

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова
робота на правах рукопису

БАБАЄВ ЄВГЕН СЕРГІЙОВИЧ

УДК 620.9

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ РІЗНОГО ТИПУ
ПРИЗНАЧЕННЯ МЕГАПОЛІСІВ**

Спеціальність 144 – Теплоенергетика

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Є. С. Бабаєв

Науковий керівник Климчук О.А., доктор технічних наук, професор

Одеса – 2025

АНОТАЦІЯ

Бабаєв. Є.С. Енергоефективне теплопостачання будівель різного типу призначення мегаполісів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика. – Національний університет «Одеська політехніка», МОН України, Одеса, 2025.

Дисертаційна робота присвячена комплексному підвищенню енергоефективності теплопостачання будівель різного типу призначення в районах мегаполісів із використанням існуючих систем централізованого теплозабезпечення та впровадженням відновлювальних джерел енергії з урахуванням режимів експлуатації будівель та зовнішніх кліматичних чинників. Запропоновані методи здатні значно покращити енергоефективність теплопостачання та зменшити вплив на екологію навколишнього середовища.

У першому розділі «Аналіз сучасного стану систем теплопостачання будівель різного типу призначення» одержано такі результати:

– Встановлено, що більшість систем централізованого теплопостачання були розраховані із значним запасом теплової потужності без урахування режимів експлуатації будівель різного типу призначення, що в свою чергу призводить до значних витрат енергоносіїв на забезпечення потреб теплоспоживання за різними видами споживачів.

– Доведено доцільність застосування теплових насосів із відбором теплоти від зовнішнього повітря як в проектуємих так і в існуючих комбінованих системах теплопостачання з резервним джерелом від водогрійного котлу або централізованих систем теплозабезпечення.

– Показано можливість зменшення витрат на теплопостачання комплексу будівель району із спорудами різного типу призначення внаслідок урахування режимів експлуатації різних типів споживачів, як протягом доби так і протягом тижня та року.

У другому розділі «Математичне моделювання режимів роботи систем тепlopостачання для об'єктів різного типу призначення» одержано наступні результати:

- Отримано режими споживання теплоти за різними видами споживачів впродовж доби для будівель громадського призначення, а саме торгівельно-розважальними центрами, адміністративними будинками та закладами освіти;

- Показано потенціал самокомпенсації теплоспоживання для різних видів тепlopостачання та різних типів будівель громадського призначення впродовж доби, що дозволяє оцінити можливості зменшення капіталовкладень у реконструкцію існуючих систем тепlopостачання;

- Запропоновано на основі аналізу статистичних даних на прикладі торгівельно-розважального центру перерозподіл вагових коефіцієнтів між основними видами теплоспоживання для підвищення енергоефективності використання основних джерел енергії.

В третьому розділі «Математичне моделювання режимів роботи систем тепlopостачання для об'єктів різного типу призначення» одержано наступні результати:

- Визначено за результатами чисельного моделювання залежності основних показників комбінованої системи тепlopостачання змінної конфігурації та її складових частин від зовнішніх умов, отримані результати моделювання режимів системи тепlopостачання підтверджують можливість створення вискоелективних систем опалення з застосуванням сучасних енергетичних технологій та альтернативних джерел енергії;

- Виконано аналіз енергетичної ефективності системи в режимі переривчастого опалення, використання режиму переривчастого опалення для комбінованої системи тепlopостачання надає додаткові можливості щодо економії енергоресурсів та підвищення ефективності роботи теплонасосних систем;

- Отримано оптимальні параметри режимів навантаження основних елементів системи теплозабезпечення за результатами оптимізації режимів навантаження системи тепlopостачання з акумулятором тепла при зміні температури зовнішнього повітря.

В четвертому розділі «Дослідження роботи комбінованих систем теплопостачання з використанням відновлювальних джерел енергії» одержано наступні результати:

- Запропоновано принципову теплову схему «Послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю» для підвищення енергоефективності роботи відновлювальних джерел енергії в комбінованій системі теплопостачання із застосуванням різних видів опалювальних пристроїв;

- Проведено експериментальні дослідження на об'єкті житлового комплексу із застосуванням запропонованої схеми комбінованого теплопостачання з використанням теплонасосних систем. Отримані результати дозволили констатувати зменшення витрат первинного палива та збільшення періоду часу використання теплонасосних систем в теплозабезпеченні будівлі;

- Показано доцільність застосування комбінованих сонячних систем з видобутком теплоти та електроенергії для будинків житлового комплексу, що здатні забезпечити базові потреби у споживачів електроенергії та ефективно генерувати теплоту у літню пору року.

Ключові слова: системи теплопостачання, теплові насоси, комбіновані системи теплопостачання, геліосистеми, акумулятори теплоти, переривчасте опалення, енергоефективне теплопостачання, режими експлуатації будівель, критерії енергоефективності, теплові мережі, статистична обробка даних.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано

1. О. Климчук, О. Вудвуд, Є. Бабаєв, М. Сергєєв, І. Аксьонова. Підвищення ефективності використання централізованих систем теплопостачання при реконструкції теплових мереж. Праці Одеського політехнічного університету, 2022. Вип. 2(66). ISSN 2076-2429. с.44-51. <https://old-pratsi.op.edu.ua/app/webroot/articles/1682507778.pdf>

(Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

2. Баласанян Г.А., Климчук О.А., Семеній А.А., Бабаєв Є.С., Саченко Л.В. Моделювання режиму переривчастого опалення будівлі навчального корпусу. Праці Одеського політехнічного університету, 2021. Вип. 2(64). ISSN 2076-2429.с.22-27

<https://doi.org/10.15276/opu.2.64.2021.03>

(Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

3. Г.І. Позднякова, Є.С. Бабаєв. Шляхи підвищення енергоефективності теплопостачання районів міст за рахунок комплексної модернізації інженерних систем будівель. Refrigeration Engineering and Technology. Том 60 № 1 (2024), 45-52. <https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/2735/3156>

(Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

4. О.А. Климчук. Н.В. Климчук. Є.С. Бабаєв. О.М. Вудвуд. Є.О. Кравченко. Теплообмін щільного шару сипучого матеріалу з зануреними поверхнями. Refrigeration Engineering and Technology. Том 59 № 4 (2024) , 269-277.

<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/2728/2967>

(Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

5. Є.С. Бабаєв, Г.І. Позднякова. Аналіз ефективності застосування геліосистем в централізованих системах теплопостачання університету. № 2(68) (2023): Праці Одеського політехнічного університету. стор. 64-71.

<https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.08>

(Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

6. Г.В. Лужанська, Є.С. Бабаєв, М.І. Сергєєв, О.О. Паламарчук, О.Л. Фуркаленко (2024). Підвищення ефективності роботи автономних систем теплопостачання для індивідуального опалення з застосуванням теплових насосів. Refrigeration Engineering and Technology, 60(3), 197-204.

<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/3000/3236>

(Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

7. О.А. Климчук, Є.С. Бабаєв (2025) Аналіз режимів роботи систем теплопостачання для торгівельно-розважальних комплексів. Refrigeration Engineering and Technology, 61(1).

<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/3094/3309>

(Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

Опубліковані праці апробаційного характеру:

8. Переведення теплопостачання районів міст на електроенергію з використанням існуючих теплових мереж. Климчук О.А., Андрющенко А.М., Бабаєв Є.С., Сергєєв М.І. Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективне місто. XXI століття». С. 74-76. 10-11 листопада 2022 року. Одеса ОДАБА.

[URL:https://odaba.edu.ua/upload/files/Zbirnik_Energoefektivne_misto_2022_1.pdf](https://odaba.edu.ua/upload/files/Zbirnik_Energoefektivne_misto_2022_1.pdf)

9. XI Наукова конференція. Наукові підсумки 2022 року. Збірник тез. Підвищення ефективності використання теплових насосів у комбінованих системах теплопостачання при змінних режимах експлуатації будівель Климчук О. А. , Бабаєв Є. С. , Сергєєв М. І. с. 24. Харків 2022.

[URL:https://entc.com.ua/download/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D1%82%D0%B5%D0%B7_11_%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%96%CC%88%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%96%CC%88_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%9E%D0%92%D0%86%20%D0%9F%D0%86%D0%94%D0%A1%D0%A3%D0%9C%D0%9A%D0%98%202022%20%D0%A0%D0%9E%D0%9A%D0%A3_.pdf](https://entc.com.ua/download/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D1%82%D0%B5%D0%B7_11_%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%96%CC%88%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%96%CC%88_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%9E%D0%92%D0%86%20%D0%9F%D0%86%D0%94%D0%A1%D0%A3%D0%9C%D0%9A%D0%98%202022%20%D0%A0%D0%9E%D0%9A%D0%A3_.pdf)

10. Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating. Balasanian, G., Klymchuk, O., Babaiev, Y., Semenii, A. Lecture Notes in Civil Engineering, 2023, 290 LNCE, стр. 162–170 (Scopus).

URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_16

11. Климчук Олександр Андрійович, Лужанська Ганна Вікторівна, Шевчук Володимир Іванович, Бабаєв Євген Сергійович, Котяш Дмитро Ігорович. Порівняльний аналіз роботи акумуляторів теплоти при різних схемах включення. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «SCIENCE, INNOVATIONS AND EDUCATION: PROBLEMS AND PROSPECTS» 15-17 вересня 2021 года Токіо, Японія.

URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/09/SCIENCE-INNOVATIONS-AND-EDUCATION-PROBLEMS-AND-PROSPECTS-15-17.09.2021.pdf>

12. Бабаєв Є.С. Модернізація бівалентної комбінованої системи опалення будівлі. Collection of Scientific Papers / 1st International Scientific and Practical Conference «Innovative Approaches in Modern Science and Technology» March 2025 Lisbon, Portugal. стор. 309-311

URL: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/03/Lisbon_Portugal_26.03.25.pdf

ABSTRACT

Babayev. E.S. Energy-efficient heat supply of buildings of various types of purpose in megacities. – Qualification work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 144 – Heat and Power Engineering. – National University “Odesa Polytechnic”, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2025.

The dissertation is devoted to studying the comprehensive increase in the energy efficiency of heat supply for various types' purpose buildings in metropolises districts using the existing centralized heat supply systems and the renewable energy sources introduction, taking into account both buildings operating modes and external climatic factors. The proposed methods can significantly improve the energy efficiency of heat supply and reduce the negative impact on the environment.

In the first chapter "Analysis of the current condition of heat supply systems for various types' purpose buildings" the following results were obtained:

- It is established that most centralized heat supply systems have been designed with a significant reserve of thermal power without consideration to the operating modes of various types' purpose buildings, which in turn leads to significant energy carrier costs to meet the heat consumption needs of various types of consumers.

- The feasibility of using heat pumps with heat extraction from the environmental air in both the projected and existing combined heat supply systems with a backup heat source from a waterheating boiler or centralized heat supply systems is proven.

- The possibility of reducing the costs of heat supply to a districtal complex of buildings which includes structures of various purpose types due to taking into account the operating modes of different types of consumers, both in 24-hours period scale as well as during the week and year.

In the second chapter "Mathematical modeling of heat supply systems' operating modes at facilities of various purpose types" the following results were obtained:

- Heat consumption modes for different types of consumers during the 24 hours period for public buildings, namely shopping and entertainment centers, administrative buildings and educational institutions were obtained;

- The potential for heat consumption self-compensation at different types of heat supply and different types of public buildings during the 24 hours period was shown, which allows assessing the possibilities to reduce capital investments in the reconstruction of existing heat supply systems;

- Based on the statistical data analysis on the example of a shopping and entertainment center, a redistribution of weight coefficients between the main types of heat consumption was proposed to increase the energy efficiency of the main energy sources use.

