,41                | 11242,09                | 3355,38                 | 36,37                  | 16228,25                      | 4527,68               |
| Разом  |           |                        |                         |                         |                        |                               | <b>15034,62</b>       |

### *Теплонадходження для режиму охолодження*

Сумарні теплонадходження, Вт·год, для кожної зони будівлі для кожного місяця періоду охолодження визначаються за формулою (2.19).

Результати розрахунку зведені в таблицю 2.16. Базавий рівень сумарних теплонадходжень за період охолодження розрахований відповідно до [2-3] для нормативної внутрішньої температури, рівня повітряобміну та кліматичних даних (м.Київ)

Таблиця 2.16 – Розрахунок сумарних теплонадходжень за період охолодження

| Місяць | t, год | $Q_{int,}$ кВт · год | $Q_{sol,}$ кВт · год | $Q_{gn,}$ кВт · год |
|--------|--------|----------------------|----------------------|---------------------|
| VI     | 240,00 | 1178,44              | 4622,63              | 5801,06             |
| VII    | 310,00 | 1522,15              | 5884,31              | 7406,46             |
| VIII   | 279,00 | 1369,93              | 4527,68              | 5897,61             |
| Разом  |        | <b>4070,51</b>       | <b>15034,62</b>      | <b>19105,13</b>     |

### Коефіцієнт використання надходжень для охолодження

Безрозмірний коефіцієнт використання втрат для охолодження  $\eta_{c,ls}$  – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти,  $\gamma_c$ , та числового параметра  $\alpha_c$ , який залежить від інерції будівлі.

Безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти:

$$\gamma_c = \frac{Q_{c,gn}}{Q_{c,ht}}, \quad (2.35)$$

Покажемо розрахунок цього коефіцієнту на прикладі червня місяця:

$$\gamma_c^{VI} = 5801,06/12544,25=0,46$$

Оскільки,  $\gamma_c^{VI} > 0$ ,  $\gamma_c^{VI} \neq 1$  та  $Q_{c,ht} > 0$ , скористаємося наступною формулою (у разі інших співвідношень потрібно використати формули з [2-3]):

$$\eta_{c,ls} = \frac{1 - \gamma_c^{-\alpha_c}}{1 - \gamma_c^{-(\alpha_c+1)}}, \quad (2.36)$$

де  $\alpha_c$  – безрозмірний числовий параметр, що визначається за формулою:

$$\alpha_c = \alpha_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}}, \quad (2.37)$$

де  $\alpha_{c,0}$  – довідковий безрозмірний числовий параметр, приймають рівним 1,0 [2];

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

$\tau$  – часова константа зони будівлі, визначена у розділі 2.1.5:

-  $\tau = 47,02$  год.

Розрахуємо безрозмірний числовий параметр за формулою (2.37):

$$\alpha_c = 1+47,02/15=4,13$$

Підставимо отримане значення у формулу (2.36):

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 47   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$\eta_{C,ls}^{VI} = 0,45$$

Результати розрахунку безрозмірного коефіцієнту для кожного з місяців періоду охолодження наведені у таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Розрахунок безрозмірного коефіцієнту для кожного місяця періоду охолодження

| Місяць | $\gamma_c$ | $c_m$ ,<br>Вт·год/К | $\tau$ , год | $\alpha_c$ | $\eta_{C,ls}$ |
|--------|------------|---------------------|--------------|------------|---------------|
| VI     | 0,46       | 227560              | 47,02        | 4,13       | 0,45          |
| VII    | 0,64       |                     |              |            | 0,57          |
| VIII   | 0,70       |                     |              |            | 0,65          |

### **Енергопотреба для охолодження**

Сумарна енергопотреба для охолодження визначається формулою:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \quad (2.38)$$

де  $Q_{C,gn}$  – сумарні теплонадходження в режимі охолодження, кВт·год, визначено в п. 2.1.6;

$Q_{C,ht}$  – сумарна теплопередача в режимі охолодження, кВт·год, визначено в п. 2.1.7;

$\eta_{C,ls}$  – безрозмірний коефіцієнт використання втрат для охолодження, визначений в п. 2.1.8;

Покажемо розрахунок на прикладі січня місяця:

$$Q_{C,nd}^{VI} = 5801,06 - 0,45 \cdot 12544,25 = 131,05 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Результати розрахунків енергопотреби для охолодження зведені у таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Енергопотреба для охолодження

| Місяць | $Q_{C,ht}$<br>кВт·год | $\eta_{C,ls}$ | $Q_{C,gn}$<br>кВт·год | $Q_{C,nd}$<br>кВт·год |
|--------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| VI     | 12544,25              | 0,45          | 5801,06               | 131,05                |
| VII    | 11552,13              | 0,57          | 7406,46               | 821,75                |
| VIII   | 8371,54               | 0,65          | 5897,61               | 490,72                |
| Разом  |                       |               |                       | 1443,52               |

### 2.1.4 Розрахунок енергопотреби на охолодження

Енергоспоживання підсистеми розподілення при охолодженні

Втрати теплоти підсистемою розподілення охолодження, кВт·год, визначаються за формулою:

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} \cdot ((1 - \eta_{C,ce}) + (1 - \eta_{C,ce,sens}) + (1 - \eta_{C,d})), \quad (2.39)$$

де  $Q_{C,nd}$  – енергопотреба для охолодження, визначена у п. 2.1.9;

$\eta_{C,ce}$  – ступінь утилізації теплообміну в системі охолодження, визначається за [2-3], 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 [2], 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 [2-3], для системи охолодження даної будівлі (холодна вода 7/12) обираємо  $\eta_{C,d} = 0,9$ .

Покажемо приклад розрахунку за формулою (2.39) для червня місяця:

$$Q_{C,dis,ls}^{VI} = 131,05 \cdot ((1-1) + (1-0,87) + (1-0,9)) = 30,14 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

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

$$Q_{C,dis,in} = Q_{C,dis,out} + Q_{C,dis,ls}, \quad (2.40)$$

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 (2.40):

$$Q_{C,dis,in}^{VI} = 131,05 + 30,14 = 161,19 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергоспоживання підсистеми генерування при опаленні

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

$$Q_{C,gen,out} = \frac{Q_{C,dis,in}}{\eta_{C,ac}}, \quad (2.41)$$

де  $Q_{C,dis,in}$  – енергія входу для підсистеми розподілення, визначена у п.2.1.10;

$\eta_{C,ac}$  – ефективність автоматичного управління/регулювання, обирається в залежності від класу ефективності системи [2], для системи класу В  $\eta_{C,ac} = 0,93$ .

Покажемо розрахунок за формулою для червня місяця:

$$Q_{C,gen,out}^{VI} = 161,19 / 0,93 = 173,32 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

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

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} \cdot \frac{1 - \eta_{C,gen}}{\eta_{C,gen}}, \quad (2.42)$$

де  $\eta_{C,gen}$  – ефективність підсистеми генерування (виробництва), визначається шляхом множення сезонного коефіцієнта енергоефективності на

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 50   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

ефективність генерування (виробництва) енергії для установки, обирається за [2-3], так як охолодження відбувається за допомогою компресорної машини з тепловідведенням до зовнішнього повітря

$$\eta_{C,gen} = 2,25 \cdot \eta_{pg},$$

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

Енергоспоживання для охолодження визначається за формулою:

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,gen,ls}, \quad (2.43)$$

Визначимо енергоспоживання для червня за формулою (2.43):

$$Q_{C,use}^{VI} = 173,32 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Розрахунок енергоспоживання для періоду охолодження наведено у таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Енергоспоживання для охолодження

| Місяць | QC,dis,out<br>кВт/год | QC,dis,ls<br>кВт/год | QC,dis,in<br>кВт/год | QC,gen,out<br>кВт/год | QC,use<br>кВт/год |
|--------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| VI     | 131,05                | 30,14                | 161,19               | 173,32                | 173,32            |
| VII    | 821,75                | 189,00               | 1010,75              | 1086,83               | 1086,83           |
| VIII   | 490,72                | 112,87               | 603,59               | 649,02                | 649,02            |
| Разом  |                       |                      |                      |                       | 1909,17           |

## Визначення класу енергоефективності існуючої будівлі

Клас енергетичної ефективності будівлі визначається за даними, наведеними у Наказі №261 [4], в залежності від показника  $\Delta_{EP}$ , який є відсотковою різницею між загальним показником питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні,  $EP_{use}$ , кВт·год/м<sup>2</sup> та граничним питомим енергоспоживання при опаленні та охолодженні,  $EP_p$ , кВт·год/м<sup>2</sup>.

Показник  $\Delta_{EP}$  визначається за формулою:

$$\Delta_{EP} = [(EP_{use} - EP_p) / EP_p] \cdot 100, \quad (2.44)$$

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

$$EP_{use} = EP_{H,use} + EP_{C,use}, \quad (2.45)$$

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:

$$- EP_{H,use} = 451410,32/7291 = 61,91 \text{ кВт·год/м}^3 \text{ (розділ 2.1.3);}$$

$$- EP_{C,use} = 1909,17/7291 = 0,26 \text{ кВт·год/м}^3 \text{ (розділ 2.1.4).}$$

Підставимо значення у формулу (2.45):

$$EP_{use} = 61,91 + 0,26 = 62,18 \text{ кВт·год/м}^3.$$

$EP_p$  – граничне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні; Відповідно до Наказу №260 [5] для будівель закладів освіти, розміщеної у I температурній зоні України становить, кВт·год/м<sup>3</sup>:

$$EP_p = 55\Lambda_{bci} + 24,$$

де  $\Lambda_{bci}$  – коефіцієнт компактності будівлі, визначається за формулою:

$$\Lambda_{bci} = A_{\Sigma} / V, \quad (2.46)$$

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 52   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

де  $A_{\Sigma}$  – загальна площа внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожувальних конструкцій, враховує покриття верхнього поверху і перекриття нижнього,  $\text{м}^2$ ;

$V$  – опалюваний об'єм будівлі, визначається як об'єм обмежений внутрішніми поверхнями зовнішніх огорожувальних конструкцій,  $\text{м}^3$ .

Підставимо значення у формулу (2.46):

$$\Lambda_{bci} = 2844,5 / 7291 = 0,39 \text{ м}^{-1}.$$

Тож граничне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні розглянутої будівлі становить  $EP_p = 45,46 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ .

Розрахуємо показник  $\Delta EP$ , підставивши значення у формулу (2.44):

$$\Delta EP = [(62,18 - 45,46) / 45,46] \cdot 100 = 36,78 \text{ \%}.$$

За допомогою Наказу №261 [4] визначимо класу енергоефективності даної будівлі. Отримане значення відповідає класу енергоефективності F. У результаті проведених розрахунків визначено фактичний рівень енергоефективності існуючої будівлі на основі показника  $\Delta EP$ , який характеризує відхилення фактичного питомого енергоспоживання від нормативного. Аналіз питомих витрат енергії на опалення та охолодження показав, що сумарний показник  $EP_{use}$  становить  $62,18 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ , що суттєво перевищує гранично допустиме значення  $EP_p = 45,46 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ , визначене відповідно до Наказу №260 для будівель закладів освіти у I температурній зоні України. Розраховане відхилення  $\Delta EP = 36,78 \text{ \%}$  свідчить про значну енергетичну неефективність будівлі, що зумовлено надмірними тепловтратами та недостатньою ефективністю існуючих інженерних систем. Згідно з класифікацією, наведеною у Наказі №261, отримане значення  $\Delta EP$  однозначно визначає клас енергоефективності будівлі як F, що є одним із найнижчих можливих рівнів. Це підтверджує потребу в комплексній термомодернізації та впровадженні енергоефективних рішень для зниження споживання енергоресурсів і покращення технічного стану будівлі.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 53   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 2.2 Інженерні системи об'єкта дослідження: системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання

У корпусі гаряче водопостачання організовано через теплообмінний апарат, який отримує теплову енергію від центральної теплової мережі закладу. У складі теплопункту встановлено теплообмінник пластинчастого типу, циркуляційний насос, проміжний акумулюючий резервуар та систему трубопроводів малого та середнього діаметру, що забезпечують розподіл теплоносія по всій будівлі. Температурні параметри подачі гарячої води зазвичай підтримуються на рівні 55–60 °С, а температура води в циркуляційному контурі становить приблизно 50–55 °С, що відповідає типовим умовам експлуатації систем ГВП у громадських будівлях. Під час огляду теплопункту було встановлено низку проблемних аспектів, характерних для обладнання, яке тривалий час працює без модернізації. Зокрема, циркуляція гарячої води функціонує нерівномірно, що свідчить про часткове звуження або засмічення окремих ділянок трубопроводів, особливо в місцях із низькою швидкістю руху теплоносія. Теплообмінний апарат має знижений коефіцієнт теплопередачі, що, ймовірно, пов'язано з накопиченням накипу та карбонатних відкладень на поверхнях теплопередачі, які погіршують ефективність теплового контакту. Додатковою проблемою є відсутність засобів обліку витрат теплової енергії та гарячої води, що не дозволяє здійснювати точний контроль споживання, а також ускладнює оцінку реальної енергоефективності системи.

Також було виявлено, що автоматика регулювання температури працює нестабільно: іноді температура води перевищує встановлені значення, іноді — не досягає їх, що може призводити до дискомфорту споживачів та підвищених теплових втрат. Окремо слід відзначити, що частина трубопроводів прокладена у неопалюваних приміщеннях (коридорах технічного призначення, вентиляційних нішах, підвальних переходах), унаслідок чого відбувається додаткове охолодження гарячої води.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 54   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Це негативно впливає як на стабільність температури, так і на загальні витрати теплової енергії на підігрів. Аналіз роботи системи показує, що для підвищення її енергоефективності та надійності доцільно реалізувати комплекс заходів модернізації. Передусім актуальним є оновлення теплообмінного обладнання. Використання сучасного розбірного теплообмінника дало б можливість оперативно виконувати очищення поверхонь теплопередачі, підтримуючи стабільну ефективність роботи протягом тривалого часу. Також значний потенціал енергозбереження має модернізація циркуляційного насоса шляхом заміни його на модель із можливістю плавного регулювання подачі. Завдяки цьому циркуляція може адаптуватися до реального водорозбору, що знизить зайві втрати та покращить гідравлічний баланс системи.

Важливим етапом підвищення ефективності є встановлення засобів автоматичного регулювання температури гарячої води з точним підтриманням заданих параметрів. Це забезпечить більш стабільний температурний графік упродовж доби, зменшуючи теплові перевитрати у моменти низького споживання. Окремої уваги потребує відсутність засобів обліку: запровадження теплолічильників і лічильників води дозволить здійснювати точний контроль теплових витрат, аналізувати фактичну ефективність модернізацій та оптимізувати роботу теплопункту в перспективі.

Трубопроводи, які втратили початкові теплоізоляційні властивості або розміщені в неопалюваних зонах, доцільно замінити на сучасні матеріали з меншими втратами тепла або забезпечити їх додатковою теплоізоляцією. Заміна застарілих сталевих труб на полімерні багат шарові аналоги також зменшує гідравлічний опір, покращує стійкість до корозії та знижує експлуатаційні витрати.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 55   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

### 2.3 Оцінка стану та ефективності систем обліку, автоматизації, моніторингу та управління енергоспоживанням

Електропостачання корпусу забезпечується через трансформаторну підстанцію, обладнану двома силовими трансформаторами середньої потужності. Живлення до корпусу подається двома окремими кабельними лініями, що відповідає вимогам щодо II категорії надійності та гарантує можливість резервування у разі аварійних чи ремонтних ситуацій. Така структура електроживлення є типовою для навчальних корпусів і забезпечує достатній рівень безперебійності роботи основних інженерних систем. Разом із тим, аналіз системи електрообліку показав наявність суттєвих проблем, що впливають на можливість точного визначення фактичного енергоспоживання корпусу. Зокрема, лічильники комерційного обліку фіксують сумарне споживання не лише корпусу №8, але й інших будівель, розташованих на спільній електричній мережі, що унеможливорює формування коректного енергетичного балансу окремої будівлі.

Технічний облік здійснюється за допомогою лічильних пристроїв та трансформаторів струму, але їх параметри не відповідають принципу оптимального вимірювання, оскільки номінальні значення обрані із значним запасом. Це призводить до зниження точності показів, особливо при частковому навантаженні. Додатковою проблемою є відсутність регулярної метрологічної повірки засобів обліку. За результатами обстеження встановлено, що частина приладів не проходила повірку протягом багатьох років, що збільшує похибку вимірювань та створює невизначеність у даних щодо фактичного споживання електроенергії.

Зафіксовані розбіжності між показами приладів та реальним навантаженням становлять від 10 до 25 %, що свідчить про необхідність модернізації всієї системи технічного контролю. Однією з найбільш критичних проблем у сфері теплопостачання є відсутність повноцінної системи обліку теплової енергії. На вводі теплової мережі до будівлі немає тепловічильників, а контури опалення та гарячого водопостачання не мають

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 56   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

власних приладів вимірювання витрати та температури. Це означає, що фактична кількість теплової енергії, яка надходить до корпусу, визначається не за реальними даними, а за непрямими методами або пропорційно до площі, що не відображає реального характеру тепловтрат та режимів експлуатації.

Розподіл теплового навантаження між кількома будівлями за площею призводить до суттєвих похибок, оскільки різні корпуси мають різний ступінь утеплення, різну кількість зовнішніх огорожувальних конструкцій, різну інтенсивність вентиляції та відмінні графіки роботи.

Автоматизація систем тепlopостачання в будівлі практично відсутня. У тепловому пункті немає засобів автоматичного регулювання витрати теплоносія або перепаду тиску, відсутні балансувальні клапани та пристрої дистанційного передавання даних. Через це система працює без адаптації до зовнішніх умов та фактичних теплових навантажень. Відсутність погодозалежного регулювання призводить до того, що температура в приміщеннях не відповідає кліматичним умовам: у теплі дні можливе систематичне перегрівання, а при зниженні температури зовнішнього повітря — недогрівання. Це викликає дискомфорт і водночас сприяє збільшенню споживання тепла на 15–30 %, що підтверджується результатами аналізу експлуатаційних режимів у подібних будівлях. Подача води до корпусу забезпечується з міського водопроводу, на вводі встановлено вузол обліку, який фіксує загальний обсяг споживання. Разом із тим, система водопостачання має низку технічних недоліків, що впливають на її ефективність.