In the third chapter "Mathematical modeling of heat supply systems' operating modes for facilities of various purpose types " the following results were obtained:

- The dependence of the main indicators of the variable configuration-specific combined heat supply system and its components on external conditions was determined based on the results of numerical modelling; the obtained heat supply system modes' simulation results confirm the possibility to create highly efficient heating systems using modern energy technologies and alternative energy sources;

- An energy efficiency analysis for the system in the intermittent heating mode was carried out that allows the conclusion that the intermittent heating mode use for the combined heat supply system provides additional opportunities for saving energy resources and for increasing the efficiency of heat pumping systems;

- The optimal parameters of the heat supply system main elements' load modes were obtained based on the results of optimizing the load modes for the heat supply system with a heat accumulator when the outdoor air temperature changes.

In the fourth chapter "Study of the combined heat supply systems operation using renewable energy sources", the following results were obtained:

- A principle thermal scheme "Serial-parallel modernized bivalent combined heating system with buffer capacity" was proposed to increase the energy efficiency of

the renewable energy sources operation in a combined heat supply system using various types of heating devices;

- Experimental studies were conducted at a residential complex using the proposed scheme of combined heat supply using heat pump systems. The results obtained allow to state a reduction in primary fuel consumption and an increase in the period of heat pump systems use in the heat supply of the building;

- The feasibility of using combined solar systems which produce heat and electricity for buildings in a residential complex, thus being able to provide the basic needs of electricity consumers and effectively generate heat in the summer season, was shown.

Keywords: heating systems, heat pumps, combined heating systems, solar systems, heat accumulators, intermittent heating, energy-efficient heating, building operating modes, energy efficiency criteria, thermal supply networks, data statistical processing

LIST OF PUBLICATIONS OF THE ACQUIRER

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published

1. O. Klymchuk, O. Woodwood, E. Babayev, M. Sergeyev, I. Aksyonova. Increasing the efficiency of using centralized heat supply systems during the reconstruction of heating networks. Proceedings of Odessa Polytechnic University, 2022. Issue 2(66). ISSN 2076-2429. pp. 44-51.

<https://old-pratsi.op.edu.ua/app/webroot/articles/1682507778.pdf>

(Register of scientific professional publications of Ukraine, category "B").

2. Balasanyan G.A., Klymchuk O.A., Semenii A.A., Babayev E.S., Sachenko L.V. Modeling the intermittent heating regime of an educational building. Proceedings of Odessa Polytechnic University, 2021. Issue 2(64). ISSN 2076-2429.p.22-27

<https://doi.org/10.15276/opu.2.64.2021.03>

(Register of scientific professional publications of Ukraine, category "B").

3. G.I. Pozdnyakova, E.S. Babayev. Ways to increase the energy efficiency of heat supply of urban areas through comprehensive modernization of building engineering systems. Refrigeration Engineering and Technology. Volume 60 No. 1 (2024), 45-52.
<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/2735/3156>

(Register of scientific professional publications of Ukraine, category "B").

4. O.A. Klymchuk. N.V. Klymchuk. E.S. Babayev. O.M. Woodwood. E.O. Kravchenko. Heat transfer of a dense layer of bulk material with immersed surfaces. Refrigeration Engineering and Technology. Volume 59 No. 4 (2024) , 269-277.
<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/2728/2967>

(Register of scientific professional publications of Ukraine, category "B").

5. Evgeny Serhiyovych Babayev, Anna Ivanivna Pozdnyakova. Analysis of the effectiveness of the use of solar systems in centralized heat supply systems of the university. No. 2(68) (2023): Proceedings of the Odessa Polytechnic University. pp. 64-71.
<https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.08>

(Register of scientific professional publications of Ukraine, category "B").

6. G.V. Luzhanska, E.S. Babayev, M.I. Sergeev, O.O. Palamarchuk, O.L. Furkalenko (2024). Increasing the efficiency of autonomous heat supply systems for individual heating using heat pumps. Refrigeration Engineering and Technology, 60(3), 197-204.
<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/3000/3236>

(Register of scientific professional publications of Ukraine, category "B").

7. O.A. Klymchuk, E.S. Babayev (2025) Analysis of operating modes of heat supply systems for shopping and entertainment complexes. Refrigeration Engineering and Technology, 61(1).

<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/3094/3309>

(Register of scientific professional publications of Ukraine, category "B").

Published works of approbation nature:

8. Conversion of heat supply of urban areas to electricity using existing heating networks. Klymchuk O.A., Andryushchenko A.M., Babayev E.S., Sergeyev M.I. Materials of the II International Scientific and Practical Conference "Energy-efficient city. XXI century". P. 74-76. November 10-11, 2022. Odesa ODABA.

URL:https://odaba.edu.ua/upload/files/Zbirnik_Energoefektivne_misto_2022_1.pdf

9. XI SCIENTIFIC CONFERENCE. Scientific results of 2022. Collection of abstracts. Increasing the efficiency of the use of heat pumps in combined heat supply systems with variable operating modes of buildings Klymchuk O. A., Babayev E.S., Sergeyev M.I. p. 24. Kharkiv 2022.

URL:https://entc.com.ua/download/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D1%82%D0%B5%D0%B7_11_%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%96%CC%88%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%96%CC%88_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%9E%D0%92%D0%86%20%D0%9F%D0%86%D0%94%D0%A1%D0%A3%D0%9C%D0%9A%D0%98%202022%20%D0%A0%D0%9E%D0%9A%D0%A3_.pdf

10. Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating. Balasanian, G., Klymchuk, O., Babaiev, Y., Semenii, A. Lecture Notes in Civil Engineering, 2023, 290 LNCE, pp. 162–170 (Scopus).

URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_16

11. Klymchuk Oleksandr Andriyovych, Luzhanska Hanna Viktorivna, Shevchuk Volodymyr Ivanovych, Babayev Yevgen Serhiyovych, Kotyash Dmitry Igorovich. Comparative analysis of the operation of heat accumulators with different switching schemes. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference «SCIENCE, INNOVATIONS AND EDUCATION: PROBLEMS AND PROSPECTS» September 15-17, 2021 Tokyo, Japan. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/09/SCIENCE-INNOVATIONS-AND-EDUCATION-PROBLEMS-AND-PROSPECTS-15-17.09.2021.pdf>

12. Babayev E.S. MODERNIZATION OF A BIVALENT COMBINED BUILDING HEATING SYSTEM Collection of Scientific Papers / 1st International Scientific and Practical Conference «Innovative Approaches in Modern Science and Technology» March 2025 Lisbon, Portugal. pp. 309-311 URL:https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/03/Lisbon_Portugal_26.03.25.pdf

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	16
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ РІЗНОГО ТИПУ ПРИЗНАЧЕННЯ.....	23
1.1. Структура систем теплопостачання.....	23
1.1.1. Централізовані системи теплопостачання.....	23
1.1.2. Показники енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання.....	27
1.1.3. Проблеми експлуатації централізованих систем теплопостачання.....	29
1.1.4. Децентралізовані системи теплопостачання.....	29
1.2. Застосування відновлювальних джерел енергії в системах теплопостачання для підвищення загальної енергоефективності.....	31
1.2.1. Впровадження у системи теплопостачання теплових насосів.....	31
1.2.2. Особливості впровадження в системи комбінованого теплопостачання різних типів теплонасосних систем.....	33
1.2.3. Перспективи інтеграції систем сонячної енергетики для будівель різного типу.....	35
1.3. Специфіка режимів роботи систем теплопостачання будівель різного типу призначення.....	37
1.3.1. Режими споживання теплової енергії впродовж року будинками різного типу призначення.....	40
1.3.2. Режими споживання теплової енергії впродовж тижня будинками різного типу призначення.....	42
1.4. Висновки до розділу.....	44
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО ТИПУ ПРИЗНАЧЕННЯ.....	45
2.1. Особливості роботи систем централізованого теплопостачання.....	45
2.2. Режими споживання теплоти різними видами теплового навантаження протя- гом доби будівлями громадського призначення.....	47

2.2.1. Режими споживання теплоти різними видами теплового навантаження протягом доби. Торгівельно-розважальний центр.....	49
2.2.2. Режими споживання теплоти різними видами теплового навантаження протягом доби адміністративною будівлею. Офісний центр.....	55
2.2.3. Режими споживання теплоти різними видами теплового навантаження протягом доби навчальним закладом.....	60
2.3. Потенціал самокомпенсації різними видами теплового навантаження будівель різного типу призначення.....	65
2.3.1. Потенціал зниження теплоспоживання відносно розрахункового теплового навантаження відповідного виду теплового навантаження.....	66
2.3.2. Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального потенціалу зниження теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов.....	68
2.3.3. Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального розрахункового теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов.....	70
2.4. Використання емпіричних даних для знаходження оптимальних режимів тепlopостачання.....	72
2.4.1. Методика отримання емпіричних даних.....	72
2.4.2. Використання статистичних функцій для аналізу емпіричних даних.....	73
2.4.3. Управління режимами тепlopостачання.....	77
2.5. Висновки до розділу.....	78
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ	80
3.1. Моделювання системи тепlopостачання із використанням теплового насосу та акумулятора тепла.....	80
3.1.1. Вхідні параметри щодо моделювання комбінованої системи тепlopостачання.....	83
3.1.2. Методика оптимізації режимів навантаження системи тепlopостачання...	84

3.2. Результати математичного моделювання режимів навантаження системи теплопостачання громадського призначення.....	86
3.3 Оптимізація потужності генератора тепла системи теплопостачання з акумулятором тепла в режимі переривчастого опалення.....	98
3.4. Висновки до розділу.....	101
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	103
4.1. Аналіз схем теплопостачання із застосування теплових насосів у системах теплопостачання.....	103
4.2. Рекомендація схем використання ТН у системах теплопостачання при різних режимах роботи.....	110
4.3. Застосування комбінованих систем теплопостачання із використанням відновлювальних джерел енергії в комунальному секторі.....	122
4.3.1. Тепловий насос та газовий котел для котеджу адміністративно-виробничого комплексу.....	122
4.4. Застосування геліосистем в комбінованих системах теплопостачання.....	134
4.5. Висновки до розділу.....	139
ВИСНОВКИ.....	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	142
ДОДАТОК А	157
ДОДАТОК Б	161

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЦТП – центральний тепловий пункт

ТЕЦ – теплоелектроцентрально

ТН – тепловий насос

СОР – коефіцієнт трансформації тепла

ККД – коефіцієнт корисної дії

ГВП – гаряче водопостачання

ТРЦ – торгівельно розважальний центр

ВК – водогрійний котел

АТ – акумулятор теплоти

БА – бак-акумулятор;

ГК – газовий котел;

СО – система опалення;

ВСТУП

Спрямовування державних політик країни повинні відповідати сучасним викликам в галузі енергетики [1]. Одним із напрямків яких є підвищення енергоефективності та енергозбереження у галузі комунальної теплоенергетики [2].

Для вирішення означених викликів необхідна дорожня карта створення енергоефективних заходів щодо структури виробництва теплової енергії на основі комплексного підходу вирішення питань економії та підвищення енергоефективності як існуючих систем, так і новітніх, з урахуванням екологічних вимог та впровадження розроблених технологій реконструкції і інновації систем комунального господарства [3].