Зокрема, не проводиться аналіз пікових витрат, який дозволив би оптимізувати роботу насосного обладнання. У системі відсутні засоби регулювання подачі води залежно від фактичного споживання, що призводить до збільшених енергетичних витрат. Старі трубопроводи створюють підвищені гідравлічні втрати, що також негативно впливає на стабільність тиску та ефективність роботи системи.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 57   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

**2.4 Висновок до розділу 2:** Проведений аналіз показав, що енергоефективність навчального корпусу №8 перебуває на низькому рівні, що підтверджується розрахованим показником  $\Delta EP = 36,78 \%$ , який відповідає класу енергоефективності F згідно з Наказом №261. Основним чинником завищеного питомого енергоспоживання є значні тепловтрати через огорожувальні конструкції та застарілу систему теплозабезпечення, яка працює без сучасних засобів регулювання, моніторингу та обліку. Аналіз тепlopункту виявив зниження ефективності теплообмінного обладнання, нерівномірну циркуляцію гарячої води, втрати тепла через неізольовані трубопроводи та відсутність лічильників, що унеможливорює формування точного теплового балансу будівлі. Відсутність автоматизації призводить до нестабільного температурного режиму, перегрівів або недогрівів, що збільшує споживання теплової енергії та знижує комфорт користувачів. Система електропостачання також має низку проблем: комерційний облік охоплює кілька будівель одночасно, технічні лічильники мають знижений клас точності та недостатній рівень метрологічного контролю, що спричиняє похибку вимірювань на рівні 10–25 %. Подібні недоліки унеможливлюють проведення коректного енергетичного аналізу та планування заходів із підвищення енергоефективності. Система водопостачання працює без адаптивного регулювання та аналізу пікових навантажень, а застарілі трубопроводи створюють додаткові гідравлічні втрати.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 58   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## З ІНЖЕНЕРНІ ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ

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

#### *Енергоспоживання підсистеми тепловіддачі при опаленні*

Модернізація індивідуального теплового пункту передбачає заміну застарілого елеваторного вузла на теплообмінне обладнання з погодозалежним автоматичним регулюванням та частотним керуванням насосами, що дозволяє оптимізувати температурні режими та зменшити теплові втрати. Система гарячого водопостачання модернізується шляхом впровадження ефективної схеми підігріву з автоматизованим контролем температури та витрати теплоносія, що забезпечує стабільну якість ГВП і зниження енергоспоживання. Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі визначаються помісячно за формулою (3.1), Вт·год. Загальний рівень ефективності тепловіддавальної складової системи, визначається за формулою (3.1):

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (0,93 + 0,88 + 1)]} = 0,84$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми для січня за формулою:

$$Q'_{H,em,ls,i} = \left( \frac{1,05 \cdot 1 \cdot 1}{0,84} - 1 \right) \cdot 71261,09 = 17779,64$$

Енергію входу для підсистеми тепловіддачі розраховується за формулою (3.2). Визначимо енергію входу для підсистеми тепловіддачі для січня місяця, підставивши значення у формулу:

$$Q'_{H,em,in,i} = 71261,09 + 17779,64 = 74831,38$$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми тепловіддачі для кожного місяця опалювального періоду зведено в таблицю 3.1.

#### *Енергоспоживання підсистеми розподілення при опаленні*

Загальні тепловтрати підсистеми розподілення визначаються помісячно за формулою (3.3), Вт·год.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 59   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Енергію входу для підсистеми розподілення розраховується за формулою (3.4).

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми розподілення для кожного місяця опалювального періоду зведено в таблицю 3.1.

### ***Енергоспоживання підсистеми генерування при опаленні***

Загальні тепловтрати підсистеми генерування (виробництва) теплоти визначаються помісячно за формулою (3.5), Вт·год.

Визначимо тепловтрати підсистеми генерування для січня за формулою:

$$Q_{H,gen,ls,i}^I = 74831,38 \cdot \frac{1 - 0,86}{0,86} = 12181,85 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Визначимо енергоспоживання, підставивши значення у формулу (3.6):

$$Q_{H,use,i}^I = 74831,38 + 12181,85 = 87013,23 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Результати розрахунку енергоспоживання підсистемами зведені до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Енергоспоживання для опалення

| Місяць | $Q_{H,em,out}$<br>кВт·год | $Q_{H,em,ls}$<br>кВт·год | $Q_{H,em,in}$<br>кВт·год | $Q_{H,dis,in}$<br>кВт·год | $Q_{H,gen,ls}$<br>кВт·год | $Q_{H,use}$<br>кВт·год |
|--------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| I      | 71261,09                  | 17779,64                 | 74831,38                 | 74831,38                  | 12181,85                  | 87013,23               |
| II     | 57451,53                  | 14334,16                 | 60347,16                 | 60347,16                  | 9823,96                   | 70171,11               |
| III    | 43000,24                  | 10728,56                 | 45240,02                 | 45240,02                  | 7364,65                   | 52604,67               |
| IV     | 3158,56                   | 788,06                   | 3409,86                  | 3409,86                   | 555,09                    | 3964,95                |
| X      | 8827,29                   | 2202,41                  | 9363,02                  | 9363,02                   | 1524,21                   | 10887,23               |
| XI     | 47254,38                  | 11789,97                 | 49635,80                 | 49635,80                  | 8080,25                   | 57716,05               |
| XII    | 65203,41                  | 16268,25                 | 68469,30                 | 68469,30                  | 11146,17                  | 79615,47               |
| Разом  |                           |                          |                          |                           |                           | <b>361972,72</b>       |

## Розрахунок енергопотреби на охолодження будівлі після термомодернізації

Результати розрахунків енергопотреби для охолодження зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Енергопотреба для охолодження

| Місяць | $Q_{C,ht}$<br>кВт·год | $\eta_{C,ls}$ | $Q_{C,gn}$<br>кВт·год | $Q_{C,nd}$<br>кВт·год |
|--------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| VI     | 12544,25              | 0,45          | 5801,06               | 131,05                |
| VII    | 11552,13              | 0,57          | 7406,46               | 821,75                |
| VIII   | 8371,54               | 0,65          | 5897,61               | 490,72                |
| Разом  |                       |               |                       | 1443,52               |

## Розрахунок енергоспоживання на охолодження будівлі після термомодернізації

### *Енергоспоживання підсистеми розподілення при охолодженні*

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі визначаються помісячно за формулою (3.7), Вт·год.

Покажемо приклад розрахунку за формулою для червня місяця:

$$Q_{C,dis,ls}^{VI} = 131,05 \cdot ((1 - 1) + (1 - 0,87) + (1 - 0,9)) = 30,14 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергія входу для підсистеми розподілення визначається за формулою (2.40), кВт·год:

$$Q_{C,dis,in}^{VI} = 131,05 + 30,14 = 161,19 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

### *Енергоспоживання підсистеми генерування при охолодженні*

Енергія виходу для підсистеми генерування (виробництва) визначається за формулою (3.8), кВт·год:

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 61   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

$$Q_{C,gen,out} = \frac{161,19}{0,99} = 162,82 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергоспоживання для охолодження визначається за формулою (3.9).

Визначимо енергоспоживання для червня за формулою:

$$Q_{C,use}^{VI} = 162,82 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахунок енергоспоживання для періоду охолодження наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Енергоспоживання для охолодження

| Місяць | $Q_{C,em,in}$<br>=<br>$Q_{C,dis,out}$<br>кВт·год | $Q_{C,dis,ls}$<br>кВт·год | $Q_{C,dis,in}$<br>кВт·год | $Q_{C,gen,out}$<br>кВт·год | $Q_{C,use}$<br>кВт·год |
|--------|--------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|
| VI     | 131,05                                           | 30,14                     | 161,19                    | 162,82                     | 162,82                 |
| VII    | 821,75                                           | 189,00                    | 1010,75                   | 1020,96                    | 1020,96                |
| VIII   | 490,72                                           | 112,87                    | 603,59                    | 609,69                     | 609,69                 |
| Разом  |                                                  |                           |                           |                            | 1793,46                |

### Визначення класу енергоефективності будівлі після впровадження заходів

Клас енергетичної ефективності будівлі визначається за даними, наведеними у Наказі N°261 [4], в залежності від показника  $\Delta_{EP}$ , який є відсотковою різницею між загальним показником питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні,  $EP_{use}$ , кВт·год/м<sup>2</sup>, [кВт·год/м<sup>3</sup>] та граничним питомим енергоспоживання при опаленні та охолодженні,  $EP_p$ , кВт·год/м<sup>2</sup>, [кВт·год/м<sup>3</sup>].

Показник  $\Delta_{EP}$  визначається за формулою (2.44), %.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 62   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Загальне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні за формулою (3.10), кВт·год/м<sup>2</sup>.

Питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні відповідно, кВт·год/м<sup>2</sup>. Для розглянутої будівлі:

$$EP_{H,use} = 361972,72/7291 = 49,65 \text{ кВт·год/м}^3$$

$$EP_{C,use} = 1793,46 / 7291 = 0,25 \text{ кВт·год/м}^3$$

Підставимо значення у формулу (3.11):

$$EP_{use} = 49,65 + 0,25 = 49,89 \text{ кВт·год/м}^3.$$

$EP_p$  – граничне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні;

Відповідно до Наказу №260 [5] для закладу освіти, розміщеної у I температурній зоні України становить, кВт·год/м<sup>3</sup>:

$$EP_p = 55\Lambda_{bci} + 24$$

Коефіцієнт компактності будівлі  $\Lambda_{bci}$ , визначається за формулою (3.12):

$$\Lambda_{bci} = 2844,5 / 7291 = 0,39 \text{ м}^{-1}.$$

Тож граничне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні розглянутої будівлі становить:

$$EP_p = 45,46 \text{ кВт·год/м}^3.$$

Розрахуємо показник  $\Delta_{EP}$ , підставивши значення у формулу (3.13):

$$\Delta_{EP} = [(49,89 - 45,46) / 45,46] \cdot 100 = 9,76 \text{ \%}.$$

За допомогою Наказу №261 [4] визначимо класу енергоефективності даної будівлі. Отримане значення відповідає класу енергоефективності D.

Проведений розрахунок обладнання для реконструкції системи теплопостачання та гарячого водопостачання показав, що заміна застарілих елементів теплопункту на сучасні теплообмінники, насосне обладнання та засоби автоматичного регулювання дозволила суттєво підвищити ефективність роботи системи.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 63   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Завдяки оптимізації теплової потужності обладнання, стабілізації циркуляційних режимів та зменшенню втрат у трубопроводах питомі витрати теплової енергії на опалення знизилися з 61,91 до 49,65 кВт·год/м³. У результаті показник ΔЕР скоротився до 9,76 %, що забезпечило підвищення класу енергоефективності будівлі з F до D. Досягнуте покращення підтверджує, що коректний добір теплообмінного обладнання, циркуляційних насосів, теплоізоляції та систем автоматизації є ключовими чинниками у підвищенні загальної енергоефективності будівлі. Реконструкція системи тепlopостачання та ГВП не лише зменшила теплові втрати, але й покращила стійкість роботи системи, забезпечивши більш рівномірний температурний режим і зниження експлуатаційних витрат.

### **3.2 Рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів навчального корпусу.**

Рекомендації щодо організаційно-управлінських заходів для навчального корпусу №8 КПІ ім. Ігоря Сікорського спрямовані на те, щоб забезпечити його ефективне, надійне та енергоощадне функціонування в сучасних умовах. Ефективність експлуатації будівлі сьогодні визначається не лише технічним станом інженерних систем, а й якістю організації управління ними, наявністю продуманої системи енергоменеджменту, прозорого обліку та постійного моніторингу енергоспоживання. Оскільки корпус №8 було зведено у період, коли питання енергоефективності та автоматизації не були пріоритетними, актуальним є впровадження комплексу організаційних та управлінських рішень, які дозволять адаптувати будівлю до сучасних вимог раціонального використання енергоресурсів.

Ключовим напрямом є формування на рівні корпусу цілісної системи енергетичного менеджменту. Доцільно створити постійно діючу робочу групу з енергоменеджменту, до складу якої можуть увійти представники адміністрації факультету, інженерно-технічного персоналу, служби

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 64   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

енергоменеджменту університету та, за можливості, профільних кафедр теплоенергетичного чи енергетичного спрямування.

Така група має виконувати функції з організації та проведення енергетичних аудитів, аналізу щоденного та місячного енергоспоживання, підготовки конкретних пропозицій щодо оптимізації витрат, контролю за реалізацією запланованих заходів, а також формування щорічних енергетичних звітів для адміністрації. У межах цієї роботи доцільно розробити енергетичну політику корпусу, у якій будуть визначені цілі економії теплової, електричної енергії та води, регламентовані методи моніторингу, порядок дій персоналу в типових та аварійних ситуаціях, а також принципи взаємодії між адміністрацією, технічними службами і користувачами будівлі. Такі цілі можуть включати поетапне зниження теплоспоживання на 10–20 %, електроспоживання на 5–7 % та скорочення витрат води, а також зменшення аварійності інженерних систем.

Важливою складовою системи управління є ведення паспорта енергоспоживання корпусу. У цьому документі доцільно відображати основні джерела та напрямки витрат енергії, структуру та стан інженерних систем, рівень тепловтрат, динаміку споживання за роками, а також пріоритетні рекомендації щодо модернізації та енергоефективних заходів. Паспорт енергоспоживання дає змогу системно відстежувати ефект від проведених робіт, обґрунтовувати потреби в інвестиціях та планувати бюджетні витрати.

Наступним організаційно важливим завданням є впровадження сучасної системи обліку та моніторингу. Для цього необхідно забезпечити установку приладів обліку теплової енергії на вводі теплової мережі до корпусу та в окремих контурах, зокрема для системи гарячого водопостачання, а також застосувати електролічильники й водоміри з можливістю дистанційного зчитування. Доцільним є встановлення датчиків температури внутрішнього повітря в репрезентативних аудиторіях, а також датчиків температури і витрати теплоносія у тепловому пункті.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 65   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

На основі цих даних має функціонувати автоматизована цифрова система моніторингу, яка в режимі наближеному до реального часу фіксуватиме витрати тепла, електроенергії та води, виявлятиме відхилення від нормальних режимів, формуватиме періодичні звіти та забезпечуватиме доступ до інформації для адміністрації та відповідальних осіб. Для оцінки результативності впроваджених заходів та подальшого планування необхідно визначити ключові показники ефективності (KPI), такі як питомі витрати теплової та електричної енергії на одиницю площі, співвідношення спожитого тепла до температури зовнішнього повітря, втрати в мережах внутрішнього опалення, ефективність роботи теплового вузла тощо.

Організаційно-управлінські заходи мають також охоплювати оптимізацію режимів роботи інженерних систем. Для системи опалення доцільно впровадити погодозалежне регулювання подачі теплоносія, налаштувати нічні та вихідні режими, застосувати зональне керування стояками відповідно до фактичної потреби в теплі та уникати перегрівів за рахунок автоматичного контролю температури в приміщеннях. Систему вентиляції доцільно організувати таким чином, щоб поєднати забезпечення нормативного повітрообміну з мінімізацією невиправданих тепловтрат, зокрема через розроблення регламентів провітрювання, підтримання у справному стані вентиляційних каналів та використання локальних витяжних пристроїв у санітарно-побутових приміщеннях. Для системи гарячого водопостачання рекомендовано провести промивання та налагодження теплообмінного обладнання, оптимізувати роботу циркуляційних насосів, забезпечити належну теплоізоляцію трубопроводів, а також встановити засоби обліку і регулювання температури, що дозволить зменшити перевитрати теплової енергії та стабілізувати параметри ГВП. Важливим елементом управління є впорядковане технічне обслуговування: розробка та виконання регламентів періодичного промивання системи опалення, перевірки й очищення вентиляційних каналів, своєчасної заміни зношеної арматури, контролю стану теплоізоляції трубопроводів. Окремий блок рекомендацій

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 66   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

стосується поведінкових аспектів та формування енергетичної культури користувачів будівлі. Доцільно організовувати інформаційно-освітні заходи для студентів і працівників, розміщувати в корпусі наочні матеріали з правилами енергоощадної поведінки, інформувати про поточний рівень споживання енергії та досягнуті результати економії.

Запровадження простих правил, таких як зачинення вікон під час опалювального періоду, вимкнення освітлення у порожніх аудиторіях, недопущення закривання опалювальних приладів меблями та оперативне інформування про виявлені несправності, може забезпечити відчутний додатковий ефект без значних капіталовкладень. Мотиваційні програми, конкурси та залучення студентів до проєктів енергоаудиту здатні підвищити зацікавленість у бережливому ставленні до енергоресурсів і сприяти пошуку інноваційних рішень.

Реалізація організаційно-управлінських заходів потребує відповідної фінансово-економічної підтримки. Бюджетні витрати доцільно структурувати на оперативні (ремонт і підтримка працездатності існуючих систем), капітальні (встановлення лічильників, приладів автоматики, утеплення огорожувальних конструкцій, модернізація інженерних мереж) та інноваційні (впровадження теплових насосів, сонячних електричних або теплових установок, гібридних систем теплопостачання). Важливим напрямом є залучення зовнішніх фінансових ресурсів — грантових програм, фондів підтримки енергоефективності, проєктів міжнародної технічної допомоги, а також використання механізмів енергосервісу. Енергосервісні контракти дозволяють реалізовувати проєкти модернізації за рахунок майбутньої економії енергоресурсів, зменшуючи навантаження на бюджет університету.

Для поетапного впровадження модернізації доцільно розробити дорожню карту, у якій пріоритезація заходів здійснюється за критеріями енергетичного ефекту, вартості, складності реалізації та строків окупності. На першому етапі доцільно зосередитися на створенні системи обліку та автоматики, налагодженні роботи теплового пункту, усуненні найбільш

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 67   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

критичних недоліків. На наступних етапах можуть бути реалізовані заходи з термомодернізації огорожувальних конструкцій, модернізації віконних систем, удосконалення вентиляції, а в довгостроковій перспективі — інтеграція відновлюваних джерел енергії та перехід до гібридних систем опалення. Завершальним стратегічним напрямом є формування концепції «розумного корпусу» як елемента моделі Smart Campus.

Це передбачає створення цифрової платформи управління інженерними системами, яка об'єднуватиме дані з приладів обліку та датчиків, дозволить керувати параметрами опалення та гарячого водопостачання, здійснювати аналіз та прогнозування витрат, оцінювати ефективність упроваджених заходів. Інтеграція цієї платформи з університетською системою енергомоніторингу забезпечить єдиний інформаційний простір для технічних служб, адміністрації та науково-педагогічних працівників, а також створить базу для навчально-наукових досліджень у сфері енергоефективності.

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

Модернізація систем теплопостачання є одним із ключових напрямів підвищення енергоефективності громадських будівель, зокрема навчальних корпусів КПП, значна частина яких експлуатується понад півстоліття. Тривала експлуатація зумовила зношеність інженерної інфраструктури та збереження застарілих схем регулювання теплової енергії. Корпус №8 не є винятком: тепла енергія надходить до будівлі через елеваторний вузол, який не забезпечує можливості автоматичного регулювання температури, не адаптується до зовнішніх кліматичних умов та призводить до систематичних перегрівів приміщень. У результаті будівля має низькі теплотехнічні показники, значні тепловтрати та клас енергоефективності F. Елеваторний вузол, який використовується в корпусі, характеризується рядом суттєвих недоліків, серед яких відсутність автоматичного регулювання подачі тепла,

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 68   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

неможливість зменшення температури теплоносія при підвищенні температури зовнішнього повітря, нерівномірний розподіл теплоносія між стояками, підвищені тепловтрати через перегрів, низька ефективність циркуляції та відсутність теплолічильника. Окрім того, система не дозволяє реалізовувати програмовані режими роботи, такі як добовий або нічний графік, що обмежує можливості оптимізації споживання. Питомі витрати тепла до модернізації становили 62,18 кВт·год/м³, що підтверджує низьку ефективність існуючої системи та відповідність будівлі класу F.

Запропонований проєкт передбачає перехід до індивідуального теплового пункту (ІТП), що включає встановлення пластинчастого теплообмінника, частотно-регульованого циркуляційного насоса, погодозалежної автоматики, теплолічильника та балансувальних елементів.

Пластинчастий теплообмінник забезпечує гідравлічне розмежування мережної та внутрішньої системи, що покращує стабільність параметрів теплоносія та підвищує безпеку експлуатації. Частотний циркуляційний насос дозволяє регулювати витрати теплоносія залежно від реальних потреб будівлі, що знижує електроспоживання та покращує гідравлічний режим.

Погодозалежна автоматика забезпечує автоматичне коригування температури подачі відповідно до температури зовнішнього повітря, що зменшує тепловтрати та усуває перегрів приміщень у перехідні періоди. Теплолічильник дає змогу здійснювати точний контроль споживання теплової енергії та оцінювати реальний ефект від модернізації. Балансувальні клапани дозволяють вирівняти розподіл теплоносія між стояками та підвищити стабільність роботи системи загалом.

Енергетичний ефект модернізації оцінювався на основі моделювання, згідно з яким споживання теплоти зменшується з 451 410 до 361 973 кВт·год на рік. Враховуючи вплив інфільтрації, експлуатаційних чинників та теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, для економічних розрахунків прийнято реалістичний показник зменшення споживання тепла на рівні 14 %. Це відповідає середньостатистичним

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 69   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

значенням для модернізації ІТП у громадських будівлях аналогічного типу. За такого підходу річна економія теплової енергії становить 63 197 кВт·год.

Тариф на теплову енергію для КПП становить 3619 грн за Гкал, а 1 Гкал дорівнює 1163 кВт·год. Таким чином, вартість 1 кВт·год тепла становить 3,11 грн. Відповідно, річна економія коштів від зниження споживання тепла становить приблизно 196 500 грн.

Вартість модернізації включає закупівлю та монтаж основного обладнання. Орієнтовні витрати становлять: пластинчастий теплообмінник — 180 000 грн, частотний циркуляційний насос — 95 000 грн, погодозалежна автоматика — 150 000 грн, теплотічильник — 60 000 грн, монтаж і пусконаладжувальні роботи — 150 000 грн. Загальна вартість проєкту складає 635 000 грн. Термін окупності розраховується як відношення вартості модернізації до річної економії та становить 3,2 роки.

**3.4 Висновок до розділу 3:** Проведений аналіз та розрахунок після впровадження технічних заходів свідчить про суттєве підвищення енергоефективності навчального корпусу №8 КПП ім. Ігоря Сікорського. Зменшення питомого енергоспоживання для опалення з 61,91 до 49,65 кВт·год/м<sup>3</sup> та скорочення загального показника E<sub>Puse</sub> до 49,89 кВт·год/м<sup>3</sup> призвели до зниження показника ΔEP до 9,76 %, що забезпечило перехід будівлі з класу енергоефективності F до класу D згідно з Наказом №261. Це підтверджує ефективність проведеної модернізації системи теплопостачання.

Ключовим фактором підвищення ефективності стало впровадження індивідуального теплового пункту з сучасним теплообмінним обладнанням, частотно-регульованим насосом, погодозалежною автоматикою, балансувальною арматурою та засобами комерційного обліку. Такі заходи дозволили стабілізувати роботу системи, покращити циркуляцію теплоносія, усунути перегріви, зменшити тепловтрати у внутрішніх мережах і забезпечити можливість точного контролю споживання теплової енергії. Економічні розрахунки підтвердили доцільність модернізації: річне зниження витрат

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 70   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

тепла становить близько 14 %, що забезпечує окупність проєкту на рівні 3,2 року. Окрім технічних рішень, важливими є організаційно-управлінські заходи, спрямовані на створення системи енергетичного менеджменту корпусу. Запровадження структурованого енергомоніторингу, формування енергетичної політики, ведення паспорта енергоспоживання, встановлення сучасних приладів обліку тепла, води та електроенергії, а також створення цифрової платформи керування інженерними системами значно підвищують прозорість та керованість енергетичних процесів. Не менш важливою є оптимізація режимів роботи систем опалення, вентиляції та ГВП, а також підвищення культури енергозбереження серед користувачів будівлі. У комплексі проведені заходи дозволили покращити енергетичний стан корпусу, забезпечили перехід до вищого класу енергоефективності та сформували основу для подальшої модернізації: термомодернізації огорожувальних конструкцій, удосконалення систем вентиляції та інтеграції відновлюваних джерел енергії. Досягнуті результати підтверджують, що системний підхід — поєднання технічної реконструкції, автоматизації та енергоменеджменту — є необхідною умовою ефективної експлуатації будівлі та зменшення енергетичних витрат у довгостроковій перспективі.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 71   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 4 СПЕЦПИТАННЯ. «МОДЕЛЮВАННЯ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОМБІНОВАНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ»

4.1 Комп'ютерне моделювання систем енергозабезпечення об'єктів в програмних середовищах: GeoT\*Sol, PV\*Sol.

4.1.1 Моделювання системи теплозабезпечення будівлі з тепловим насосом

Моделювання проводиться за допомогою програми GeoT\*Sol(<https://valentin-software.com/en/products/geotsol/>)

Тепловий насос типу «повітря-вода»

Обираємо тепловий насос типу «повітря – вода», як показано на рис. 4.1



Рисунок 4.1 – ТН повітря – вода

Таблиця 4.1 – Параметри системи опалення приміщень

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 72   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Обираємо режим роботи теплового насосу для навчального корпусу та вводимо необхідні дані(рис. 4.2).

Heat Generator

> Heat pump

Manufacturer:

Dimplex - Glen Dimplex Deutschland GmbH

Select

Product:

LA 60 TU-2

Properties

Construction type:

Air/Water

Tariffs and off periods

Nominal heating power:

72,9 kW

> Monovalent/monoenergetic operation

☐ Monovalent

☒ Monoenergetic, parallel

☐ Monoenergetic, alternative

☐ Monoenergetic, partially parallel

Power of heating element:

80,0 kW

Heating element out of service above:

-5,0 °C

Heat pump out of service below:

--- °C

Рисунок 4.2 – Вибір виробника ТН

Таблиця 4.2 – Потужність вентилятора і витрата зовнішнього повітря

Heat Source

> Heat pump ventilator

Ventilator's nominal output:

0,100 kW

Flow rate:

21 165 m³/h

Проводимо розрахунки. Енергетичні показники ефективності системи для ТН повітря – вода представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Енергетичні показники ефективності системи для ТН типу повітря – вода

Simulation Results

Heat pump

Energies

Photovoltaics

> Energy generated / Year

Supplied by heat pump:

151 443 kWh (80 %)

Supplied by boiler:

--- kWh

Supplied by solar system:

--- kWh

Supplied by elec. heating rod:

37 595 kWh (20 %)

> Utilized energy / Year

Space Heating:

189 040 kWh (100 %)

Domestic hot water:

--- kWh

> Power consumption / Year

Heat pump:

44 091 kWh (54 %)

Heating element:

37 595 kWh (46 %)

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 / Year

Solar fraction:

--- %

Solar fraction DHW:

--- %

Efficiency of solar system:

--- %

Irradiation onto active solar surface:

--- kWh

Energy delivered by collectors:

--- kWh

Для приміщення з опалювальною площею 2844 м<sup>2</sup> тепловий насос типу «повітря-вода» може забезпечити 80% теплової енергії від річної потреби.

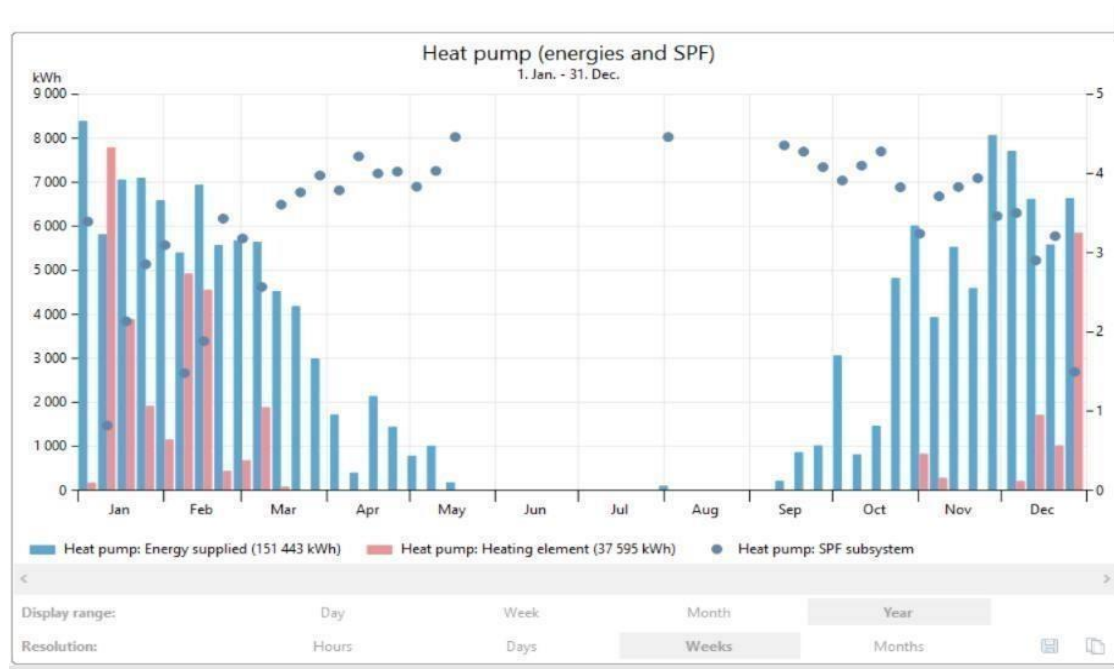


Рисунок 4.3 – Графік енергетичних показників теплового насоса

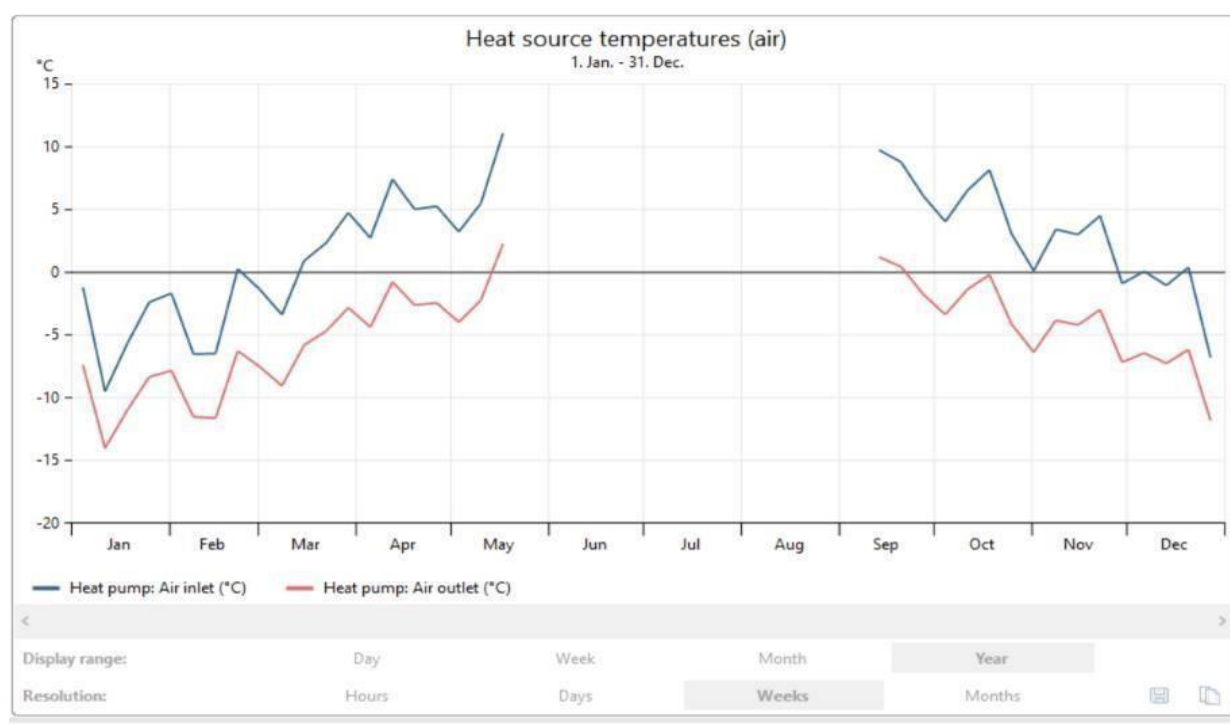


Рисунок 4.4 – Температура джерела теплоти (повітря) для теплового насоса

Тепловий насос типу «розсіл – вода»

Обираємо тепловий насос типу «розсіл – вода», як показано на рис. 4.5.

System Selection

> Heat source

☒ Geothermal probes

☐ Geothermal collectors

☐ Ambient air

☐ Groundwater

> Photovoltaic system

☐ With photovoltaic system

> System

Selected system:

HP system with space heating (HPS 1, Brine/Water)

Select

Рисунок 4.5 – ТН типу «розсіл – вода»

Задаємо параметри системи опалення приміщень та обираємо тепловий насос (таблиця 4.4–4.5).

Таблиця 4.4 – Параметри системи опалення приміщень

Space Heating

> Type of heating

☒

☐

☐

Low temperature heating loop

Supply temperature:

35,0 °C

Return temperature:

28,0 °C

> Building

Heated useable area:

2 844 m²

Indoor temperature:

18,0 °C

Heating limit temperature:

12 °C

Type of input

☐ Heating load

☒ Heating output (yearly total)

☐ Heating output (monthly / kWh)

☐ Building type

☐ Annual fuel consumption

Importing data...

Lowest outside temperature:

-17,4 °C

Design temperature:

-19,9 °C

Heating output (yearly total)

189 162 kWh

Таблиця 4.5 – Вибір виробника ТН

**Heat Generator**

> Heat pump

Manufacturer: Dimplex - Glen Dimplex Deutschland GmbH Select

Product: SI 75 TU Properties

Construction type: Brine/Water Tariffs and off periods

Nominal heating power: 73,6 kW

> Monovalent/monoenergetic operation

☐ Monovalent ☒ Monoenergetic, parallel ☐ Monoenergetic, alternative ☐ Monoenergetic, partially parallel

Power of heating element: 80,0 kW

Heating element out of service above: -5,0 °C

Heat pump out of service below: --- °C

Таблиця 4.6 – Параметри горизонтального ґрунтового контуру

**Heat Source**

> Heat pump

Power input on the cold side: 58,2 kW

> Brine

Nominal output of brine pump: 7,00 W

Flow rate: 16 834 l/h

Glycol: 30 %

> Ground

Undisturbed ground temperature: 10,0 °C

> Geothermal probe

Borehole diameter: 150 mm

Construction type: Double U-Pipe

Infill: Simple grouting

> Length of the borehole heat exchanger

Spec. extraction rate: 20,0 W/m

Maximum drilling depth: 2 400 m

Required heat probe length: 2 911 m

Calculate size

Number of wells: 25 at 95,0 m

Енергетичні показники ефективності системи для ТН «розсіл – вода» представлені в таблиці 4.7

Таблиця 4.7 – Енергетичні показники ефективності системи для ТН типу розсіл – вода.