Проблеми паливно-енергетичного комплексу, які спіткали світ протягом останніх десятиліть призвели до неминучого зростання попиту та, відповідно, зростання цін на енергоносії на світовому ринку, а також в Україні. Вказане означає необхідність реконструкції діючих систем теплопостачання, а також загострює вимоги щодо впровадження новітніх енергоефективних рішень з урахуванням існуючих режимів експлуатації будівель різного типу призначення та зовнішніх кліматичних чинників [4].

Ці обставини змусили актуалізувати впровадження енергозберігаючих технологій та поставити дослідження, що спрямовані на енергоефективне використання як первинних енергоносіїв, так і застосування відновлювальних джерел енергії, для цілей теплопостачання в тому числі і об'єктів комунального господарства, в ряд первинних завдань країни, оскільки в теперішній час за станом розвитку енергозберігаючих технологій Україна не досягла ще належного світового рівня [5].

В основних законах України про енергозбереження та енергоефективне використання первинних енергоносіїв, які визначають шляхи вирішення поставлених завдань, основний фокус спрямовано на впровадженні екологічно чистих відновлювальних джерел енергії, в тому числі у галузі комунального теплопостачання [6].

Одним з ефективних шляхів вирішення означених проблем є комплексний підхід щодо модернізації існуючих систем теплопостачання об'єктів комунального господарства із впровадженням існуючих екологічно чистих джерел генерації теплоти та урахуванням особливостей режимів експлуатації будівель різного типу призначення в залежності від пори року, тижня та часу доби.

Вказане впливає на шляхи вирішення державних програм реконструкції існуючих систем теплопостачання з урахуванням програм Європейського союзу, щодо впровадження екологічно чистих систем генерації теплоти для заміщення та енергетичного потенціалу акумуляції для вирівнювання графіків споживання впродовж різноманітних періодів експлуатації [7]. Існуюча система теплопостачання мікрорайонів та житлових масивів міст потребує модернізації як джерела генерації теплоти, так і систем розподілу, включаючи теплові мережі та розподільчі пункти. В часи, коли відбувалось проєктування подібної локальної системи теплопостачання, діяли застарілі норми та методики розрахунків, що передбачали розвиток житлового масиву при нормах теплоспоживання того часу. У багатьох сучасних містах житлові масиви повністю забудовані, при цьому на централізовані системи теплопостачання приходить максимум діючого теплового навантаження і додаткового збільшення споживачів вже не спостерігається в перспективі. Додатково слід відмітити тенденції щодо зменшення теплового навантаження завдяки різним програмам в тому числі і Європейського Союзу, щодо термомодернізації будівель різного типу призначення, а також встановлення індивідуальних теплових пунктів із локальними лічильниками теплоти та додатковими пристроями автоматизації споживання теплоти з урахуванням режимів експлуатації різних внутрішніх систем забезпечення мікроклімату в приміщеннях будівлі.

При цьому, одним із напрямів вказаних європейських програм є впровадження відновлювальних джерел енергії у існуючі системи теплопостачання із урахуванням статистичних даних спожитих енергоресурсів протягом різних періодів експлуатації та існуючих систем забезпечення необхідних параметрів мікроклімату [8].

Дані дослідження різних вітчизняних та європейських аудиторських компаній показують значний потенціал економії первинних енергоресурсів завдяки впровадженню новітніх енергоефективних технологій в існуючі системи теплопостачання та у відповідні системи нового будівництва. Так, при переведенні індивідуальних споживачів на альтернативне паливо, є можливість досягти до 12 % економії природних первинних енергоресурсів, впровадження теплонасосних систем в існуючі комплекси теплопостачання у об'єктів комунального сектору дає можливість зменшення споживання викопних палив до 25%. При цьому, використання додаткових акумуляторів дає змогу вирівняти добові графіки навантаження на енергосистеми, що в свою чергу, призведе до додаткових економічних ефектів експлуатації центральних систем енергопостачання.

Впровадження сонячних систем у комбіновані системи теплопостачання, особливо в південних регіонах України дає можливість у демісезонний та літній періоди взагалі покрити потреби гарячого водопостачання від геліосистем. Частка заміщення сонячною енергією загального балансу теплоспоживання будівель громадського призначення у опалювальний період може досягати значення у 10 % та більше.

Вказані обставини спрямовують дослідження або орієнтують напрямок дослідження енергоефективних систем до комплексного аналізу кожного з типу будівель громадського призначення з урахуванням його особливостей експлуатації, роботи різномірних інженерних систем забезпечення мікроклімату та кліматичних чинників, а також можливості впровадження в існуючі схемні рішення систем теплопостачання відновлювальних джерел енергії та акумуляторів теплоти.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана згідно планів, затверджених Міністерством освіти і науки України, які виконано в Національному університеті «Одеська політехніка» і є складовою частиною НДР № 179-41 за темою «Забезпечення ефективного функціонування систем теплопостачання будівель громадського призначення теоретико-методологічні та практичні аспекти» (№ 0119U003518); міжнародним грантовим проєктом № DRP0401077 «Впровадження Зеленої Економіки

для комунальних систем опалення шляхом інтеграції відновлюваних джерел енергії (Greening Communal Heating Systems by Integrating Renewables)» в рамках міжнародної програми «INTERREG DANUBE REGION SMF» сумісно с партнерами «Інститутом інтелектуальних технологій Кемпелен; KInIT; (Kempelen Institute of Intelligent Technologies); Братислава, Словаччина; компанія ЗСЕ Енергія; ZSE E; ZSE Energia; Братислава, Словаччина.

Мета й завдання дослідження.

Мета дисертаційної роботи полягає в розробці шляхів удосконалення режимів роботи комбінованих систем теплопостачання із застосуванням відновлювальних джерел енергії, акумуляторів теплоти, а також урахуванням особливостей експлуатації будівель різного типу призначення теоретичним і експериментальним шляхом.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасного стану експлуатації систем теплопостачання різних видів будівель комунального житлового господарства та методів удосконалення їх режимів роботи на засадах енергоефективності;
- розробити підходи оцінки ефективності роботи системи теплопостачання із урахуванням режимів експлуатації основних внутрішніх споживачів теплової енергії на основі накопичених статистичних даних;
- провести чисельне моделювання об'єкта комунально-житлового комплексу з урахуванням режимів експлуатації, структури комбінованих систем теплопостачання та кліматичних умов.
- визначення доцільності використання змінних режимів експлуатації в комбінованих системах теплопостачання, при різних схемах включення генераторів та споживачів теплоти, з урахуванням результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Об'єкт дослідження – системи теплопостачання будівель житлово-комунального сектору з використанням відновлювальних джерел енергії та акумуляторів теплоти.

Предмет дослідження – теплові процеси та режими роботи в комбінованих системах теплопостачання з урахуванням особливостей експлуатації будівель.

Методи дослідження. Для проведення дисертаційного дослідження були використані теоретичні та експериментальні методи дослідження, спеціалізовані програмні комплекси для аналізу отриманих даних, як інструментарій для вдосконалення схемних рішень та теплових режимних параметрів об'єкту дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше запропоновано підхід до дослідження роботи об'єкту громадського призначення на основі опрацювання емпіричних значень та статистичних даних з урахуванням режимів експлуатації різних видів теплового навантаження протягом робочого періоду (добы, тижня)
2. Подальшого розвитку отримав метод оцінки ефективності роботи переривчастого теплопостачання для будівлі громадського призначення з урахуванням режимів експлуатації та акумулювання теплоти.
3. Вперше запропоновано схему роботи системи теплопостачання із використанням відновлювальних джерел енергії для будівель із урахуванням режимів експлуатації та впливу зовнішніх кліматичних чинників.

Практичне значення одержаних результатів. На основі розроблених та реалізованих математичних моделей, схемних рішень, запропоновано рекомендації щодо впровадження у системи теплопостачання режимів експлуатації різнорідних генераторів та споживачів теплоти з урахуванням кліматичних чинників.

Основні положення дисертаційного дослідження впроваджено:

- у ТОВ "Енерготрейд Юг". Це дало можливість враховувати в розрахунок теплових навантажень за різними видами споживання та подальшою реалізацією режими експлуатації будівель з урахуванням як зовнішніх так і внутрішніх кліматичних чинників (госпдоговір № 1864-41 ТОВ "Енерготрейд Юг");
- у ТОВ «Облтепло». Результати дозволили враховувати кліматичні чинники при модернізації систем теплопостачання будівель громадського призначення з урахуванням режимів генерації та споживання теплоти (меморандум про співпрацю).
- в навчальний процес підготовки бакалаврів та магістрів за освітніми програмами «Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження» та «Теплові електричні станції та інноваційні енергетичні технології» на кафедрі теплових електростанцій та енергозберігаючих технологій Національного університету «Одеська

політехніка» в курсах: «Теплопостачання підприємств», «Технічні системи та обладнання галузі».

Особистий внесок здобувача. Наукові результати, які викладені в дисертаційній роботі автором, отримано самостійно. Автором проведено аналіз режимів роботи систем теплопостачання для будівель громадського призначення, запропоновано оригінальний метод оцінки ефективності роботи систем та розроблені схемні рішення підвищення ефективності використання відновлювальних джерел енергії з урахуванням режимів експлуатації та змінних кліматичних чинників на основі нового підходу з урахуванням різнорідних споживачів теплової енергії. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності використання систем теплопостачання для будівель громадського призначення [9-11]; аналіз використання різнорідних акумуляторів теплоти для змінних режимів експлуатації систем теплопостачання будівель [12-15]; аналіз існуючих методик розрахунків сонячних систем теплопостачання та вибір математичної моделі розрахунку реалізованої на сучасному програмному комплексі [16]; розробка схемних рішень автономної системи теплопостачання для потреб індивідуального опалення [17-19]; збір даних та аналіз результатів дослідження режимів роботи систем теплопостачання [20].

Апробація результатів роботи.

Результати проведеного дисертаційного дослідження були представлені та обговорені на наступних конференціях: II міжнародна науково-практична конференція «Енергоефективне місто. XXI століття». М. Одеса 10-11 листопада 2022 року; XI НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ. Наукові підсумки 2022 року, м. Харків; Lecture Notes in Civil Engineering, 2023, 290 LNCE, (Scopus); II Міжнародна науково-практична конференція «SCIENCE, INNOVATIONS AND EDUCATION: PROBLEMS AND PROSPECTS» 2021 р. Токіо, Японія; 1st International Scientific and Practical Conference «Innovative Approaches in Modern Science and Technology» March 2025 Lisbon, Portugal.

Публікації. Результати наукових досліджень представлено в 12 друкованих працях, з яких 7 – у фахових виданнях, а також 5 – тез міжнародних конференцій, одна з яких включена до міжнародної наукометричної бази Scopus).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, основного змісту, що включає в себе 4 розділи, висновків, списку використаної літератури з 97 найменування та додатків А, Б. Загальний обсяг роботи становить 161 сторінки (з них 156– основного тексту). В роботу входять також 95 рисунків і 9 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ РІЗНОГО ТИПУ ПРИЗНАЧЕННЯ

Теплопостачання великого міста зазвичай включає низку районів, що обслуговуються окремими системами теплозабезпечення – умовно – теплові райони [21]. Тепловий район – це сукупність будівель різного типу призначення, що знаходиться географічно в певному регіоні міста та обслуговуються окремими системами теплопостачання. У багатьох випадках група споживачів, що розташовані приєднуються до систем теплопостачання через центральні теплові пункти (ЦТП).