**Simulation Results**

Heat pump | Energies | Photovoltaics

> Energy generated / Year

|                                |                    |
|--------------------------------|--------------------|
| Supplied by heat pump:         | 158 257 kWh (84 %) |
| Supplied by boiler:            | --- kWh            |
| Supplied by solar system:      | --- kWh            |
| Supplied by elec. heating rod: | 30 961 kWh (16 %)  |

> Utilized energy / Year

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| Space Heating:      | 189 220 kWh (100 %) |
| Domestic hot water: | --- kWh             |

> Power consumption / Year

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| Heat pump:        | 33 185 kWh (52 %) |
| Heating element:  | 30 961 kWh (48 %) |
| Auxiliary energy: | 15 kWh (0 %)      |
| 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 / Year

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

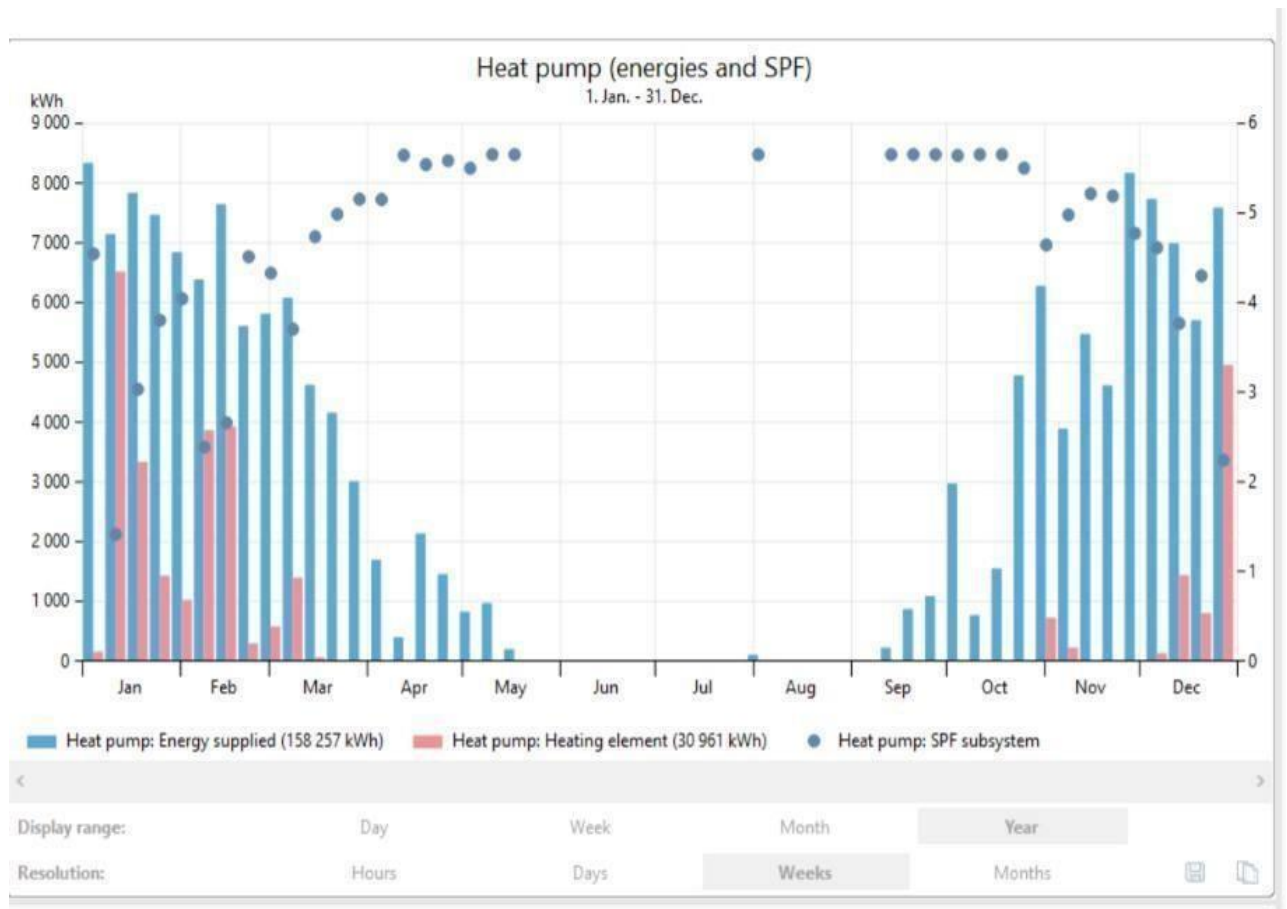


Рисунок 4.6 – Графік енергетичних показників теплового насоса

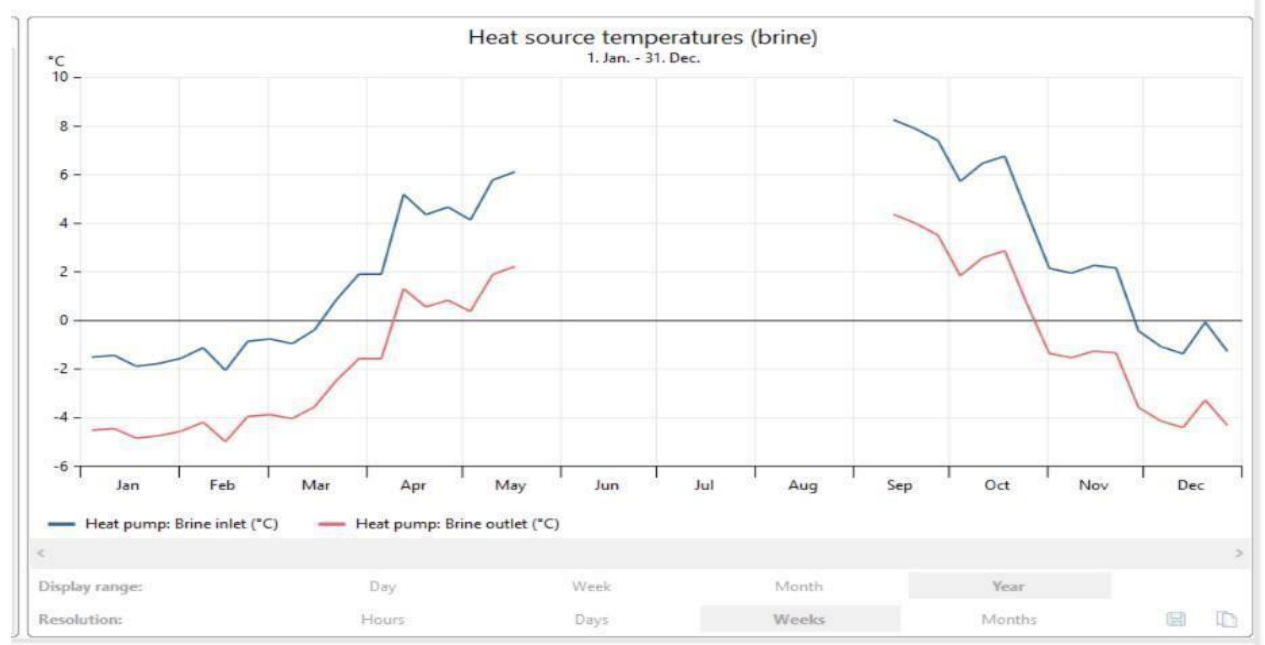


Рисунок 4.7 – Температура джерела теплоти (грунтовий контур) для теплового насоса

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

МД 25 144 01 01 ПЗ

Арк.

77

#### 4.1.2 Моделювання сонячної електростанції

Для підвищення енергоефективності системи тепlopостачання та зменшення споживання електроенергії з зовнішньої мережі було виконано моделювання сонячної фотоелектричної установки, яка допомагає забезпечити роботу теплового насоса та інженерних систем будівлі. Метою моделювання є визначення оптимальної конфігурації сонячних панелей, оцінка річного виробітку електроенергії, коефіцієнта продуктивності та економічної ефективності інтегрованої енергосистеми. Розрахунок проведено у програмному середовищі PV\*SOL(<https://pvsol.software/>).

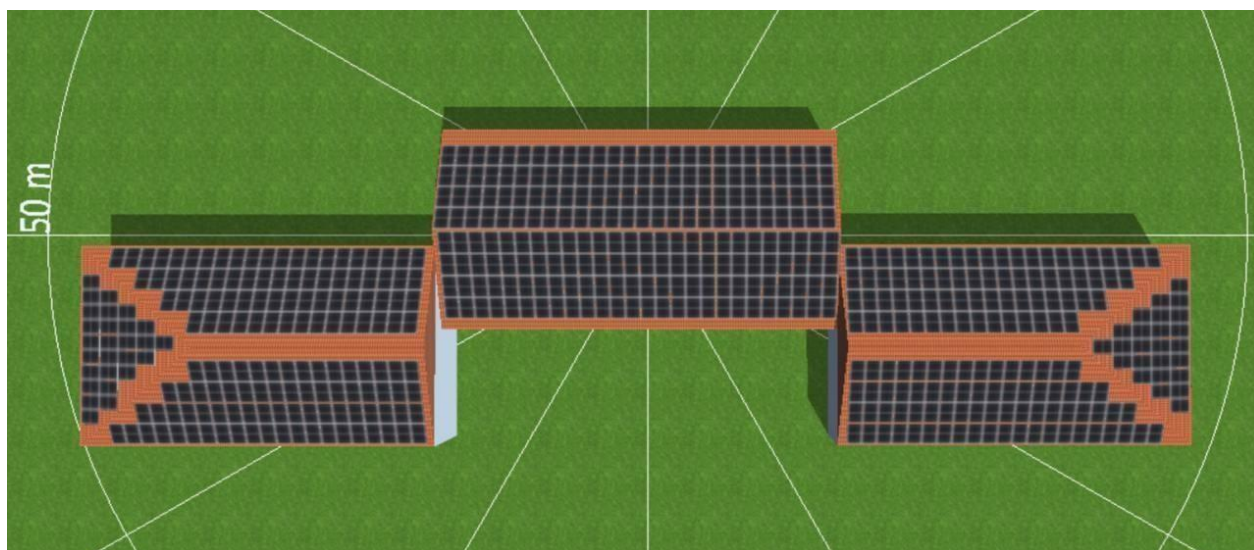


Рисунок 4.8 – Розміщення сонячних фотомодулів на даху будівлі

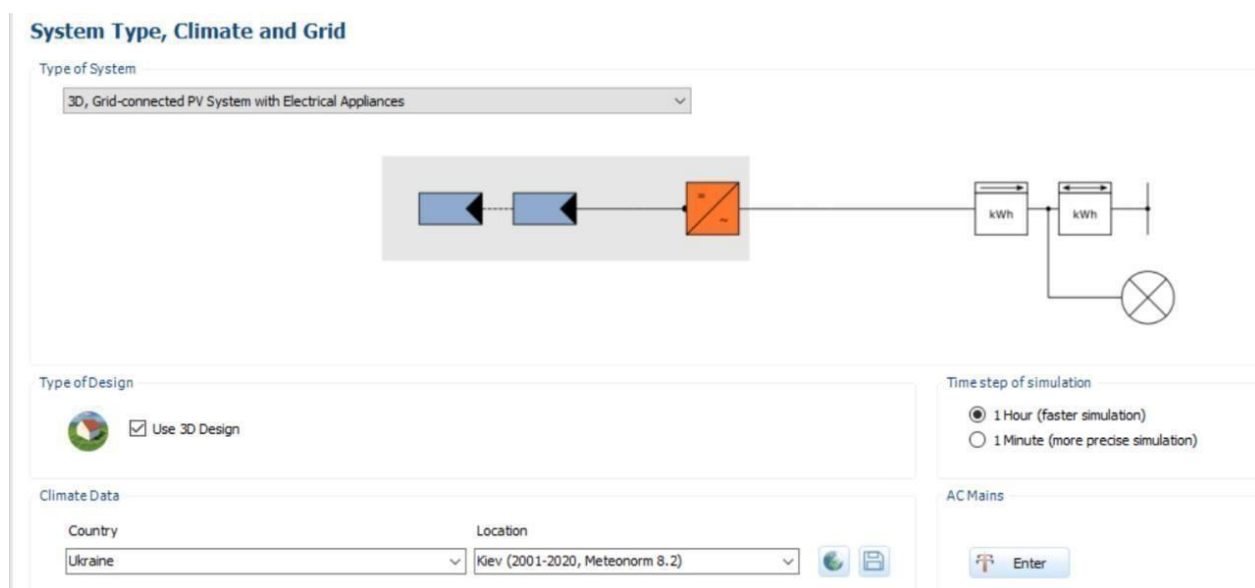


Рисунок 4.9 – Тип системи, кліматичні дані та параметри мережі змінного струму

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

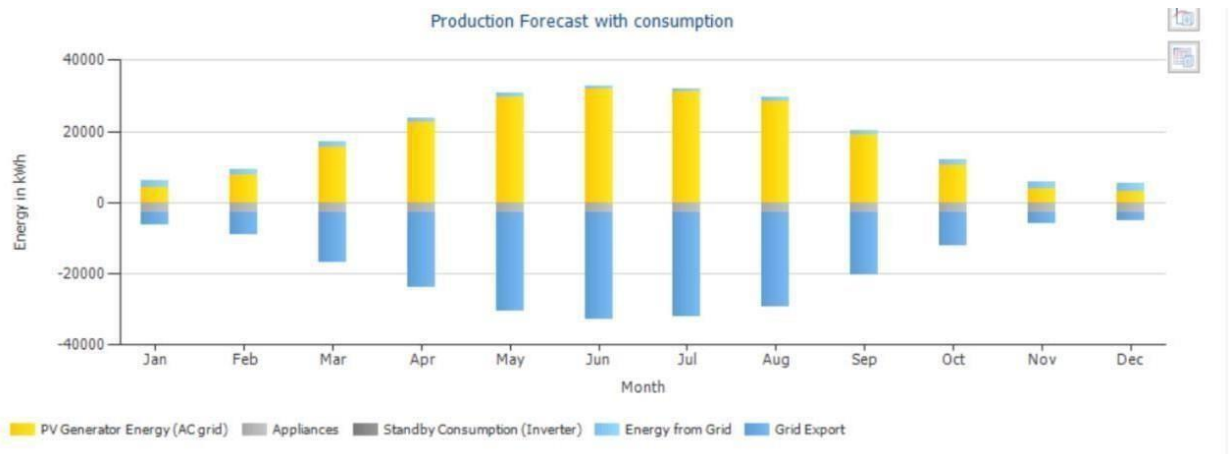
МД 25 144 01 01 ПЗ

Арк.

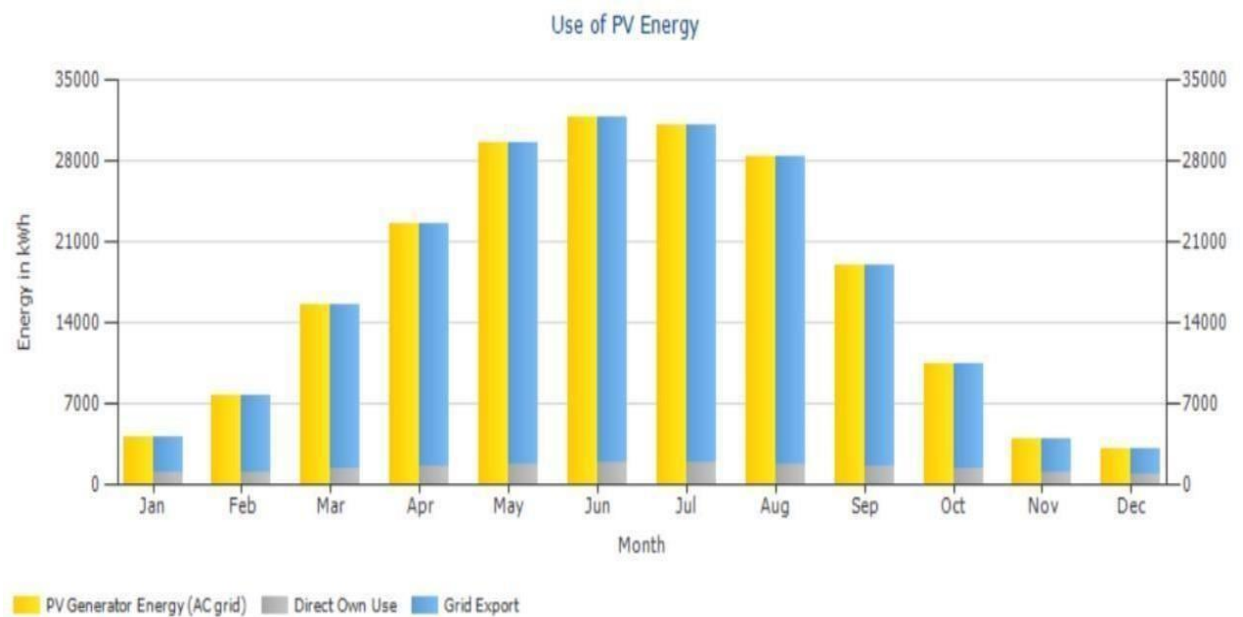
78

Таблиця 4.8 – Вибране обладнання фотоелектричної системи

| Export | Copy            |           |             |                             |                          |          |       |                                     |     |        |
|--------|-----------------|-----------|-------------|-----------------------------|--------------------------|----------|-------|-------------------------------------|-----|--------|
|        | Position number | Type      | Item number | Manufacturer                | Name                     | Quantity | Unit  | Visible                             | Pin | Delete |
| ▶      | 1               | PV Module | Edit        | JA Solar Holdings Co., Ltd. | JAM54S30-410/MR          | 548      | Piece | <input checked="" type="checkbox"/> |     |        |
|        | 2               | Inverter  | Edit        | Huawei Technologies         | SUN2000-36KTL-M3(480Vac) | 2        | Piece | <input checked="" type="checkbox"/> |     |        |
|        | 3               | Inverter  | Edit        | Huawei Technologies         | SUN2000-25K-MB0          | 4        | Piece | <input checked="" type="checkbox"/> |     |        |
|        | 4               | Inverter  | Edit        | Huawei Technologies         | SUN2000-10K-LC0          | 1        | Piece | <input checked="" type="checkbox"/> |     |        |
|        | 5               | Inverter  | Edit        | Huawei Technologies         | SUN2000-8K-MAP0          | 1        | Piece | <input checked="" type="checkbox"/> |     |        |



Гістограма 4.1 - Прогноз виробництва та споживання електроенергії фотоелектричною системою



Гістограма 4.2 - Генерація та використання електроенергії

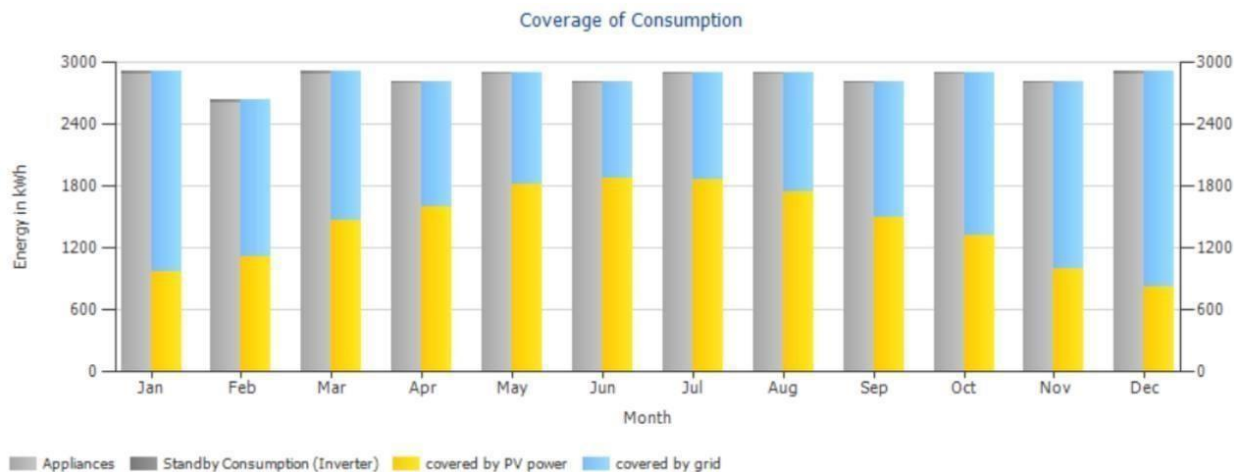
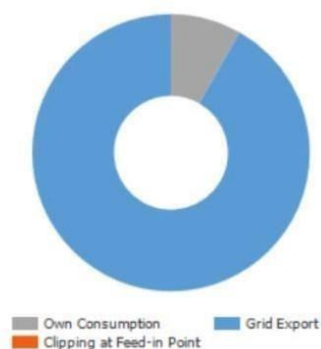


Рисунок 4.10 – Покриття потреби в електроенергії ФЕС

#### PV System

|                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| PV Generator Output               | 224,68 kWp       |
| Spec. Annual Yield                | 923,00 kWh/kWp   |
| Performance Ratio (PR)            | 87,91 %          |
| Yield Reduction due to Shading    | 1,2 %            |
| PV Generator Energy (AC grid)     | 207 565 kWh/Year |
| Own Consumption                   | 17 098 kWh/Year  |
| Clipping at Feed-in Point         | 0 kWh/Year       |
| Grid Export                       | 190 468 kWh/Year |
| Own Power Consumption             | 8,2 %            |
| CO <sub>2</sub> Emissions avoided | 78 804 kg / year |

#### PV Generator Energy (AC grid)



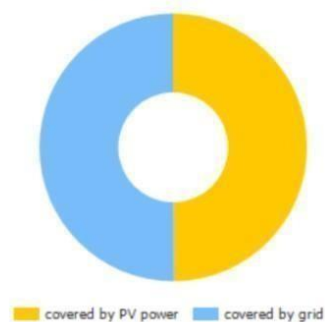
Таблиця 4.9 – Результат моделювання: генерація енергії

Таблиця 4.10 – Результат моделювання: споживання енергії

#### Appliances

|                                |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| Appliances                     | 34 086 kWh/Year |
| Standby Consumption (Inverter) | 186 kWh/Year    |
| Total Consumption              | 34 272 kWh/Year |
| covered by PV power            | 17 098 kWh/Year |
| covered by grid                | 17 174 kWh/Year |
| Solar Fraction                 | 49,9 %          |

#### Total Consumption



#### Level of Self-sufficiency

|                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| Total Consumption         | 34 272 kWh/Year |
| covered by grid           | 17 174 kWh/Year |
| Level of Self-sufficiency | 49,9 %          |

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

МД 25 144 01 01 ПЗ

Арк.

80

## Energy Flow Graph

Project: Kopruc 8

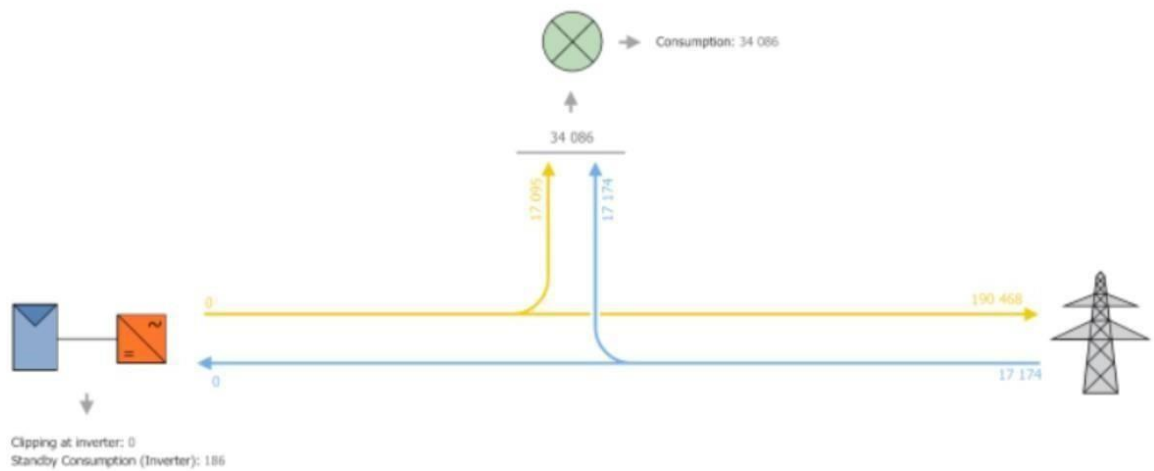


Рисунок 4.11 – Баланс споживання та генерації електроенергії

Таблиця 4.11 – Результати моделювання

### Building 01-Roof Area North

|                                               |                           |
|-----------------------------------------------|---------------------------|
| PV Generator Output                           | 42,64 kWp                 |
| PV Generator Surface                          | 203,09 m <sup>2</sup>     |
| Global Radiation at the Module                | 862,75 kWh/m <sup>2</sup> |
| Global Radiation on Module without reflection | 895,82 kWh/m <sup>2</sup> |
| Performance Ratio (PR)                        | 88,69 %                   |
| PV Generator Energy (AC grid)                 | 33886,92 kWh/Year         |
| Spec. Annual Yield                            | 794,72 kWh/kWp            |

### Building 01-Roof Area South

|                                               |                            |
|-----------------------------------------------|----------------------------|
| PV Generator Output                           | 42,64 kWp                  |
| PV Generator Surface                          | 203,09 m <sup>2</sup>      |
| Global Radiation at the Module                | 1177,47 kWh/m <sup>2</sup> |
| Global Radiation on Module without reflection | 1202,42 kWh/m <sup>2</sup> |
| Performance Ratio (PR)                        | 87,53 %                    |
| PV Generator Energy (AC grid)                 | 44888,35 kWh/Year          |
| Spec. Annual Yield                            | 1052,73 kWh/kWp            |

**Building 02-Roof Area North**

|                                               |                           |
|-----------------------------------------------|---------------------------|
| PV Generator Output                           | 29,52 kWp                 |
| PV Generator Surface                          | 140,60 m <sup>2</sup>     |
| Global Radiation at the Module                | 862,75 kWh/m <sup>2</sup> |
| Global Radiation on Module without reflection | 895,82 kWh/m <sup>2</sup> |
| Performance Ratio (PR)                        | 85,98 %                   |
| PV Generator Energy (AC grid)                 | 22741,65 kWh/Year         |
| Spec. Annual Yield                            | 770,38 kWh/kWp            |

**Building 02-Roof Area South**

|                                               |                            |
|-----------------------------------------------|----------------------------|
| PV Generator Output                           | 29,52 kWp                  |
| PV Generator Surface                          | 140,60 m <sup>2</sup>      |
| Global Radiation at the Module                | 1173,75 kWh/m <sup>2</sup> |
| Global Radiation on Module without reflection | 1198,93 kWh/m <sup>2</sup> |
| Performance Ratio (PR)                        | 89,49 %                    |
| PV Generator Energy (AC grid)                 | 31681,16 kWh/Year          |
| Spec. Annual Yield                            | 1073,21 kWh/kWp            |

**Building 02-Roof Area West**

|                                               |                            |
|-----------------------------------------------|----------------------------|
| PV Generator Output                           | 11,07 kWp                  |
| PV Generator Surface                          | 52,72 m <sup>2</sup>       |
| Global Radiation at the Module                | 1043,92 kWh/m <sup>2</sup> |
| Global Radiation on Module without reflection | 1071,67 kWh/m <sup>2</sup> |
| Performance Ratio (PR)                        | 88,21 %                    |
| PV Generator Energy (AC grid)                 | 10467,95 kWh/Year          |
| Spec. Annual Yield                            | 945,61 kWh/kWp             |

**Building 03-Roof Area North**

|                                               |                           |
|-----------------------------------------------|---------------------------|
| PV Generator Output                           | 29,52 kWp                 |
| PV Generator Surface                          | 140,60 m <sup>2</sup>     |
| Global Radiation at the Module                | 862,75 kWh/m <sup>2</sup> |
| Global Radiation on Module without reflection | 895,82 kWh/m <sup>2</sup> |
| Performance Ratio (PR)                        | 85,70 %                   |
| PV Generator Energy (AC grid)                 | 22669,13 kWh/Year         |
| Spec. Annual Yield                            | 767,92 kWh/kWp            |

**Building 03-Roof Area South**

|                                               |                            |
|-----------------------------------------------|----------------------------|
| PV Generator Output                           | 29,52 kWp                  |
| PV Generator Surface                          | 140,60 m <sup>2</sup>      |
| Global Radiation at the Module                | 1173,75 kWh/m <sup>2</sup> |
| Global Radiation on Module without reflection | 1198,93 kWh/m <sup>2</sup> |
| Performance Ratio (PR)                        | 89,49 %                    |
| PV Generator Energy (AC grid)                 | 31681,16 kWh/Year          |
| Spec. Annual Yield                            | 1073,21 kWh/kWp            |

**Building 03-Roof Area East**

|                                               |                            |
|-----------------------------------------------|----------------------------|
| PV Generator Output                           | 10,25 kWp                  |
| PV Generator Surface                          | 48,82 m <sup>2</sup>       |
| Global Radiation at the Module                | 1028,97 kWh/m <sup>2</sup> |
| Global Radiation on Module without reflection | 1056,08 kWh/m <sup>2</sup> |
| Performance Ratio (PR)                        | 88,19 %                    |
| PV Generator Energy (AC grid)                 | 9548,83 kWh/Year           |
| Spec. Annual Yield                            | 931,59 kWh/kWp             |

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 82   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 4.2 Динамічне енергетичне моделювання теплових режимів в будівлі

Для аналізу теплової поведінки будівлі та оцінки ефективності роботи системи опалення було виконано динамічне енергетичне моделювання з погодинним кроком. Такий підхід дає змогу врахувати зміну зовнішньої температури, інтенсивність сонячного випромінювання, внутрішні тепловиділення та теплову інерцію огорожувальних конструкцій, що неможливо відобразити у стаціонарних розрахунках. Основою моделювання є енергетичний баланс приміщення, який описує взаємодію тепловтрат, теплонадходжень та роботи опалювальної системи в часовій області. Модель 5R1C, реалізована в середовищі Mathcad, дозволила врахувати теплотехнічні характеристики стін, вікон, перекриттів, а також вплив зовнішніх кліматичних умов і сонячної радіації. До розрахунку було включено теплові потоки від огорожувальних конструкцій, внутрішні тепловиділення та теплове навантаження, що подається системою опалення. Це дало можливість визначити зміну внутрішньої температури будівлі та динаміку теплових потоків протягом доби та всього розрахункового періоду. Особливу увагу приділено порівнянню двох режимів роботи системи теплозабезпечення: постійного та переривчастого опалення. Оскільки ці режими мають різну теплову динаміку, моделювання дозволило оцінити їхній вплив на комфортні умови всередині приміщення та загальне енергоспоживання.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 83   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

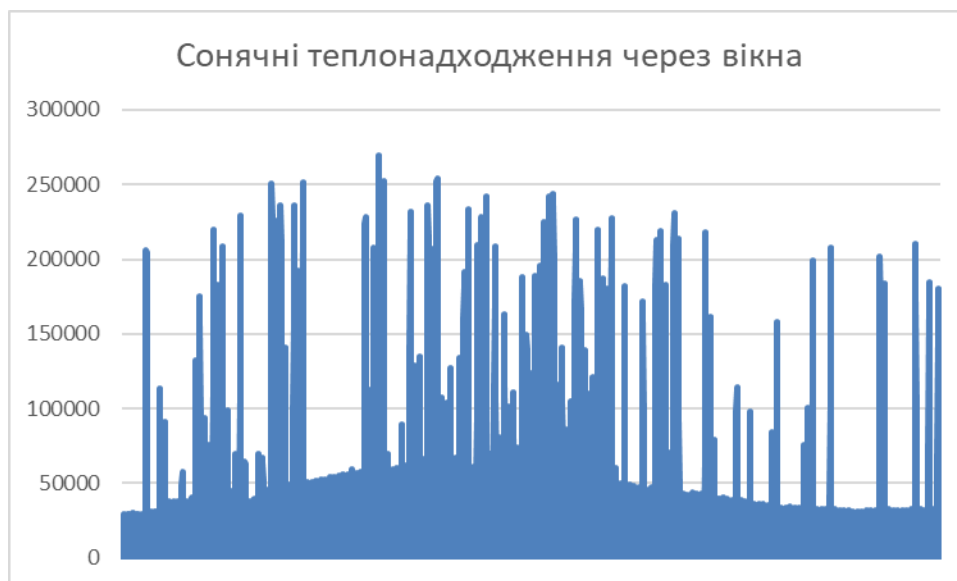


Рисунок 4.12 – Сонячні теплонадходження через вікна

Графік відображає зміну сонячних теплонадходжень через світлопрозорі конструкції протягом розрахункового періоду. Найбільші значення спостерігаються у денні години, коли інтенсивність сонячної радіації максимальна, що забезпечує додатковий тепловий приріст у приміщенні. У ранкові та вечірні години теплонадходження зменшуються, а в нічний час відсутні. Характерні пікові коливання зумовлені зміною хмарності та куту падіння сонячних променів.

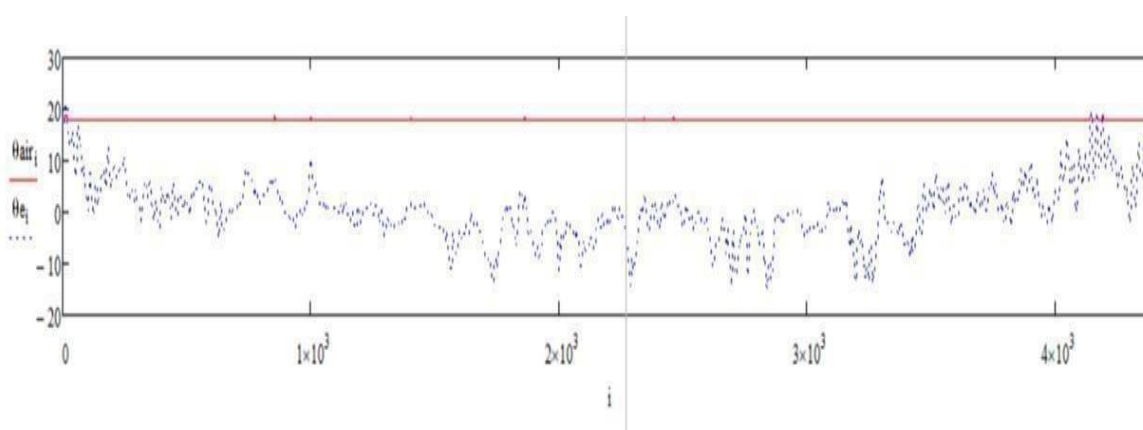


Рисунок 4.13 – Динаміка внутрішньої температури в приміщенні для постійного опалення

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

МД 25 144 01 01 ПЗ

Арк.  
84

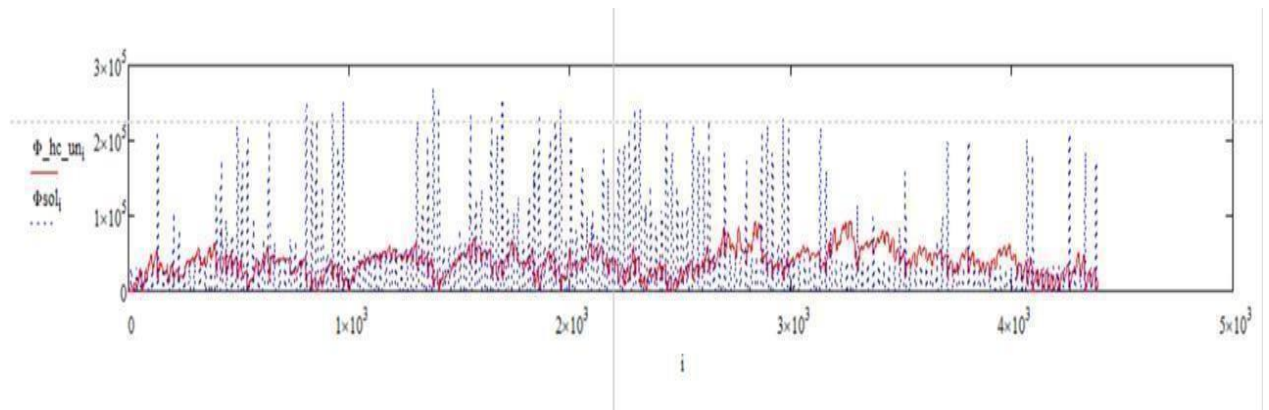


Рисунок 4.14 – Графік зміни теплових потоків для постійного опалення

Схема під'єднання теплового насоса типу «повітря–вода» до системи теплозабезпечення існуючого навчального корпусу повинна враховувати однотрубну конфігурацію внутрішньої мережі та характер теплових навантажень будівлі. Історично система працювала від елеваторного вузла центральної тепломережі з високотемпературним графіком, тому перехід на тепловий насос потребує зміни гідравлічної схеми, температурного режиму та впровадження сучасних засобів автоматизації. Основним завданням модернізації є адаптація мережі опалення до роботи з низькотемпературним джерелом тепла при збереженні комфортного мікроклімату в приміщеннях.

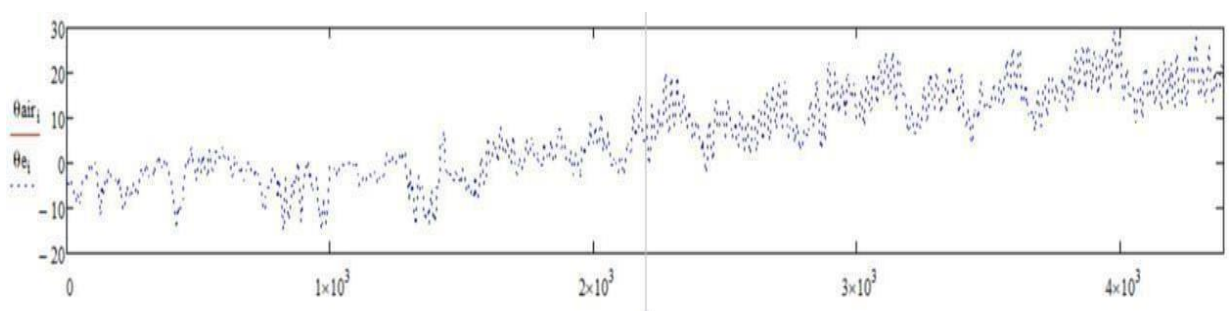


Рисунок 4.15 – Динаміка внутрішньої температури в приміщенні для переривчастого опалення

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

МД 25 144 01 01 ПЗ

Арк.