Теплові райони можуть бути пов'язані між собою за допомогою спеціальних ділянок трубопроводів теплових мереж. Також до систем теплопостачання можуть приєднуватися локальні децентралізовані джерела теплоти, та влаштовуватися на окремих ділянках поруч і) ЦТП блоки підігріву мережевої води.

Система теплопостачання районів міст є складною ієрархічною структурою пов'язаних між собою основних елементів: джерела теплоти; теплових мереж; розподільчих пунктів; індивідуальних пунктів розподілення; споживачів за різними видами теплоспоживання [22]. Взаємодія між вказаними основними елементами системи теплопостачання обумовлена складними процесами теплоспоживання та гідравлічними режимами роботи теплових мереж.

При цьому в системі можуть бути наявними декілька джерел теплоти, вона може бути централізована, децентралізована та комбінована.

Основним джерелом теплоти як в централізованих, так і в децентралізованих в системах теплопостачання є водогрійні котельні (районні, дахові, тощо), що працюють на природному газі. Також існують теплові райони, у яких джерелом тепла є ТЕЦ, що працюють на природному паливі [23].

При цьому спостерігається зростання використання відновлювальних джерел енергії в системах теплопостачання, як правило у децентралізованих.

1.1. Структура систем теплопостачання

1.1.1. Централізовані системи теплопостачання

Теплопостачання може здійснюватися системами централізованого та децентралізованого теплопостачання.

Централізоване теплопостачання дає можливість забезпечувати багатьох споживачів потужним джерелом тепла через довгезелні теплові мережі, які можуть належати до районних котелень, а також до теплоелектроцентралей, або теплофікаційних турбін промислових підприємств та комплексів енергетичних компаній [13, 24].

Зазначена структура системи теплопостачання районів міста є основою для подальшого аналізу роботи різномірних видів джерел теплоти для будівель різного типу призначення (рис. 1.1., 1.2.).

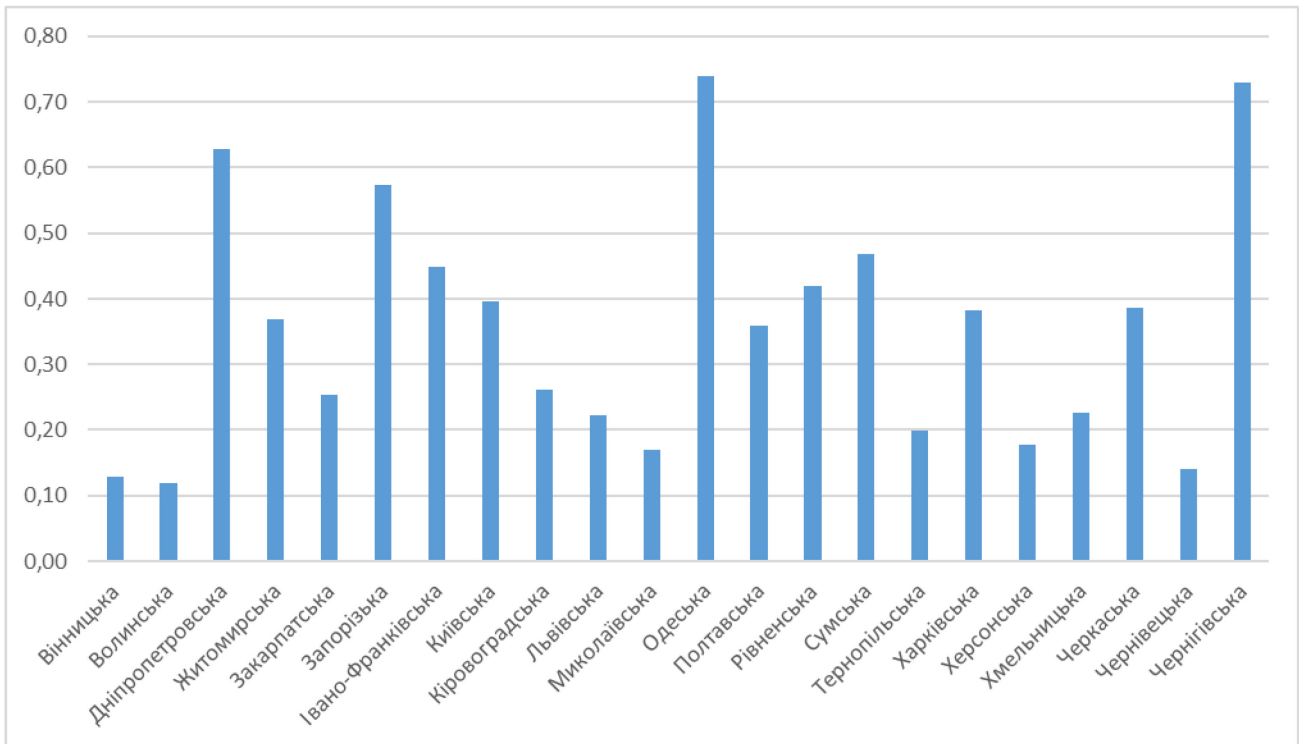


Рисунок 1.1 – Частка установ громадського призначення бюджетної сфери за областями України (освіта, охорона здоров'я, адміністративні споруди, тощо), що забезпечуються системами централізованого теплопостачання

Найважливішою характеристикою систем теплопостачання є розрахункове теплове навантаження. Зазвичай воно складається як сума з максимальних навантажень різних видів теплового споживання (опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, тощо) без урахування режимів експлуатації будівлі протягом доби та тижня. При цьому також враховується перспектива розвитку теплового району міста [25]. В більшості випадків райони міст вже максимально під'єднані до централізованих джерел теплоти, ще багато будівель вводяться в експлуатацію з децентралізованими системами теплопостачання.

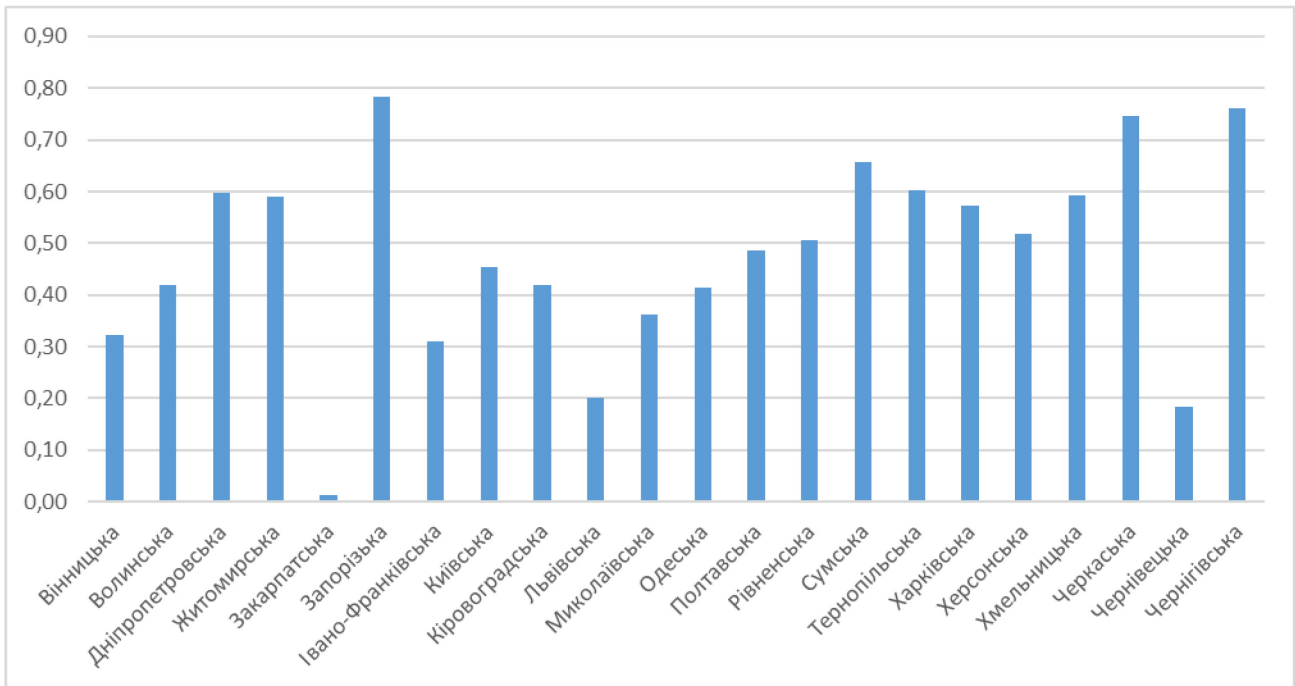


Рисунок 1.2 – Частка багатоповерхових будівель та житлово-побутових комплексів за областями України, що забезпечуються системами централізованого теплопостачання

Як правило, теплопостачання районів міст за рахунок використання централізованих систем теплопостачання із розвиненими тепловими мережами, має значні переваги порівняно з системами, що включають велику кількість малопотужних джерел тепла. Застосування локальних джерел теплоти централізованих систем теплопостачання дозволяє забезпечити більш ефективне використання палива, підвищити рівень автоматизації теплотехнічних процесів, знизити рівень шкідливих викидів у атмосферу та зменшити кількість обслуговуючого персоналу [26].

Також слід зазначити можливість оперативного забезпечення надійності електроживлення та усунення пошкоджень (як показала практика останніх років) в централізованих системах теплопостачання на відміну від індивідуальних та децентралізованих систем. Наступною характеристикою роботи централізованих систем теплозабезпечення є локальна модернізація під новітнє обладнання та види енергоресурсів (зокрема використання відновлювальних джерел енергії, когенерації, утилізації вторинних енергоресурсів, тощо) [27].

Системи централізованого теплопостачання можуть бути використані для комбінованих систем із застосуванням локальних джерел теплової енергії в тому числі відновлювальні (геліосистеми, теплові насоси, утилізатори теплоти).

З огляду на зазначене важливою характеристикою є співвідношення теплового навантаження споживачів та встановленої потужності теплового джерела. У багатьох випадках, враховуючі наведені підходи до розрахунку джерела теплоти в системах централізованого теплопостачання, встановлена потужність водогрійних котлів перевищувала необхідне навантаження від 100 до 200 %. При цьому слід наголосити на технічному та моральному застаріванні водогрійних котлів, які працюють далеко не в енергоефективному режимі. Однак під час модернізації центральних джерел теплоти слід враховувати дійсний стан систем центрального теплопостачання, наявні потужності споживачів теплоти (будівлі різного типу призначення) за видами теплового навантаження з урахуванням режимів експлуатації, рівнів термомодернізації та наявних кліматичних чинників [28].

Вказане також дає змогу перегляду системи теплових мереж, а саме діаметрів трубопроводів та циркуляційних насосів. Останнє ще й обґрунтовується наявністю у сучасних теплових пунктів власних циркуляційних насосів внутрішніх санітарно-технічних систем.

Однак, при низькій щільності забудови, використання потужних теплових джерел може призвести до необхідності прокладання надмірно довгих теплових мереж. Це вимагає проведення ретельного аналізу довжини теплових мереж і їх витрат на одиницю потужності.

Іншою важливою характеристикою централізованих систем є питома протяжність теплових мереж — це відношення довжини мереж (у двотрубному розрізі) до приєднаного теплового навантаження [29].

Цей показник суттєво впливає на рівень питомих теплових втрат у трубопроводах, витрати електроенергії на транспортування теплоносія і, як наслідок, рентабельність роботи теплопостачальних організацій. Чим нижчий цей показник, тим вища рентабельність. Велике значення питомої протяжності теплових мереж є підставою для розгляду заходів щодо оптимізації конфігурації теплових мереж, зокрема, відключення від централізованого джерела тепла протяжних малонавантажених ділянок теплової мережі та перепідключення відповідних теплових споживачів до локальних теплових джерел.

1.1.2. Показники енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання

Аналізуючи ефективність роботи централізованої системи теплопостачання, необхідно оцінити наступні характеристики:

1. показники енергетичної ефективності;
2. показники якості послуг теплопостачання;
3. показники надійності системи теплопостачання;
4. зміна обсягу послуг централізованого теплопостачання.

Енергетична ефективність системи теплопостачання району міста визначається ефективністю використання енергетичних ресурсів (переважно природного газу) для теплопостачання та ефективністю використання електроенергії для транспортування теплоносія [30].

Енергетична ефективність джерела теплоти централізованої системи теплопостачання характеризується питомою витратою палива (для порівняння зазвичай вказують умовне паливо) на відпуск теплової енергії:

$$V_k = V_p / Q_{r.dj} \quad (1.1)$$

де: V_k – енергетична ефективність опалювальної котельні;

V_p – питома витрата палива;

$Q_{r.dj}$ – річний відпуск теплоти джерелом центрального теплопостачання.

Однак на цей час менше половини котелень оснащені приладами обліку відпуску теплової енергії, що ускладнює застосування вказаної формули на практиці.

Показником енергетичної ефективності роботи теплових мереж є величина питомих втрат теплоти:

$$q_{tm} = \Delta Q_{r.tm} / Q_{r.dj} \quad (1.2)$$

де: $\Delta Q_{r.tm}$ – річні втрати теплоти у теплових мережах;

$Q_{r.dj}$ – річний відпуск теплоти джерелом центрального теплопостачання.

Величина річних втрат у теплових мережах $\Delta Q_{r.tm}$ повинна визначатися за показниками приладів обліку відпуску і споживання теплової енергії:

$$\Delta Q_{r.tm} = Q_{r.dj} - Q_{r.spoj} \quad (1.3)$$

де: $Q_{r.dj}$ – річний відпуск теплоти джерелом центрального теплопостачання;

$Q_{p.спож}$ – річне споживання теплоти абонентами теплових мереж.

Енергетична ефективність використання електричної енергії для транспортування теплоносія централізованими системами теплопостачання характеризується співвідношенням:

$$\epsilon = E / Q_{p.дж} \quad (1.4)$$

де: E – річне споживання електроенергії на перекачування теплоносіїв;

$Q_{p.дж}$ – річний відпуск теплоти джерелом центрального теплопостачання.

Ще одним показником енергоефективності вважається економія від впровадження відновлювальних джерел енергії в існуючі системи теплопостачання з урахуванням кліматичних чинників.

Додатковим показником є економія від впровадження комплексного підходу модернізації систем теплопостачання з урахуванням рівня термомодернізації та режимів роботи експлуатації будівлі [10].

Однак на сьогодні відсутні достовірні дані щодо фактичних абсолютних і питомих втрат в теплових мережах через низький рівень оснащеності теплових джерел і споживачів приладами обліку теплової енергії [31,32]. Величину втрат для теплових мереж району міста зазвичай оцінюють за результатами випробувань спеціально обраних ділянок за нормативними методиками. Визначена в такий спосіб величина може суттєво відрізнятися від фактичної величини втрат через обставини, головними з яких є суттєва різниця в теплоізоляційних властивостях різних ділянок теплових мереж, а також різниця в умовах експлуатації теплових мереж у зимовий та літній періоди. Величина втрат, що визначена за нормативними методиками, не враховує питомої протяжності теплових мереж, та може істотно відрізнятися для різних районів міст. Таким чином, для об'єктивної оцінки енергетичної ефективності теплових мереж централізованих систем теплопостачання необхідно повсюдно впроваджувати прилади обліку теплової енергії [33].

Як комплексний показник енергетичної ефективності всієї сукупності будівель різного типу призначення для району міста, підключених до централізованої системи теплопостачання, доцільно використовувати величину річного споживання теплової енергії на опалення та вентиляцію, та гаряче водопостачання, віднесеної до площі цих будівель [34].

1.1.3. Проблеми експлуатації централізованих систем тепlopостачання

Проведений аналіз показує основні проблеми систем централізованого тепlopостачання :

1. Загальні:

- наявність малонавантажених гілок;
- низький рівень оснащеності лічильниками теплової енергії;
- зниження кількості абонентів;
- застарілий фонд обладнання та матеріалів.

2. Теплові джерела:

- наявність великої кількості котлів котлів технічно та морально застарілих;
- завищена потужність джерела теплоти;
- низький рівень модуляції котлів;
- висока інерційність системи;

3. Теплові мережі:

- наявність великої кількості ділянок в яких термін амортизації давно минув;
- перерозмірені діаметри труб;
- втрати теплоносіїв;
- гідравлічне розрегулювання;
- теплові втрати в експлуатаційний період.

4. Теплові споживачі:

- відсутність погодозалежного регулювання;
- невідповідність нормам теплової ізоляції;
- забрудненість внутрішніх санітарно-технічних систем;
- розбалансування внутрішньо-домових систем.

При цьому слід вказати, що комплекс мір може вирішити більшість вказаних проблем.

1.1.4. Децентралізовані системи тепlopостачання

Системи децентралізованого тепlopостачання зазвичай організовані для потреб окремих споруд та не мають спільної теплової мережі з іншими сусідніми комплексами та будівлями. В таких системах котельня (тепловий вузол) і споживачі об'єднані в одну систему теплозабезпечення за різними видами теплоспоживання та не потребують додаткових магістралей для транспортування теплоносія (теплові мережі) [35]. Системи децент-

ралізованого теплопостачання поділяються на індивідуальні та локальні. В індивідуальних системах теплопостачання кожного приміщення здійснюється окремим власним джерелом, як правило це двоконтурний газовий котел, або тепловий насос чи електрокотел. У локальних системах опалення всіх приміщень будівлі забезпечується окремим загальним джерелом (зазвичай це дахова котельня). Останнім часом розвиток нових економічних відносин породжує тенденцію до децентралізації теплопостачання промислових підприємств, а також житлового сектора. У разі децентралізації систем теплопостачання досягається як скорочення капіталовкладень в основні матеріали та допоміжне обладнання, за рахунок відсутності розгалужених теплових мереж, так і перекладання капіталовкладень в основне обладнання на собівартість житла, що, своєю чергою, впливає на загальну вартість жила кінцевих споживачів [36]. Зазначене останнім часом спонукало до підвищеної зацікавленості децентралізованими системами теплопостачання, особливо це стосується новітніх забудов [37].

Для забудовників більш привабливим варіантом є приготування гарячої води в децентралізованих системах теплопостачання, або локальне – у кожній квартирі [38]. Вказане пояснюється вартістю отримання гарячої води від централізованих систем теплопостачання, особливо у літню пору року. Останнім часом спостерігається також тенденція відмови від приготування гарячої води децентралізованими системами (дахові котельні) та встановлення в квартирах електробойлерів. Насамперед це стосується завищеної собівартості зазначених послуг в перші періоди після введення житлових будинків в експлуатацію, коли ще не всі квартири заселені. На відміну від житлових будинків будівлі громадського призначення споживають гарячу воду від систем децентралізованого теплопостачання. Вказане пояснюється одночасним введенням в експлуатацію всього комплексу приміщень [39].

Децентралізовані системи теплопостачання мають певні переваги:

- відсутність втрат у теплових мережах;
- наявність автоматизації та обліків теплоспоживання;
- низька інерційність до зовнішніх кліматичних чинників.

Однак водночас є певні недоліки застосування децентралізованих систем, а саме:

- жорстка прив'язаність до певного енергетичного ресурсу (в більшості випадків – природний газ);
- неможливість оперативного вирішення електроживлення при аварійних випадках;
- завищене споживання енергоресурсів у період заселення більшості мешканців.

У зв'язку з цим, ефективним енергозберігаючим заходом є розробка та впровадження централізованих систем теплопостачання із під'єднанням автономного джерела тепла із використанням відновлювальних джерел енергії (тепловий насос, геліосистеми, тощо) [40]

Вказане дозволить узгодити режими теплового споживання будівель різного типу призначення, при цьому значно підвищити надійність роботи систем теплопостачання споживачів. Оснащення таких систем централізованою автоматичною системою керування дозволить узгодити графіки теплового навантаження та підвищити якість послуг у галузі комунальної теплоенергетики, а також підвищити надійність функціонування загальної системи теплопостачання.

1.2. Застосування відновлювальних джерел енергії в системах теплопостачання для підвищення загальної енергоефективності

1.2.1. Впровадження у системи теплопостачання теплових насосів

Одним із напрямів підвищення енергоефективності теплопостачання в будівлях різного типу призначення є інтеграція в наявні системи теплозабезпечення теплових насосів, а також під час проєктування) нових комплексів, обов'язковою є наявність ТН в комбінованих системах теплопостачання [41].

Теплові насоси впродовж останніх десятиліть широко застосовуються в Європі в різних енергетичних комплексах. Вони є досить ефективними та екологічно чистими джерелами теплоти. В багатьох країнах Європейського союзу частка заміщення теплової енергії за рахунок використання теплових насосів в загальному балансі теплоенергетичного комплексу у комунальному секторі сягає понад 50 %. Насамперед це країни та регіони, що розташовані на півночі Європи. Так у Швеції працює 130 тис. теплових насосів, з яких понад 100 мають теплову потужність 10 МВт і більше. У Стокгольмі 50% теплопостачання забезпечується за рахунок ТН.

Виробництво теплових насосів у США, Японії, Німеччині, Франції, Великій Британії та інших країнах базується на виробничих потужностях холодильного машинобудування. Наприклад, у США експлуатується понад 4 млн одиниць теплових насосів потужністю до 20 кВт на базі поршневих або ротаційних компресорів. Для шкіл, торгових центрів, басейнів використовують насоси тепловою потужністю 40 кВт. Теплопостачання районів і міст здійснюється за допомогою великих ТН на базі центробіжних компресорів з Q_v понад 400 кВт.

В промисловості теплові насоси використовуються для утилізації низькопотенційного тепла. Аналіз, проведений у 100 шведських компаніях, засвідчив, що найбільш придатними сферами для застосування ТН є хімічна, харчова та текстильна промисловості, що найбільш підходящими сферами для їх застосування є хімічна, харчова та текстильна промисловості.

У країнах із суворішими кліматичними умовами доцільно застосовувати ТН у поєднанні з традиційними джерелами тепла. В опалювальний період теплозабезпечення будівель на 80-90% покривається тепловими насосами, а пікові навантаження (за низьких температур) компенсуються електрокотлами або котельнями на органічному паливі [42].

Енергетична ефективність теплових насосів оцінюється коефіцієнтами трансформації (COP), які враховують отриманий ефект відбору та передачі теплоти від низькопотенційного середовища до середовища з більшою температурою, віднесений до затраченої роботи та ККД.