85

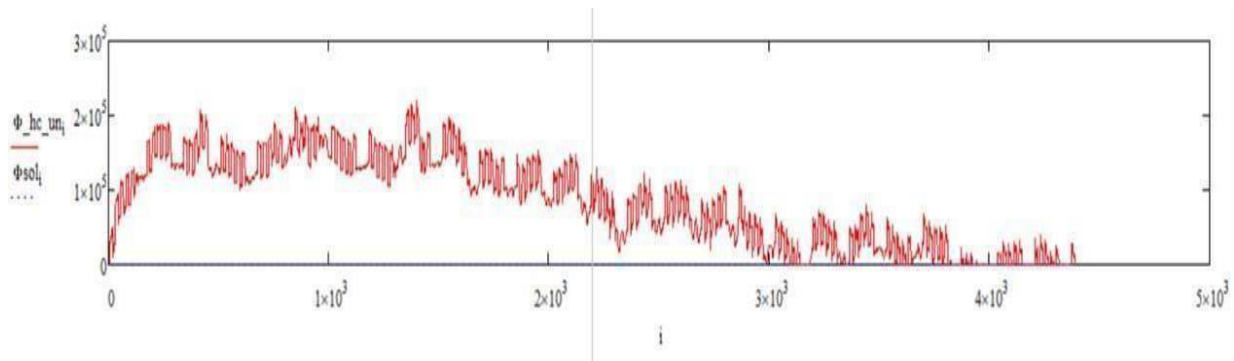


Рисунок 4.16 – Графік зміни теплових потоків для переривчастого опалення

Графік показує зміну внутрішньої температури приміщення при переривчастому опаленні. Під час пауз у роботі системи температура поступово знижується, що видно за спадними ділянками синьої кривої. Після відновлення роботи опалення температура зростає, однак для досягнення комфортного значення потрібен певний час, оскільки будівля має теплову інерцію. Такі циклічні коливання свідчать про зниження стабільності температурного режиму порівняно з постійним опаленням. Проте цей режим дозволяє скоротити загальне споживання теплової енергії.

#### 4.3 Схема під'єднання теплового насоса до системи теплозабезпечення існуючого об'єкту

У даній роботі запропоновано схему під'єднання теплового насоса типу «повітря–вода» до системи теплозабезпечення існуючого навчального корпусу з реалізацією бівалентного режиму роботи. Як основне обладнання прийнято тепловий насос повітря–вода виробництва Dimplex (Glen Dimplex Deutschland GmbH), модель LA 60 TU-2, з номінальною тепловою потужністю 72,9 кВт. Вибір даного типу теплового насоса зумовлений відсутністю необхідності у влаштуванні ґрунтових або водяних контурів, можливістю встановлення зовнішнього блоку на прилеглій території та доцільністю застосування для об'єктів із середніми тепловими навантаженнями.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 86   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Запропонована схема передбачає бівалентну роботу теплового насоса та централізованого теплопостачання. Тепловий насос забезпечує покриття основної частини теплового навантаження будівлі, тоді як централізоване теплопостачання використовується як резервне та пікове джерело теплової енергії. Такий підхід дозволяє зберегти надійність теплозабезпечення та водночас суттєво знизити споживання теплової енергії з міських теплових мереж. Зовнішній блок теплового насоса здійснює відбір низькопотенційної теплоти з атмосферного повітря, після чого тепла енергія передається до внутрішнього гідравлічного модуля. Внутрішній контур теплового насоса з'єднаний із буферною ємністю, яка є ключовим елементом запропонованої схеми. Буферна ємність виконує функції теплового акумулювання, гідравлічного розділення контурів та стабілізації роботи компресора теплового насоса. Її застосування дозволяє зменшити кількість пусків і зупинок теплового насоса, що позитивно впливає на його ресурс та енергоефективність.

Система опалення будівлі підключається до буферної ємності через окрему насосну групу, що забезпечує незалежну циркуляцію теплоносія у споживчому контурі. Така організація гідравлічної схеми дозволяє поєднати низькотемпературний режим роботи теплового насоса з існуючою системою опалення, яка спочатку була розрахована на високотемпературний графік централізованого теплопостачання. У контурі передбачено встановлення запірної, зворотної та запобіжної арматури, фільтрів, температурних і тискових датчиків, що забезпечує безпечну та надійну експлуатацію системи.

Розрахункове моделювання системи опалення виконано для низькотемпературного режиму з температурою подачі теплоносія 35 °С та температурою зворотного теплоносія 28 °С. Загальна опалювальна площа будівлі становить 2844 м², а річна потреба в тепловій енергії на опалення — близько 189 тис. кВт·год.

Кліматичні умови району будівництва характеризуються розрахунковою температурою зовнішнього повітря до –19,9 °С, що враховано при визначенні

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 87   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

режимів роботи теплового насоса та бівалентної точки системи. За результатами моделювання встановлено, що бівалентна точка системи відповідає температурі зовнішнього повітря близько  $-2,2^{\circ}\text{C}$ , при якій тепловий насос забезпечує теплову потужність на рівні приблизно 64,7 кВт. При температурах зовнішнього повітря вище даного значення теплове навантаження будівлі повністю покривається тепловим насосом. При подальшому зниженні температури зовнішнього повітря до роботи паралельно підключається резервне джерело тепла, яке компенсує дефіцит теплової потужності та забезпечує необхідні параметри теплоносія в системі опалення.

Річний енергетичний баланс системи свідчить, що тепловим насосом виробляється близько 151 тис. кВт·год теплової енергії, що становить приблизно 80 % загальної потреби на опалення будівлі. Решта теплової енергії, близько 37,6 тис. кВт·год (20 %), забезпечується резервним електричним або мережевим догрівом у пікові періоди. Загальне річне споживання електричної енергії тепловим насосом становить близько 44,1 тис. кВт·год, що підтверджує доцільність застосування даного рішення з точки зору енергоефективності.

Запропонована схема під'єднання теплового насоса до системи теплозабезпечення дозволяє суттєво зменшити споживання теплової енергії від централізованого теплопостачання, знизити експлуатаційні витрати та підвищити загальну енергоефективність будівлі. При цьому зберігається можливість надійного теплозабезпечення за рахунок резервного джерела тепла, що є особливо важливим для навчальних корпусів із безперервним режимом експлуатації.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 88   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

#### 4.4 Розрахунок енергозабезпечення теплового насосу від дахової сонячної станції.

Використання дахових фотоелектричних станцій у поєднанні з тепловими насосами розглядається як один із перспективних напрямів підвищення енергоефективності громадських будівель, зокрема навчальних корпусів, що характеризуються значним річним споживанням теплової та електричної енергії. Тепловий насос використовується для покриття основної частини теплового навантаження будівлі, тоді як централізована тепла мережа зберігає функцію резервного та пікового джерела теплової енергії. У зв'язку з цим електроспоживання теплового насосу є суттєвою складовою загального енергетичного балансу будівлі, що обґрунтовує доцільність аналізу можливості його часткового покриття за рахунок власної генерації електроенергії. Для забезпечення електроспоживання інженерних систем будівлі, зокрема теплового насосу, передбачено встановлення дахової фотоелектричної станції. За результатами програмного моделювання встановлена потужність фотоелектричного генератора становить 224,68 кВт.

Станція змонтована на покрівлях будівлі з урахуванням орієнтації та обмежень за площею, а також мінімального впливу затінення, що підтверджується розрахунковими втратами на рівні близько 1,2 %. Питомий річний виробіток електроенергії для умов міста Києва становить близько 923 кВт·год на 1 кВт встановленої потужності, що відповідає середнім кліматичним умовам регіону.

Розрахунковий річний виробіток фотоелектричної станції за змінним струмом становить 207 565 кВт·год. Коефіцієнт продуктивності (Performance Ratio) складає близько 87,9 %, що свідчить про коректний підбір обладнання та відсутність суттєвих технічних втрат у системі. Важливо відзначити, що в проєкті не передбачено акумуляторних систем зберігання електричної енергії, а робота фотоелектричної станції здійснюється в паралелі з електричною мережею загального користування. Такий підхід є типовим для громадських

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 89   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

будівель і дозволяє уникнути значного ускладнення системи та зростання капітальних витрат.

Електроспоживання теплового насосу та допоміжного обладнання системи опалення за результатами моделювання становить 34 272 кВт·год на рік, включаючи власне споживання інвертора фотоелектричної станції на рівні 186 кВт·год на рік. Таким чином, тепловий насос є найбільшим окремим споживачем електричної енергії в межах інженерних систем будівлі, що робить його логічним об'єктом для аналізу взаємодії з фотоелектричною генерацією.

За результатами розрахунку енергетичних потоків встановлено, що з річного виробітку фотоелектричної станції безпосередньо на власні потреби будівлі використовується 17 098 кВт·год електричної енергії. Решта електроенергії, у кількості 190 468 кВт·год на рік, передається в електричну мережу. Обмеження по видачі потужності у точці приєднання (clipping) відсутні, що свідчить про правильний вибір інверторного обладнання та параметрів підключення до мережі.

Частка покриття річного електроспоживання теплового насосу та допоміжних споживачів за рахунок фотоелектричної станції становить близько 49,9 %. Відповідно, приблизно така ж частка електроенергії, а саме 17 174 кВт·год на рік, споживається з електричної мережі.

Отриманий рівень самозабезпечення є характерним для об'єктів без систем акумулювання електроенергії та пояснюється часовою невідповідністю між графіками генерації фотоелектричної станції та споживанням електроенергії тепловим насосом.

Особливістю розглянутої системи є те, що максимальне електроспоживання теплового насосу припадає на опалювальний період, коли сонячна активність є обмеженою. У літній період, навпаки, фотоелектрична станція генерує значні обсяги електроенергії, проте потреба в роботі теплового насосу для опалення практично відсутня. Таким чином, навіть за

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 90   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

значної встановленої потужності фотоелектричної станції повне покриття електроспоживання теплового насосу протягом року є технічно недоцільним без застосування систем накопичення енергії або додаткових споживачів.

Для оцінки економічної доцільності часткового енергозабезпечення теплового насосу від фотоелектричної станції використано діючі тарифи для міста Києва. Вартість електричної енергії прийнята на рівні 5,38 грн за 1 кВт·год, а тариф на теплову енергію централізованого теплопостачання — 3619 грн за 1 Гкал. За рахунок використання електроенергії, виробленої фотоелектричною станцією, річна економія коштів на оплату електроенергії для роботи теплового насосу становить приблизно 92 тис. грн, що відповідає обсягу власного споживання 17 098 кВт·год на рік.

Окрім прямого економічного ефекту, використання фотоелектричної станції дозволяє зменшити навантаження на зовнішні електричні мережі та скоротити викиди парникових газів. За розрахунковими даними, річне скорочення викидів CO<sub>2</sub> становить близько 78,8 т, що є додатковим аргументом на користь впровадження відновлюваних джерел енергії в системах теплозабезпечення громадських будівель.

**4.5 Висновок до розділу 4:** У межах виконаної роботи проведено комплексне дослідження ефективності модернізації системи теплозабезпечення існуючого навчального корпусу на основі застосування динамічного енергетичного моделювання, теплового насоса та відновлюваних джерел енергії. Використання динамічної моделі 5R1C з погодинним кроком у середовищі Mathcad дало змогу коректно описати енергетичний баланс будівлі, врахувати теплову інерцію огорожувальних конструкцій, сонячні теплонадходження та особливості різних режимів роботи системи опалення, що є принципово неможливим у межах стаціонарних розрахунків. У роботі обґрунтовано технічну доцільність інтеграції теплового насоса типу «повітря–вода» Dimplex LA 60 TU-2 номінальною тепловою потужністю 72,9 кВт у систему теплозабезпечення будівлі з використанням бівалентної схеми. За результатами розрахунків встановлено, що тепловий насос забезпечує близько

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 91   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

80 % річної потреби будівлі в тепловій енергії, виробляючи приблизно 151 тис. кВт·год тепла на рік при річному споживанні електроенергії близько 44,1 тис. кВт·год, що відповідає середньому сезонному коефіцієнту перетворення SCOP  $\approx 3,4$ . Застосування бівалентної схеми дозволяє зберегти надійність теплозабезпечення та мінімізувати споживання теплової енергії від централізованих мереж. Додатково досліджено можливість часткового енергозабезпечення теплового насоса за рахунок дахової фотоелектричної станції встановленою потужністю 224,68 кВт. Річний виробіток електроенергії становить 207 565 кВт·год, з яких 17 098 кВт·год безпосередньо використовується для власних потреб будівлі, що дозволяє покрити близько 49,9 % річного електроспоживання теплового насоса. Основна частина виробленої електроенергії передається в зовнішню мережу, що є типовим для систем без акумулювання енергії. Річний економічний ефект від використання власної фотоелектричної генерації становить близько 92 тис. грн, а скорочення викидів парникових газів — близько 78,8 т CO<sub>2</sub> на рік.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 92   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## 5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Сучасні тенденції розвитку енергетичної інфраструктури закладів освіти демонструють, що класичні підходи до теплозабезпечення та енергоспоживання поступово втрачають свою ефективність у порівнянні з інтелектуальними цифровими системами керування. Теплові насоси, які впроваджуються у навчальних корпусах для зменшення залежності від централізованого теплопостачання, потребують не лише технічного встановлення, але й впровадження ефективної системи моніторингу, яка дозволяє контролювати всі параметри їхньої роботи, оптимізувати режими та досягати максимального рівня енергозбереження. Саме тому розвиток стартап-проєкту, спрямованого на створення інтегрованої платформи енергомоніторингу для теплового насоса, встановленого в навчальному корпусі №8 КПІ ім. Ігоря Сікорського, є логічним продовженням інноваційної модернізації та відповідає загальній концепції Smart-Campus.

Університетські будівлі відрізняються нерівномірним тепловим навантаженням, значною площею, складними режимами експлуатації та великою кількістю внутрішніх теплових зон. Традиційні системи керування теплопостачанням, що включають ручні регулятори, застарілі теплові пункти та відсутність локальної автоматизації, призводять до значних перевитрат енергії та неможливості оперативно реагувати на зміни зовнішніх та внутрішніх умов. Навіть встановлення сучасного теплового насоса само по собі не гарантує максимальної ефективності без належного інтелектуального контролю. Теплові насоси мають складну структуру залежностей: їхня економічність напряму пов'язана з роботою компресора, температурою зовнішнього повітря, характеристиками внутрішньої мережі, налаштуваннями автоматики та графіком роботи будівлі. Відсутність аналізу цих параметрів призводить до того, що обладнання працює не у оптимальному режимі, і значна частина потенційної економії просто втрачається.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 93   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Саме тому стартап-модель передбачає створення уніфікованої цифрової системи енергомоніторингу, яка дозволяє в реальному часі збирати, аналізувати та обробляти дані про роботу теплового насоса, передавати їх до центрального серверу університету, будувати прогнози споживання енергії та формувати рекомендації для оптимізації режимів роботи опалення та ГВП. Така система не лише підвищує ефективність теплового насоса, а й дозволяє зробити теплопостачання корпусу прозорим, контрольованим та адаптивним до потреб навчального процесу. Для КПІ, як одного з найбільших технічних університетів України, можливість створення власної цифрової енергетичної екосистеми є стратегічним кроком, що відповідає трендам європейських університетів у напрямку декарбонізації та цифровізації.

З огляду на те, що корпус №8 перейшов із елеваторної схеми теплопостачання на індивідуальний тепловий насос, виникає унікальна можливість впровадити систему локального контролю, яка буде орієнтована на роботу саме цього обладнання, враховуючи специфіку однотрубною системи опалення, параметри будівлі та сезонні зміни навантажень. Енергомоніторинг дозволяє автоматично фіксувати температуру подачі та звороту, потужність компресора, споживання електричної енергії, частоту обертання насосів, параметри ГВП, роботу триходового клапана, кількість циклів розморожування, а також реальний коефіцієнт перетворення COP у динамічних умовах.

Ці дані є критичними для оцінки ефективності теплового насоса та дають можливість прогнозувати витрати електричної енергії залежно від температури зовнішнього повітря, що є важливим для планування бюджету факультету та аналізу економічної доцільності. Платформа енергомоніторингу, як стартап-проект, має включати декілька функціональних рівнів. Перший рівень — це рівень збору даних.

Він передбачає встановлення датчиків температури, тиску, витратомірів, електричних лічильників та інтеграцію їх з контролером теплового насоса. Датчики дозволяють у реальному часі фіксувати основні

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 94   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

показники роботи системи. Інформація зчитується з частотою від 1 до 60 секунд та передається у центральну базу даних. Спеціальні енергетичні лічильники дозволяють вимірювати активну та реактивну потужність, що забезпечує точний аналіз електричного навантаження насоса та оцінку його продуктивності відповідно до динаміки роботи компресора.

Другий рівень — це рівень обробки даних. Він передбачає створення математичної моделі роботи теплового насоса, яка дозволяє порівнювати фактичні показники з теоретичними та визначати відхилення. За допомогою алгоритмів машинного навчання система може прогнозувати роботу теплового насоса на найближчі години або дні, враховуючи температуру зовнішнього повітря, теплове навантаження корпусу та графік роботи будівлі.

У разі виявлення аномалій, наприклад, раптового збільшення електроспоживання або зниження ефективності, система автоматично надсилає попередження відповідальним особам. Таке рішення дозволяє проводити превентивне технічне обслуговування, що зменшує ризик аварій та подовжує строк служби обладнання.

Третій рівень — це рівень візуалізації та управління. Інтерфейс користувача може бути реалізований у вигляді веб-панелі, до якої мають доступ технічні служби КПП, представники енергоменеджменту та керівництво факультету. Панель відображає основні показники роботи системи у зрозумілому графічному вигляді: графіки температур, діаграми споживання енергії, середньодобові COP, історію роботи компресора та насосів, статус роботи ГВП.

Для користувачів, які мають розширені права доступу, передбачена можливість змінювати налаштування температурної кривої, керувати режимами роботи системи, встановлювати обмеження по потужності у години пікових тарифів тощо. Таким чином, платформа не просто інформує, а й дозволяє керувати системою на основі даних у режимі реального часу. Запровадження стартап-проєкту енергомоніторингу має низку стратегічних переваг для КПП.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 95   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

По-перше, він дозволяє оптимізувати роботу теплового насоса та зменшити витрати електричної енергії на 10–20% завдяки належному регулюванню температурних графіків, виявленню аномалій та уникненню надмірних циклів роботи компресора. По-друге, забезпечується прозорість енергоспоживання корпусу, що дає можливість планувати бюджет та оцінювати економічний ефект від модернізації. По-третє, платформа може бути масштабована на інші корпуси університету, створюючи єдину систему енергетичного контролю, яка дозволить аналізувати ефективність усіх джерел тепла в рамках Smart-Campus. По-четверте, студенти та викладачі теплоенергетичного факультету можуть використовувати зібрані дані для наукових досліджень, лабораторних робіт, дипломних та магістерських проєктів, що підвищує наукову та освітню цінність університетської інфраструктури.

Стартап-модель може працювати на основі підписки або ліцензії для навчальних закладів, з оплатою за кількість підключених корпусів або точок моніторингу. Завдяки тому, що система ґрунтується на універсальних протоколах обміну даними (Modbus, BACnet, MQTT), її впровадження не потребує заміни всього обладнання — достатньо інтегрувати програмне забезпечення з існуючими контролерами або встановити недорогі додаткові модулі.

Це робить стартап економічно привабливим для університетів України, де модернізація інженерних мереж зазвичай обмежена бюджетами. Економічні розрахунки свідчать, що впровадження системи енергомоніторингу може окупитися за 1–2 роки лише за рахунок оптимізації роботи теплового насоса. Якщо врахувати потенційну можливість зменшення кількості аварійних зупинок, оптимізацію обслуговування та продовження ресурсу обладнання, реальний економічний ефект може бути ще більшим. Крім того, наявність платформи моніторингу дозволяє автоматично формувати енергетичні звіти, які необхідні університету для подання до державних органів, міжнародних фондів та проєктів енергоефективності.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 96   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Це відкриває можливість залучення грантових коштів та участі в програмах модернізації. Окремої уваги заслуговує можливість використання цифрової моделі корпусу для прогнозування теплових навантажень та моделювання різних режимів опалення. На основі даних з енергомоніторингу можна побудувати термодинамічну модель теплової поведінки будівлі, що дозволить аналізувати вплив утеплення, заміни вікон, змін у графіку роботи корпусу, встановлення сонячних колекторів або інших джерел тепла.

Така функція робить стартап не лише інструментом енергомоніторингу, а й платформою для інженерного аналізу та оптимізації енергетичної системи будівлі.

У перспективі стартап може бути масштабований для цілого університетського містечка, формуючи віртуальну енергетичну станцію, що координує роботу десятків джерел тепла та здійснює централізований контроль енергетичного балансу. Це дозволяє створити єдиний цифровий шар управління енергетикою університету, що є важливим елементом сучасних моделей Smart-Grid та Smart-Campus, застосовуваних у провідних закладах освіти світу. У результаті КПП може стати одним з перших українських університетів, який впровадить цифрову теплову інфраструктуру на основі теплових насосів та систем енергомоніторингу, що суттєво підвищить його конкурентоздатність і науково-технічний потенціал.

**Висновок до розділу 5:** Розроблений стартап-проект енергомоніторингу для теплового насоса навчального корпусу №8 КПП ім. Ігоря Сікорського є важливим етапом у модернізації системи теплопостачання та впровадженні концепції Smart-Campus. Аналіз показує, що навіть сучасні теплові насоси не забезпечують максимальної ефективності без інтелектуальної системи контролю, здатної відстежувати роботу обладнання, аналізувати режими та оптимізувати споживання енергії. Запропонована цифрова платформа передбачає три рівні: збір даних, їхню аналітичну обробку та візуалізацію для

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 97   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

користувачів. Такий підхід дає змогу фіксувати ключові параметри роботи теплового насоса, прогнозувати теплові навантаження та своєчасно виявляти відхилення. Це дозволяє підвищити ефективність роботи обладнання на 10–20 %, скоротити витрати електроенергії, зменшити кількість аварійних зупинок та покращити планування бюджету. Важливо, що система легко масштабується на інші корпуси університету, формуючи єдиний цифровий енергетичний простір. Вона також відкриває широкі можливості для наукових досліджень і освітніх цілей, забезпечуючи доступ до реальних енергетичних даних.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 98   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ МОНТАЖІ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ**

Охорона праці (ОП) — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини у процесі трудової діяльності. Забезпечення безпечних умов праці є безумовним пріоритетом при виконанні монтажних та пусконаладжувальних робіт, оскільки життя і здоров'я працівників мають перевагу над виробничими завданнями та економічними показниками.

Забезпечення охорони праці при виконанні монтажних робіт регламентується чинним законодавством України, зокрема Законом України «Про охорону праці», державними будівельними нормами (ДБН), державними стандартами України (ДСТУ), а також нормативно-правовими актами з охорони праці (НПАОП). Усі роботи з монтажу теплових насосів повинні виконуватись відповідно до вимог безпеки, встановлених для робіт підвищеної небезпеки, з урахуванням специфіки електротехнічного та холодильного обладнання.

У даній магістерській дисертації розглядається монтаж теплового насоса типу «повітря–вода» для системи теплотаплення навчального корпусу № 8 КПІ ім. Ігоря Сікорського, розташованого у місті Київ. Роботи з монтажу теплових насосів належать до категорії робіт підвищеної небезпеки, оскільки поєднують у собі електротехнічні ризики, роботи з обладнанням під тиском, такелажні операції з переміщенням важкого обладнання, а також експлуатацію електрообладнання значної потужності. У зв'язку з цим у розділі приділено особливу увагу питанням електробезпеки, механічної безпеки, пожежної безпеки та діям персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій, з урахуванням умов воєнного стану.

Відповідно до вимог ДСТУ EN 378 «Холодильні системи та теплові насоси. Вимоги безпеки та охорони довкілля», під час монтажу та експлуатації теплових насосів необхідно враховувати ризики, пов'язані з використанням холодоагентів, роботою обладнання під тиском і можливістю аварійного витоку робочого тіла.

## 6.1 Загальна характеристика об'єкта об'єкта та параметри роботи теплового насоса

Навчальний корпус № 8 КПІ ім. Ігоря Сікорського є громадською будівлею навчального призначення з централізованою системою теплопостачання, що експлуатується протягом тривалого часу. Будівля має розвинену систему внутрішніх інженерних мереж та значну опалювальну площу, що обумовлює високі вимоги до надійності та безпеки джерел теплозабезпечення.

З огляду на громадське призначення будівлі та постійне перебування в ній значної кількості людей, до систем теплозабезпечення висуваються підвищені вимоги щодо безперервності роботи, експлуатаційної надійності та безпеки відповідно до ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівель і споруд».

Для покриття потреб опалення будівлі передбачається використання теплового насоса типу «повітря–вода», інтегрованого в існуючу систему теплозабезпечення через індивідуальний тепловий пункт. Тепловий насос працює виключно на потреби опалення, без приготування гарячої води, у бівалентному режимі з використанням електричного догріву в періоди пікових навантажень.

Розрахункова опалювальна площа будівлі становить 2844 м<sup>2</sup>. За результатами енергетичного моделювання річна потреба теплової енергії на опалення становить 189 040 кВт·год, що повністю використовується на потреби просторового опалення.

Таблиця 6.1 – Узагальнені розрахункові параметри роботи системи

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| Опалювальна площа будівлі      | 2 844 м <sup>2</sup> |
| Річна потреба теплової енергії | 189 040 кВт·год      |
| Режим роботи теплового насоса  | Бівалентний          |
| Основне призначення            | Опалення             |

Інтеграція теплового насоса через індивідуальний тепловий пункт забезпечує можливість централізованого контролю параметрів роботи обладнання, автоматичного регулювання режимів та підвищення загального рівня експлуатаційної безпеки.

## 6.2 Річний енергетичний баланс та навантаження на обладнання

Згідно з результатами моделювання, основним джерелом теплоти для системи опалення є тепловий насос, який забезпечує 151 443 кВт·год, що відповідає 80 % річного теплового навантаження будівлі. Решта 20 % або 37 595 кВт·год покривається електричним догрівом, який використовується у періоди максимального навантаження на систему.

Такий розподіл теплової потужності дозволяє зменшити навантаження на основне обладнання, підвищити надійність роботи системи та забезпечити стабільність теплозабезпечення будівлі.

Таблиця 6.2 – Річний розподіл виробленої теплової енергії

| Джерело теплоти    | Теплова енергія, кВт·год | Частка, % |
|--------------------|--------------------------|-----------|
| Тепловий насос     | 151 443                  | 80        |
| Електричний догрів | 37 595                   | 20        |

Бівалентний режим роботи системи опалення є доцільним для громадських будівель, оскільки сприяє зниженню експлуатаційних ризиків, пов'язаних з перевантаженням основного обладнання, та відповідає принципам надійного енергозабезпечення.

## 6.3 Електробезпека та електричні навантаження

Експлуатація теплового насоса супроводжується значними електричними навантаженнями, що потребує підвищеної уваги до питань електробезпеки під час

монтажу та пусконаладжувальних робіт. Загальне річне споживання електричної енергії системою опалення становить 81 686 кВт·год.

Безпосередньо тепловим насосом споживається 44 091 кВт·год, що відповідає 54 % загального електроспоживання, тоді як 46 % або 37 595 кВт·год припадає на електричний нагрівальний елемент.

Питання електробезпеки регламентуються вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), НПАОП 40.1-1.21-98 та ДСТУ EN 60204-1 «Безпека машин. Електрообладнання машин». Усі електромонтажні роботи повинні виконуватись персоналом, який має відповідну групу з електробезпеки.

Таблиця 6.3 – Річне споживання електричної енергії системою опалення

| Споживач           | Електроенергія, кВт·год |
|--------------------|-------------------------|
| Тепловий насос     | 44 091                  |
| Електричний догрів | 37 595                  |
| Разом              | 81 686                  |

Під час монтажу необхідно враховувати можливість одночасної роботи компресорного обладнання та електричного догріву, що призводить до пікових електричних навантажень. Це обумовлює необхідність застосування захисного заземлення, автоматичних вимикачів відповідного номіналу, а також обмеження доступу сторонніх осіб до електротехнічного обладнання.

Перед введенням системи в експлуатацію повинні бути виконані перевірки опору ізоляції, справності захисного заземлення та коректності роботи автоматичних систем захисту.

#### 6.4 Охорона праці при монтажі обладнання та роботі з холодильним контуром

Монтаж теплового насоса включає виконання такелажних робіт, прокладання трубопроводів та підключення електрообладнання. Маса окремих

елементів системи може перевищувати 500–700 кг, що потребує застосування вантажопідіймальної техніки та дотримання вимог безпеки при переміщенні вантажів.

Особливу небезпеку становлять роботи з холодильним контуром, оскільки холодоагент перебуває під високим тиском. У разі порушення герметичності можливий витік холодоагенту, що негативно впливає на стан здоров'я персоналу.

Роботи з холодильним контуром повинні виконуватись відповідно до вимог ДСТУ EN 378 із застосуванням сертифікованого інструменту та засобів індивідуального захисту, зокрема захисних окулярів, рукавиць і спецодягу. Особливу увагу слід приділяти екологічній безпеці холодоагентів та запобіганню їх неконтрольованому витоку.

## **6.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Безпека в надзвичайних ситуаціях передбачає комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на захист персоналу у разі пожежі, аварійного відключення електроживлення, витоку холодоагенту або дії факторів воєнного характеру.

На об'єкті повинні бути розроблені та затверджені інструкції з дій персоналу в разі виникнення аварійних ситуацій, а працівники повинні проходити регулярні інструктажі та навчання з охорони праці.

Для забезпечення пожежної безпеки на робочих місцях повинні бути наявні первинні засоби пожежогасіння, а електрообладнання повинно відповідати вимогам чинних нормативних документів. У разі виникнення аварійної ситуації всі роботи негайно припиняються, обладнання відключається від електроживлення, а персонал залишає небезпечну зону.

У період дії воєнного стану всі роботи повинні бути припинені під час сигналу «Повітряна тривога», а персонал зобов'язаний прямувати до найближчого укриття відповідно до встановленого маршруту евакуації.

**6.6 Висновки до розділу 6:** Монтаж теплового насоса у навчальному корпусі № 8 КПІ ім. Ігоря Сікорського належить до робіт підвищеної небезпеки та потребує суворого дотримання вимог охорони праці. У розділі враховано особливості роботи системи опалення з річною потребою теплової енергії 189 040 кВт·год, електричним споживанням 81 686 кВт·год та бівалентним режимом роботи теплового насоса.

Дотримання вимог чинних нормативних документів України та гармонізованих європейських стандартів забезпечує зниження виробничих ризиків, підвищення надійності експлуатації системи та створює безпечні умови впровадження теплових насосів у навчальних будівлях.

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 104  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації виконано комплексне дослідження ефективності застосування теплових насосів у системах централізованого теплопостачання на прикладі навчального корпусу №8 КПІ ім. Ігоря Сікорського з використанням сучасних методів енергетичного аналізу, динамічного моделювання та інженерного проєктування.

На першому етапі роботи виконано аналіз фактичного споживання енергоресурсів навчальним корпусом за 2019–2021 роки. Отримані середні значення споживання енергоресурсів сформували достовірну базу для розрахунків теплового балансу та подальшого моделювання.

Оцінка рівня енергоефективності будівлі відповідно до вимог Наказу №261 та ДСТУ 9190:2022 показала, що навчальний корпус №8 має клас енергоефективності F, що свідчить про значні тепловтрати та неефективну роботу систем теплозабезпечення. На основі проведеного аналізу розроблено технічні рішення з модернізації системи теплопостачання, ключовим елементом яких є впровадження індивідуального теплового пункту з сучасним теплообмінним обладнанням, частотно-регульованими насосами, погодозалежною автоматикою, балансувальною арматурою та засобами комерційного обліку. Реалізація запропонованих заходів дозволила зменшити питоме енергоспоживання, стабілізувати температурний режим приміщень та підвищити керованість системи теплозабезпечення. За результатами розрахунків підтверджено перехід будівлі з класу енергоефективності F до класу D, що свідчить про ефективність технічної реконструкції.

Важливою складовою роботи стало застосування динамічного енергетичного моделювання. Використання моделі 5R1C з погодинним кроком у середовищі Mathcad дало змогу врахувати теплову інерцію огорожувальних конструкцій, змінність зовнішніх кліматичних умов, сонячні теплонадходження та різні режими роботи систем опалення.

|     |      |          |        |      |                    |             |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|-------------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк.<br>105 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |             |

У межах спеціального питання обґрунтовано доцільність інтеграції теплового насоса типу «повітря–вода» Dimplex LA 60 TU-2 у систему теплозабезпечення будівлі за бівалентною схемою. Результати розрахунків показали, що тепловий насос забезпечує близько 80 % річної потреби будівлі в тепловій енергії при середньому сезонному коефіцієнті перетворення  $SCOP \approx 3,4$ . Застосування бівалентної схеми дозволяє поєднати переваги відновлюваних джерел енергії з надійністю централізованого теплопостачання та знизити залежність будівлі від традиційних енергоносіїв.

Додатково досліджено можливість часткового електрозабезпечення теплового насоса за рахунок дахової фотоелектричної станції встановленою потужністю 224,68 кВт. Моделювання у програмному середовищі PV\*SOL показало, що близько 49,9 % річного електроспоживання теплового насоса може бути покрито за рахунок власної сонячної генерації. Економічна оцінка запропонованих технічних рішень підтвердила їхню доцільність: річне зниження витрат на теплову енергію становить близько 14 %, а розрахунковий термін окупності проєкту — близько 3,2 року.

Окрему увагу в роботі приділено розробленню стартап-проєкту цифрового енергомоніторингу теплового насоса як складової концепції Smart-Campus. Запропонована багаторівнева система збору, аналізу та візуалізації енергетичних даних забезпечує підвищення ефективності роботи обладнання, зменшення кількості аварійних ситуацій та створює основу для впровадження систем енергетичного менеджменту.

У розділі з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях визначено основні ризики, пов'язані з монтажем та експлуатацією теплового насоса, і обґрунтовано заходи щодо їх мінімізації. Дотримання вимог чинних нормативних документів України та гармонізованих європейських стандартів забезпечує безпечну експлуатацію системи та зниження виробничих ризиків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2011. Будівельна кліматологія. — Чинний від 01.11.2011. — Київ: Мінрегіон України, 2011.
- 2 ДДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. — Чинні від 01.09.2022. — Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2021.
- 3 ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. — Чинний від 01.01.2023. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
- 4 Valentin Software GmbH. PV\*SOL Premium. User Manual [Electronic resource]. — Germany: Valentin Software GmbH. — Available at: <https://www.valentin-software.com> (accessed: 2025).
- 5 Valentin Software GmbH. GeoTSOL Basic. User Manual [Electronic resource]. — Germany: Valentin Software GmbH. — Available at: <https://www.valentin-software.com> (accessed: 2025).
- 6 PTC Inc. Complete Beginner's Guide to PTC Mathcad [Electronic resource]. — USA: PTC Inc. — Available at: <https://www.ptc.com> (accessed: 2025).
- 7 Шовкалюк М. М., Білоус І. Ю., Яценко О. І. Методи аналізу енергоефективності будівель: курсова робота [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика». — Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 80 с.
- 8 ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. — Чинні від 01.01.2014. — Київ: Мінрегіон України, 2013.
- 9 ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. — Чинні від 01.01.2014. — Київ: Мінрегіон України, 2013.
- 10 ДСТУ EN 14336:2019. Системи опалення в будівлях. Монтаж та введення в експлуатацію. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
- 11 ДСТУ EN 14825:2014. Кондиціонери повітря, чилери та теплові насоси. Визначення сезонної ефективності (SCOP, SEER). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2014. . ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use. — Geneva: International Organization for Standardization, 2018.
- 12 ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use. — Geneva: International Organization for Standardization, 2018.
- 13 EN IEC 61724. Photovoltaic system performance — Guidelines for measurement, data exchange and analysis. — IEC, International Electrotechnical Commission.

- 14 Закон України «Про охорону праці». — Відомості Верховної Ради України. — Чинна редакція.
- 15 НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. — Київ: МВС України, 2014..

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 108  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## Додаток А

### 1. Річне споживання енергоносіїв

Навчальний корпус №8 використовує для власних потреб електричну енергію, теплову енергію та воду. Раціональне використання енергетичних ресурсів дає можливість користувачам навчального корпусу, котрі є студенти вчителі та інші працівники комфортно та продуктивно користуватися навчальним корпусом. За наявності даних по споживанню енергетичних ресурсів можна порівняти їх витрати та поставити пріоритет по заходам з енергозбереження.