Застосування теплових насосів сприяє економії органічного палива, що особливо актуально для віддалених регіонів, де транспортування палива ускладнене. За середньорічного коефіцієнта трансформації $COP=3-4$ економія палива від застосування ТН у порівнянні з котельнями становить 30-40%, тобто в середньому 6-8 кг умовного палива на ГДж. При збільшенні COP до 5 економія палива зростає до 20-25 кг у.т./ГДж у порівнянні з котельнями на органічному паливі та до 45-65 кг у.т./ГДж у порівнянні з електрокотлами.

Таким чином, теплові насоси у 1,5-2,5 рази вигідніші за котельні. Вартість тепла від ТН приблизно в 1,5 раза нижча за вартість тепла від централізованого теплозабезпечення і в 2-3 рази нижча за вартість тепла від вугільних та мазутних котелень [43].

Основне призначення теплових насосів в комунальній теплоенергетиці – забезпечення тепловою енергією систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання із використанням природних низькопотенційних джерел теплоти та скидного тепла промислового й комунально-побутового сектору. Іноді додатково виникає задача у забезпеченні додаткових технологічних потреб (наприклад теплопостачання басейнів у готельних комплексах, або у приватних будинках та спортивних закладах) [44].

1.2.2. Особливості впровадження в системи комбінованого теплопостачання різних типів теплонасосних систем

Теплові насоси за принципом передачі теплоти від низькопотенційного джерела споживачу умовно поділяють на:

- повітря-повітря;
- повітря-вода;
- вода-вода.

- Теплові насоси типу «повітря-повітря» широко застосовуються у житловому секторі та в системах центрального кондиціонування будівель громадського призначення. В житловому секторі це, насамперед, системи кондиціонування із функцією теплового насоса, в яких теплота відбирається від зовнішнього повітря та передається повітрю в приміщенні. В центральних системах кондиціонування теплота зовнішнього повітря передається теплоносію – повітрю, який забезпечує потрібні параметри мікроклімату у великих приміщеннях будівель громадського призначення (торгівельні зали, спортивні майданчики, тощо) за рахунок каналних систем кондиціонування.

- Теплові насоси типу «повітря-вода» застосовуються в гідронних системах кондиціонування (опалення). У таких системах теплота зовнішнього повітря передається теплоносію (зазвичай воді), що циркулює по внутрішнім інженерним санітарно-технічним системам будівлі та забезпечує підтримання необхідних температур внутрішнього повітря за рахунок місцевих опалювальних приладів (радіатори, конвектори, фенкойли, «тепла підлога», тощо). Вказані системи набули широкого застосування у забезпеченні теплотою готелів, приватних будинків та різних будівель громадського призначення (офісні будівлі, торговельні комплекси, тощо).

- Теплові насоси типу «вода-вода» схожі з попереднім типом, відзначаю є те, що теплота відбирається, як правило, не від зовнішнього повітря, а від інших низькопотенційних джерел теплоти за рахунок проміжного теплоносія. Як проміжний теплоносіє зазвичай використовують різного типу антифризи.) Зазначене пояснюється можливістю досягнення температур проміжного теплоносія нижче температури замерзання води.

Як низькопотенційне джерело теплоти найбільшого поширення для центральних і південних регіонів як України, так і Європи набуло зовнішнє повітря.) До переваг такого джерела теплоти можна віднести простоту інженерної системи, можливість легкого монтажу та обслуговування, низьку інерційність відбору теплоти. Водночас є вагомий недолік – температура повітря може досягати значень

менших за «-5 °C»), що призводить до зменшення потужності більшості теплових насосів (або до суттєвого збільшення споживання теплоти для низки ТН). Для ефективного використання теплових насосів подібного типу застосовують комбіновані системи теплопостачання із використанням резервного джерела теплоти (зазвичай водогрійні котли).

Ще одним поширеним джерелом низькопотенційної енергії є теплота ґрунту. До переваг застосування теплоти ґрунту можна віднести високу інерційність протягом відносно довгого періоду до коливань температури зовнішнього повітря. При цьому температура ґрунту залишається вищою за «-5 °C», що дає змогу обходитися протягом опалювального періоду без додаткових джерел теплоти та працювати з доволі високими енергоефективними показниками. Розрізняють горизонтальні колектори теплових насосів та вертикальні.

До недоліків таких систем можна віднести складність роботи та експлуатації, високовартісність. Для горизонтальних систем – обмеження потужності наявною площиною, для вертикальних систем – додаткова потреба на дозвіл буріння глибше 50 м. Для південних регіонів слід відмітити, що висока інерційність ґрунту не завжди дає переваги в енергоефективності, тому що протягом доби температура повітря може піднятися на 10 °C, в той час як регенерація теплоти в ґрунті не здатна так швидко змінити температуру на поверхні колектора.

Наступним низькопотенційним джерелом для роботи теплових насосів є ґрунтові води. Це джерело має переваги як повітря, так і ґрунту з точки зору інерційності. Однак є певні недоліки – для використання теплоти ґрунтових вод необхідно мати чітку карту із напрямком руху та балансом води. За неправильних розрахунків можливе обмерзання води та вихід із ладу ТН. Також вказана система має складнощі монтажу та експлуатації, а також більшу вартість на відміну від систем, що використовують як низькопотенційне тепло - зовнішнє повітря.

Ще одним природним низькопотенційним джерелом для роботи теплових насосів можуть бути водоймища (річки, озера, моря). На відміну від ґрунтових вод водойми мають відомі напрямки руху та баланс. Однак є певні вади використання теплоти водойм: дозвіл екологічних служб; протяжність проміжного контуру; замулення та заростання колекторів. Унаслідок зазначених причин подібні системи не набули поширення.

До штучних низькопотенційних джерел в комунальній теплоенергетиці можна віднести теплоту каналізаційних стоків. Розрізняють локальні системи утиліза-

ції та центральні. Локальні системи здатні утилізувати теплоту стоків безпосередньо локально на місці викиді та повернути отриману теплоту споживачеві. При цьому потрібно виконати доволі складні роботи на існуючих системах каналізації. Також обслуговування таких систем теж доволі складне. Центральні системи утилізують теплоту каналізаційних стоків на каналізаційних станціях, водночас установа та обслуговування систем значно простіше, ніж у локальних. Однак є проблема доставити отримане тепло споживачам, необхідно розробляти локальні теплові мережі, що також ускладнює експлуатацію подібних систем.

Аналізуючи вище сказане можна зробити висновок, що для умов України для будівель різного типу призначення комунального сектору за умовами використання як централізованих систем теплопостачання, так і децентралізованих систем найраціональнішими, з точки зору експлуатації, є комбіновані системи теплопостачання із використанням теплових насосів типу «повітря-вода» із відбором теплоти від зовнішнього повітря [45]. Як резервне джерело теплоти можуть виступати як водогрійні котли, так і системи централізованого теплопостачання.

1.2.3. Перспективи інтеграції систем сонячної енергетики для будівель різного типу

Однією з найпоширеніших систем відновлюваної енергетики є системи, що видобувають енергію різного виду (теплову, електричну, комбіновану) [46]. Найбільшого поширення на початку 2000 років для комунальної енергетики набули геліосистеми, які призначені для генерації теплової енергії на потреби систем теплопостачання за рахунок енергії сонця. Насамперед такі системи встановлювали для приготування гарячої води для санаторіїв та готелів сезонного типу на південному узбережжі Чорного моря. Потім досвід почав поширюватися на приватні будівлі та невеликі підприємства закладів громадського харчування. Вказані системи як правило задовольняли потреби гарячого водопостачання у літню пору року та не відігравали ніякої ролі у системі теплопостачання в опалювальний період.

Впродовж наступних років за рахунок розвитку технологій та зростання цін на енергоносії геліосистеми все частіше почали інтегрувати в комбіновані системи теплопостачання для зменшення частки споживання традиційних енергоресурсів. Як правило, для узгодження генерації теплоти та потреб споживання, встановлювалися баки акумулятори. Однак доволі часто використовували схеми із од-

ним баком акумулятором без урахування стратифікації за висотою. Внаслідок чого велика частина теплової енергії від сонця, що мала низький температурний потенціал, взагалі не використовувалася в опалювальний період [47].

Ще важливим питанням є тип геліосистем. Зазвичай найпоширеніші сонячні геліосистеми з плоскими колекторами і вакуумні сонячні колектори. Кожний тип має свої переваги та недоліки.

Вакуумні сонячні колектори мають низькі тепловтрати та можуть працювати за досить низької температури зовнішнього повітря, можуть генерувати високі температури, зручні в монтажі, низька парусність, значно простіша ремонтпридатність. На відміну від вакуумних плоскі колектори легше очищаються від снігу, висока продуктивність влітку, менша вартість.

Ще одним із важливих факторів – методики та програми розрахунку і підбору основного обладнання. Цим задачам присвячено доволі багато робіт, результати яких увійшли до програмних комплексів розрахунків та підбору основного, а також допоміжного обладнання. В цих роботах основна увага приділяється кліматичним даним встановлення колекторів, основного сезону роботи та режимам експлуатації геліосистем. Також багатозначущим є інтеграція геліосистем в загальну систему теплопостачання із урахуванням режимних карт роботи основних джерел енергії [48].

В більшості випадків обмеженням потужності є площа даху, на якому встановлюються сонячні системи, та сезонність роботи геліосистем. Останній фактор потребує техніко-економічного обґрунтування. З одного боку максимальне розташування сонячних колекторів на даху дає можливість підвищити частку заміщення теплової енергії в системі комбінованого теплопостачання, з іншого боку виникає проблема утилізації надлишкової теплоти влітку.

Для багатоповерхових будівель розвинене поле геліосистем здатне максимально замінити споживання теплоти влітку на потреби гарячого водопостачання, при цьому її внесок в заміщення теплової енергії у опалювальний період незначний. Для приватних будівель розвинене поле сонячних колекторів в літню пору року не може використовувати ефективно всю поверхню без додаткового споживача теплоти (наприклад басейн).

Іншим шляхом використання площі даху для відновлювальних джерел енергії є встановлення сонячних електричних станцій. При цьому загальна потужність виробленої енергії буде меншою за геліосистеми, однак здобута електроенергія

може використовуватися більш функціонально, насамперед як резервне та аварійне джерело електроенергії із покриттям потреб найважливіших споживачів. Встановлення додаткових акумуляторів здатне розширити коло споживачів. Ще одним шляхом є скидання надлишків електроенергії (в першу чергу в літній період) у центральні системи електропостачання з можливістю повертання у вечірні та нічні періоди.

Наступним одним напрямком використання сонячної енергії є комбінований видобуток як електричної, так і теплової енергії. Основним обладнанням в таких системах є фотоелектричний тепловий колектор. Вказана система є однією з найцікавіших технологій перетворення сонячної енергії, яка поєднує виробництво електричної та теплової енергії в одному пристрої. При цьому можливе поєднання фотоелектричного теплового колектора із тепловими насосами. Поєднання цих двох технологій в інтегрованій системі дає змогу задовольнити значну частку теплових потреб будівлі завдяки відновлюваним джерелам енергії та покращити продуктивність як фотоелектричного, так і теплового колекторів і ТН [49]. Перший охолоджується, підвищуючи його ефективність перетворення енергії, водночас надаючи низькотемпературну теплову енергію другому, який виграє від вищої температури випаровування [50].

Виходячи з аналізу наведених факторів, можна зробити висновок, що найраціональніше використання потенціалу сонячної енергії для багатопверхових будівель є застосування геліосистем для покриття потреб гарячого водопостачання у літню пору року (в першу чергу це стосується санаторіїв та готелів сезонного типу). Для малоповерхових будівель та приватних будинків доцільно розглядати комбіновану генерацію теплоти та електроенергії впродовж року.

1.3. Специфіка режимів роботи систем теплопостачання будівель різного типу призначення

Будинки громадського призначення, на відміну від житлових будівель мають дуже різноманітний діапазон теплових навантажень [51] за видами теплоспоживання. Здебільшого на теплопостачання таких будівель впливає саме характер їхнього призначення, та режими відвідування протягом доби та тижня. Кожна із наведених раніше категорій відрізняється співвідношенням часток теплоспоживання

за видами теплового навантаження та організаційно-експлуатаційними режимами будівель [52].

Адміністративні будівлі та офісні центри зазвичай мають рівномірний графік витрати теплоти на потреби гарячого водопостачання впродовж робочого дня, при цьому відсоток на вказане навантаження відносно малий. Системи вентиляції працюють тільки впродовж робочого дня і, зазвичай, останнім часом оснащені рекуператорами теплоти, що дає змогу значно знизити частку теплоти на підігрів свіжого повітря. Система опалення працює впродовж доби і її теплова потужність залежить від температури зовнішнього повітря та внутрішніх і зовнішніх теплонадходжень. Доволі часто, за належної автоматизації, в неробочий час температура внутрішнього повітря зменшується, однак актуальним є питання виведення на робочий режим приміщень будівлі. Відношення витрат на системи опалення та вентиляції між собою мають відносно не велику різницю протягом робочого дня.

Торгівельні комплекси у багатьох випадках працюють впродовж тижня та доби, тому нерівномірність спостерігається між видами теплового навантаження залежно від насичення торговельних центрів відвідувачами. Системи вентиляції не завжди вдається оснастити рекуператорами (згідно з наявними нормами) низка приміщень не може обслуговуватися вентиляційними системами із рекуперацією теплоти), тому зростає частка теплоти на підігрів зовнішнього повітря. Теплопостачання систем вентиляції залежить від періоду роботи протягом доби та тижня. Чим більше відвідувачів, тим витрата повітря зростає, що веде до зростання теплової потужності роботи калориферів систем [53].

Системи гарячого водопостачання можуть мати пік споживання вранці (у разі використанні баків акумуляторів), рівномірну роботу впродовж дня та підвищений режим споживання ввечері. Система опалення працює цілодобово із потужністю, яка має обернену залежність (на відміну систем вентиляції і гарячого водопостачання) від кількості відвідувачів за рахунок внутрішніх та зовнішніх теплонадходжень (відвідувачі, сонячна радіація, тепло холодильних установок, тощо). У торговельних комплексах можливо використовувати теплоту конденсації холодильних машин для підігріву приміщень та приготування гарячої води. В торговельних та торговельно-розважальних центрах співвідношення між витратами теплоти на опалення та вентиляції, як правило, більше у бік вентиляції. При цьому незначно менші витрати теплоти на гаряче водопостачання. Завдяки розвиненій

системі вентиляції можливо більш швидко організувати перехід на робочий режим експлуатації.

Особливістю теплозабезпечення навчальних закладів, крім добової та тижневої нерівномірності, є ще й суттєва річна нерівномірність, яка зумовлена літніми канікулами. Добова нерівномірність залежить від графіка навчального процесу та наявності додаткових навчальних та культурних заходів [54]. Пік теплового навантаження припадає в опалювальний період на робочі дні з 8-00 до 15-00. При цьому, за умов максимального заповнення класів та аудиторій, можливе часткове зменшення навантаження на опалення внаслідок суттєвих тепловиділень та збільшені навантаження на системи вентиляції за їх наявності. Співвідношення розподілу теплового навантаження між видами споживання теплоти доволі суттєво залежить від насиченості навчальних закладів різними додатковими приміщеннями (спортивні зали, басейни, лабораторні та технологічні цехи, заклади харчування, тощо).

Що стосується житлових будівель, а саме гуртожитків та котеджних селищ житлових районів, то в них спостерігається протилежний графік споживання теплоти щодо будівель громадського призначення. А саме, максимальне споживання припадає на вечір та ранок. При цьому впродовж дня споживання зменшується внаслідок переміщення мешканців на роботу [55]. В таких будівлях зазвичай вид теплового навантаження на системи вентиляції відсутній.

В комплексі для розглянутих вище будівель громадського призначення доцільність використання змінного режиму теплопостачання впродовж доби є незаперечною і очевидною, тому що, під час їхньої експлуатації, характерною є здатність цих систем теплозабезпечення до природного перерозподілу та компенсації одних видів теплових потреб іншими, тобто здатність систем теплопостачання до «самокомпенсації» як локальної (відповідно до конкретної будівлі), так і загальної за умови роботи централізованих систем теплопостачання [56].

Для розглянутих типів будівель необхідно виконати додаткові теоретичні та експериментальні дослідження щодо визначення раціональних режимів роботи як систем централізованого теплопостачання, так і роботи індивідуальних теплових пунктів.

На режим споживання тепла впродовж року впливає температура зовнішнього повітря (опалення, вентиляція, частково ГВП) та призначення будівлі (ГВП) [57].

Для аналізу ефективності режимів теплоспоживання було обрано чотири типи будівель:

- житловий будинок;
- навчальний заклад;
- офісний центр;
- будинок громадського призначення (торгівельний комплекс).

1.3.1. Режими споживання теплової енергії впродовж року будинками різного типу призначення

Проведене дослідження графіків загального споживання теплоти чотирма різними за призначенням типами будівель (рис.1.3–1.6) показує, що для всіх типів будівель, відбувається нерівномірність споживання теплоти протягом року. При цьому для навчальних закладів перепад навантаження протягом року за рахунок режимів експлуатації будівель є найбільш максимальним.