### 2. Річне споживання електричної енергії

Дані про споживання електроенергії за 2019-2021 роки наведені в таблиці 2.1 та зображені на графіку рисунку 2.1.

Таблиця 2.1 – Річне споживання електричної енергії за 2019-2021 рр.

| №  | Місяць        | 2019    |          | 2020    |          | 2021    |       |
|----|---------------|---------|----------|---------|----------|---------|-------|
|    |               | кВт·год | грн      | кВт·год | грн      | кВт·год | грн   |
| 1  | Січень        | 5800    | 13764,44 | 3958    | 9083,94  | 2008    | 4810  |
| 2  | Лютий         | 3800    | 9018,08  | 2895    | 6644,27  | 2740    | 6793  |
| 3  | Березень      | 2760    | 6549,98  | 2696    | 6187,55  | 1768    | 4383  |
| 4  | Квітень       | 3800    | 9027,98  | 1516    | 2768,66  | 2852    | 7070  |
| 5  | Травень       | 2360    | 5606,85  | 1328    | 2425,32  | 2112    | 5432  |
| 6  | Червень       | 2160    | 5131,69  | 1996    | 3645,28  | 1717    | 4416  |
| 7  | Липень        | 1760    | 4647,92  | 1554    | 3092,77  | 1772    | 4557  |
| 8  | Серпень       | 1528    | 3855,64  | 1495    | 3131,98  | 2209    | 5832  |
| 9  | Вересень      | 2466    | 5643,7   | 2090    | 4378,49  | 2273    | 6685  |
| 10 | Жовтень       | 4081    | 9381,32  | 2134    | 4558,38  | 3933    | 12325 |
| 11 | Листопад      | 5069    | 11652,52 | 3928    | 8739,25  | 4753    | 14895 |
| 12 | Грудень       | 5800    | 8707,78  | 2868    | 6630,52  | 4280    | 13412 |
| Σ  | <b>Всього</b> | 41384   | 92987,9  | 28458   | 61286,41 | 32417   | 90610 |

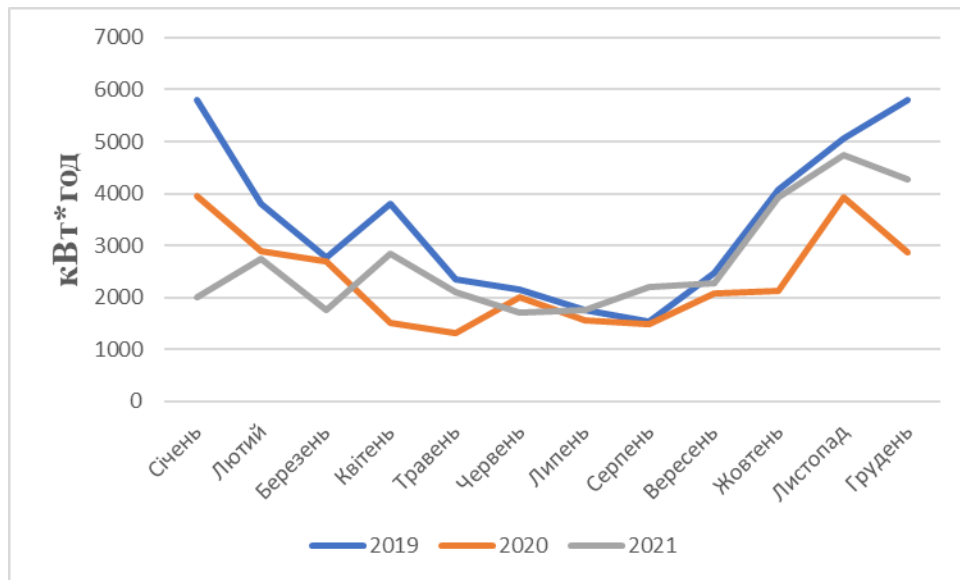


Рисунок 2.1 – Графік споживання електричної енергії

Навчальний корпус споживає електричну енергію для потреб роботи системи освітлення, функціонування лабораторій та офісної техніки. Бачимо що через різні погодні умови споживання електроенергії змінюються по місяцях. Якщо порівнювати 2019, 2020 та 2021 бачимо що найбільше споживання електроенергії було в 2019 році. Причиною спаду споживання електричної енергії може бути коронавірусна інфекція яка повідомила про себе у кінці 2019 року. У 2020 році у студентів був перший досвід навчання в змішаному та дистанційному форматі, тому навчальний корпус не використовувався як зазвичай.

### 3. Споживання теплової енергії

Дані про споживання теплової енергії за 2019-2021 роки наведені в таблиці 3.1 та зображені на графіку рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 – Річне споживання теплової енергії за 2019-2021 рр.

| №        | Місяць        | 2019          |                  | 2020          |               | 2021          |                  |
|----------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
|          |               | Гкал          | грн              | Гкал          | грн           | Гкал          | грн              |
| 1        | Січень        | 46,54         | 85148,05         | 32,41         | 49617,54      | 37,42         | 57054,98         |
| 2        | Лютий         | 28,71         | 52329,97         | 41,91         | 58807,22      | 41,26         | 66748,78         |
| 3        | Березень      | 25,7          | 46827,33         | 32,25         | 45251         | 38,03         | 61531,33         |
| 4        | Квітень       | 6,34          | 11560,2          | 0             | 0             | 0             | 0                |
| 5        | Травень       | 0             | 0                | 0             | 0             | 0             | 0                |
| 6        | Червень       | 0             | 0                | 0             | 0             | 0             | 0                |
| 7        | Липень        | 0             | 0                | 0             | 0             | 0             | 0                |
| 8        | Серпень       | 0             | 0                | 0             | 0             | 0             | 0                |
| 9        | Вересень      | 0             | 0                | 0             | 0             | 0             | 0                |
|          | Жовтень       | 0             | 0                | 0             | 0             | 0             | 0                |
|          | Листопад      | 18,94         | 34523,41         | 11,54         | 15656,64      | 0,29          | 721,65           |
|          | Грудень       | 36,42         | 53094,18         | 31,73         | 43060,6       | 7,03          | 17211,65         |
| <b>Σ</b> | <b>Всього</b> | <b>162,65</b> | <b>283483,14</b> | <b>149,84</b> | <b>212393</b> | <b>124,03</b> | <b>203268,39</b> |

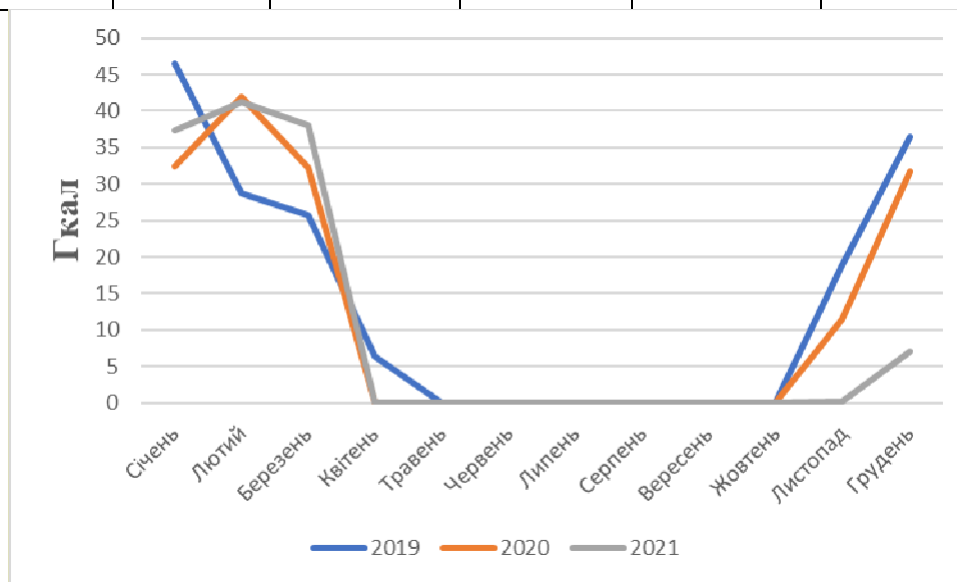


Рисунок 3.1 – Графік споживання теплової енергії

Навчальний корпус №8 використовує теплову енергію для потреб опалення. Як видно з рисунку 1.3, найбільше споживання теплової енергії взимку. Опалювальний період починався з листопада и тривав приблизно до квітня. Спад споживання теплової енергії на 8% в 2020, та на 24% в 2021 порівняно з 2019 роком можна пояснити змішаним навчання. Пікове споживання припало на січень у 2019, лютий у 2020 та 2021 роках.

#### 4. Споживання водопостачання

Дані про споживання водопостачання за 2019-2021 роки наведені в таблиці 4.1 та зображені на діаграмі рисунку 4.1.

Таблиця 4.1 – Річне споживання води за 2019-2021 рр.

| Рік  | ХВП  |        | ГВП  |         |
|------|------|--------|------|---------|
|      | м3   | грн    | м3   | грн     |
| 2019 | 4040 | 73 690 | 1410 | 117 170 |
| 2020 | 3437 | 71 520 | 1093 | 99 460  |
| 2021 | 2431 | 54 180 | 908  | 88 890  |

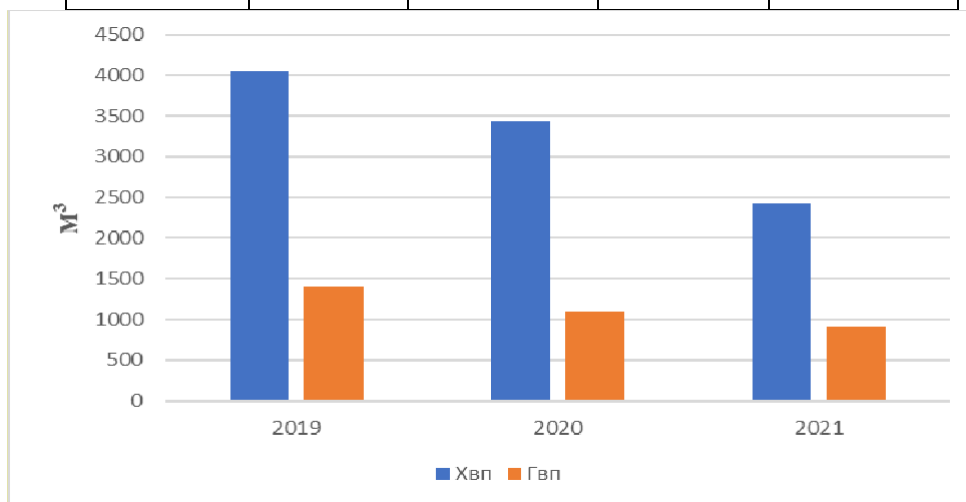


Рисунок 4.1 – Графік споживання води

Як видно з рисунку 4.1, споживання води з кожним роком зменшується.

## 5. Загальні витрати на енергоносії

Таблиця 5.1 – Витрати на енергоносії в грошових одиницях

|                 | 2019    | 2020    | 2021    |
|-----------------|---------|---------|---------|
|                 | грн     | грн     | грн     |
| Теплопостачання | 283 483 | 212 393 | 203 268 |
| Електроенергія  | 92 988  | 61 286  | 90 610  |
| Вода            | 190 860 | 170 980 | 143 065 |
| Всього          | 567 331 | 444 659 | 346 333 |

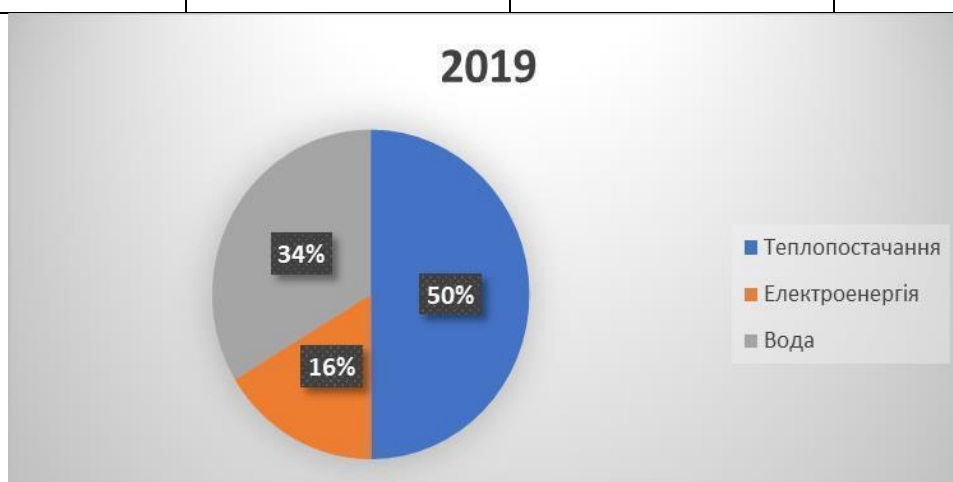


Рисунок 5.1 – Діаграма витрат на енергоносії в грошових одиницях за 2019 рік

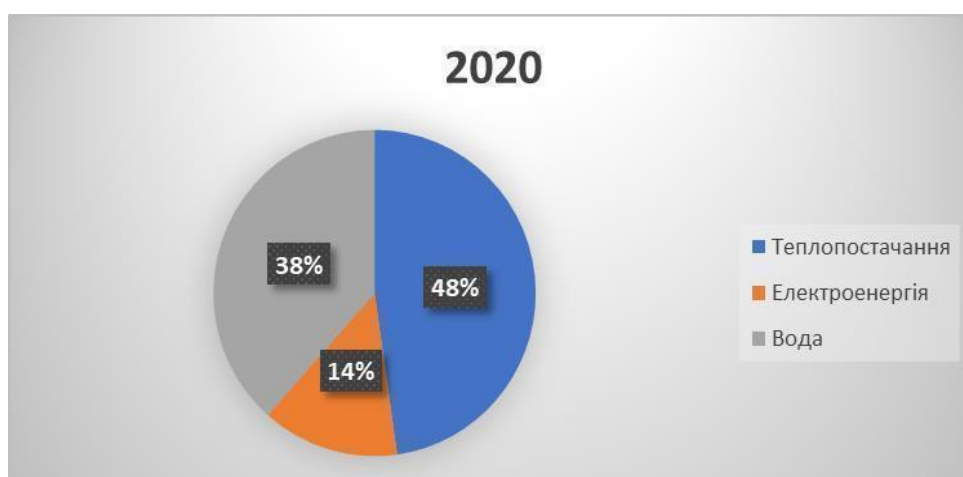


Рисунок 5.2 – Діаграма витрат на енергоносії в грошових одиницях за 2020 рік

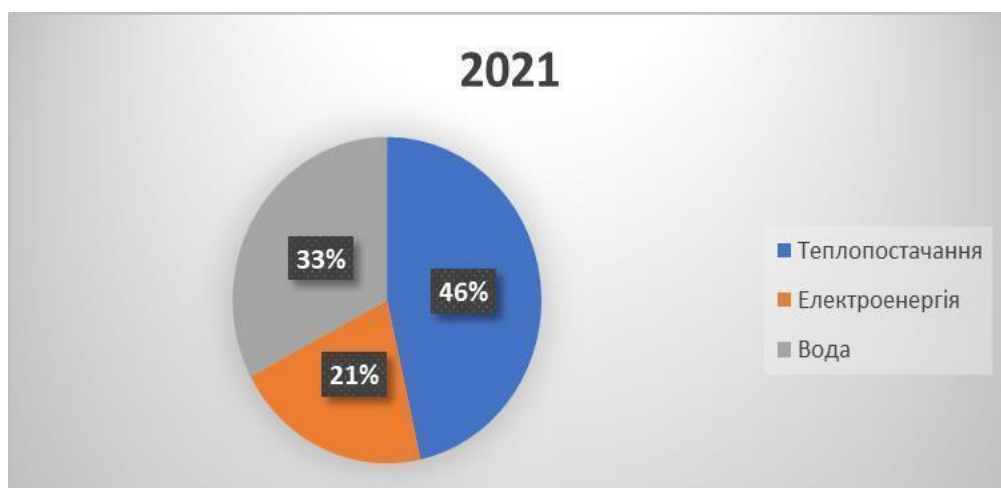


Рисунок 5.3 – Діаграма витрат на енергоносії в грошових одиницях за 2021 рік

**Додаток Б**

**Перевірка магістерської дисертації на академічну доброчесність**

|     |      |          |        |      |                    |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД 25 144 01 01 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                    | 115  |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

| № з/п | Формат | Позначення               | Найменування                                  | Кількість аркушів | Примітка |
|-------|--------|--------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|----------|
| 1     | A4     |                          | Завдання на магістерську дисертацію           | 2                 |          |
| 2     | A4     | МД 25 144 01 01 ПЗ       | Пояснювальна записка                          | 116               |          |
| 3     | A1     | МД 25 144 01 01 001 ТМК  | Існуюча система теплопостачання об'єкту       | 1                 |          |
| 4     | A1     | МД 25 144 01 01 001 ГН   | Генеральний план                              | 1                 |          |
| 5     | A1     | МД 25 144 01 01 001 СЕС  | Схема розміщення ФЕС на даху будівлі          | 1                 |          |
| 6     | A1     | МД 25 144 01 01 001 АТМК | Схема керування системами теплозабезпечення   | 1                 |          |
| 7     | A1     | МД 25 144 01 01 001 ТМК  | Модернізована система теплопостачання об'єкту | 1                 |          |
| 8     | A1     | МД 25 144 01 01 001      | Плакат (енергоспоживання та енергозбереження) | 1                 |          |

|            |      |          |        |      |                                    |                                                       |         |
|------------|------|----------|--------|------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------|
|            |      |          |        |      | МД 25 144 01 01                    |                                                       |         |
|            |      |          |        |      |                                    |                                                       |         |
|            | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                    |                                                       |         |
| Розробив   |      | Бороздін |        |      | Відомість магістерської дисертації | Аркуш                                                 | Аркушів |
| Перевірила |      | Білоус   |        |      |                                    | 116                                                   | 116     |
| Т.контр.   |      |          |        |      |                                    | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>Кафедра ТАЕ, Гр. ТЕ-41мп |         |
| Н.контр.   |      | Боженко  |        |      |                                    |                                                       |         |
| Зав.каф.   |      | Пешко    |        |      |                                    |                                                       |         |