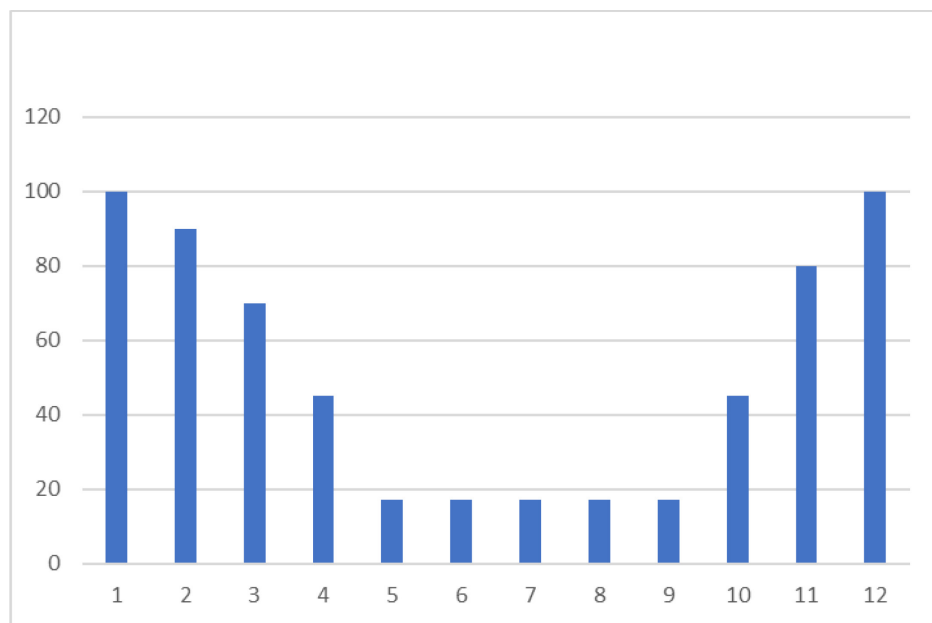


Рисунок 1.3 – Діаграма річного споживання тепла житловим будинком

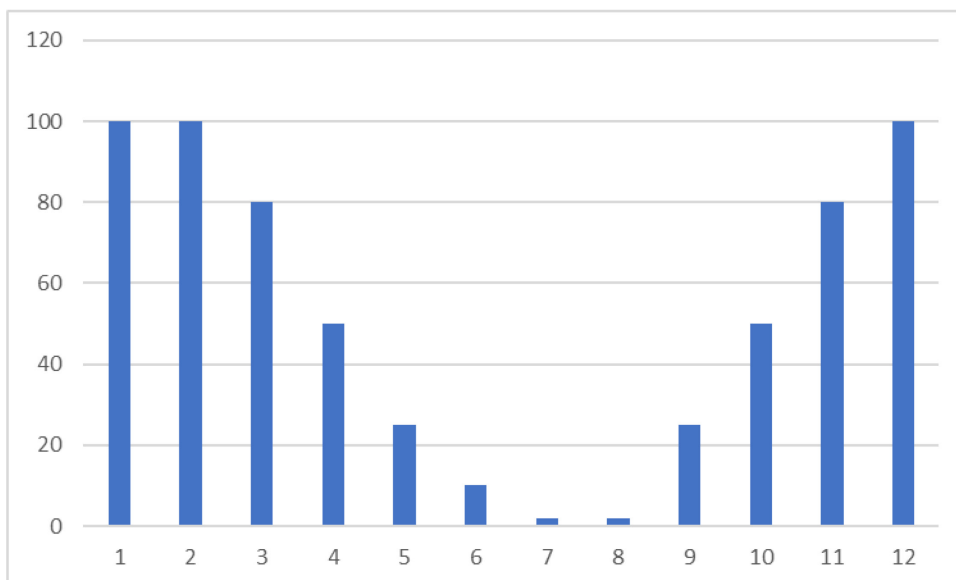


Рисунок 1.4 – Діаграма річного споживання тепла навчальним закладом

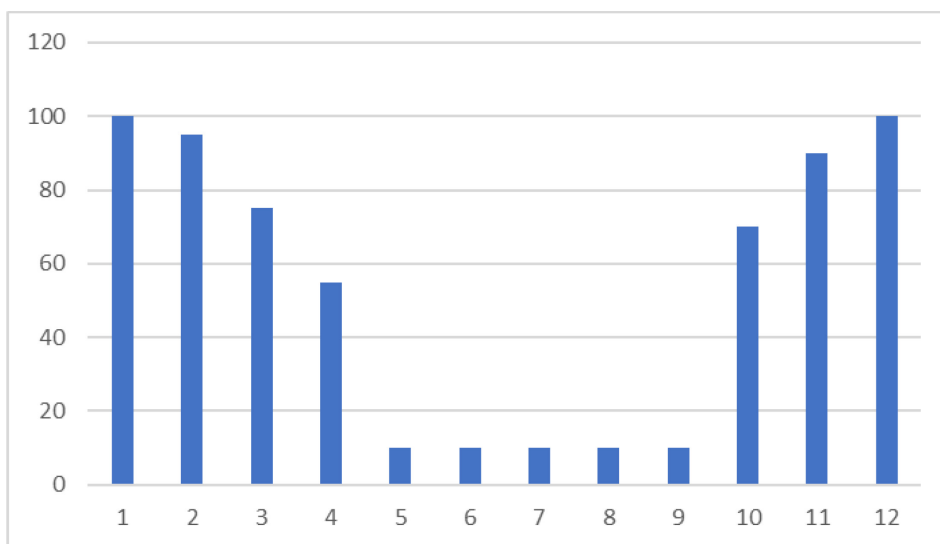


Рисунок 1.5 – Діаграма річного споживання тепла офісним центром

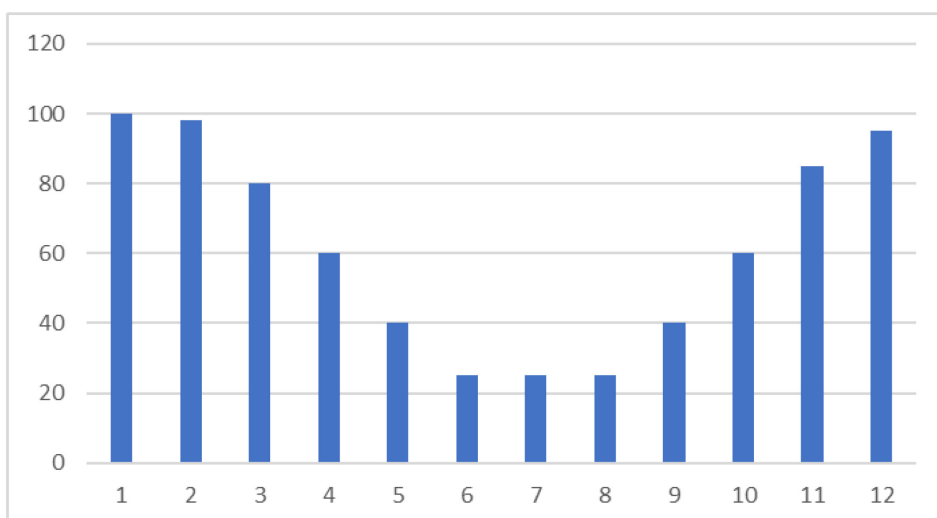
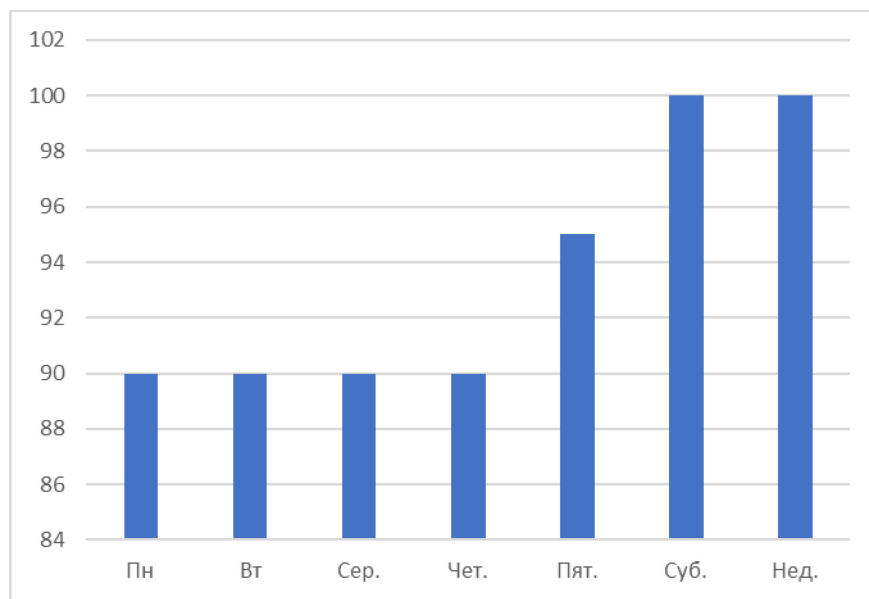


Рисунок 1.6 – Діаграма річного споживання тепла торгівельно-розважальним центром

1.3.2. Режими споживання теплової енергії впродовж тижня будинками різного типу призначення

На режим теплопостачання будівель різного виду призначення впродовж тижня здебільшого впливає призначення будівлі та режим експлуатації її внутрішніх санітарно-інженерних систем. Для обраних раніше типів будівель було проведено дослідження режимів експлуатації із узагальненням процесів для різних впливових показників внутрішніх та зовнішніх чинників.



(Рисунок 1.7 – Діаграма споживання тепла впродовж тижня житловим будинком)

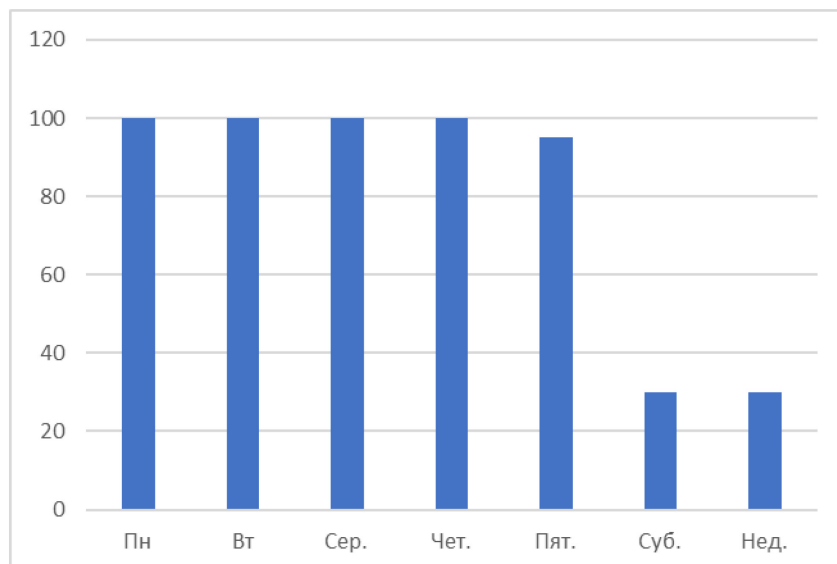


Рисунок 1.8 – Діаграма споживання тепла впродовж тижня навчальним закладом

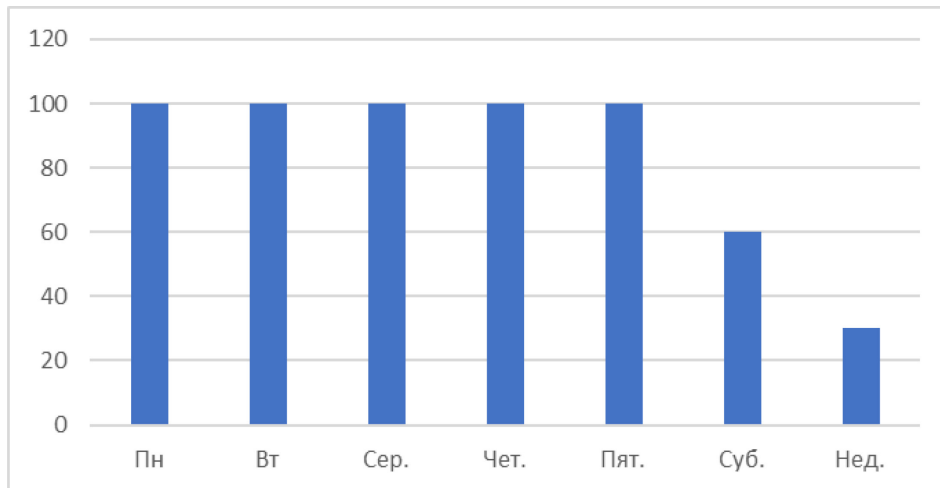


Рисунок 1.9 – Діаграма споживання тепла впродовж тижня офісним центром

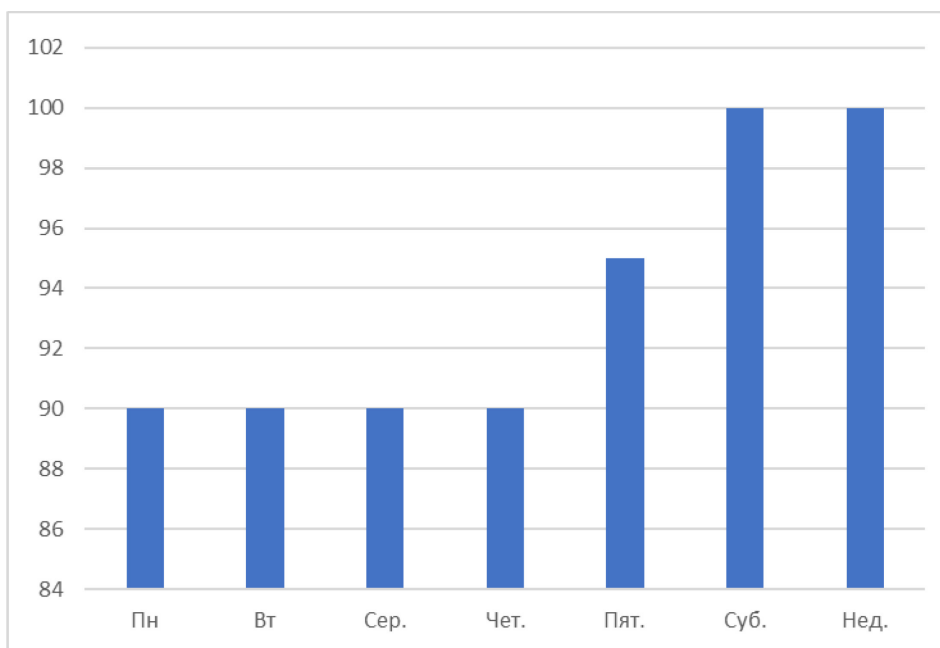


Рисунок 1.10 – Діаграма споживання тепла впродовж тижня торгівельно-розважальним центром

Проведений аналіз узагальнених графіків споживання теплоти (рис.1.7–1.10) показує, що тижневий максимум для будівель житлового призначення припадає на вихідні дні. У зазначений період для більшості будівель громадського призначення спостерігається значне зниження теплоспоживання внутрішніми санітарно-інженерними системами. В той же час для торгівельно-розважальних центрів спостерігається максимум теплоспоживання на вихідні дні (рис.1.10).

Як видно з результатів дослідження, впродовж року спостерігається дотична динаміка графіків теплового навантаження для будівель різного типу призначення. Протягом тижня є дисбаланс графіків теплового навантаження для будівель

житлового та громадського типу призначення, що дає змогу розглянути процес самобалансування систем централізованого теплопостачання житлового масиву.

Доволі складне завдання виникає для вирішення самобалансування систем централізованого теплопостачання житлового масиву впродовж доби. Для цього для певних типів будівель було проведено дослідження графіків теплового навантаження протягом доби різними видами теплового споживання.

1.4. Висновки до розділу

1. Проведений аналіз роботи систем теплопостачання виявив потенціал зменшення потужностей генераторів теплоти, допоміжного обладнання та діаметрів теплових мереж під час модернізації систем теплопостачання за рахунок дійсних потреб теплоспоживання в існуючих умовах.

2. Для сучасних кліматичних умов як України, так і центральної частини Європи доцільним є використання теплонасосних систем (насамперед із відбором теплоти від зовнішнього повітря) в комбінації із резервним джерелом енергії: водогрійні котли, або централізовані системи теплопостачання.

3. Застосування для сонячної енергетики різних видів інженерних систем для потреб комунального теплоспоживання залежить від типу призначення будівлі та питомої площі даху відносно загальної площі приміщень. Для малоповерхових житлових будівель доцільно комбінований видобуток як тепла на потреби систем теплопостачання, так і електроенергії для забезпечення основних споживачів будинку.

4. Дослідження режимів експлуатації будівель різного типу призначення дозволяє виявити потенціал самобалансування систем централізованого теплопостачання, що своєю чергою призведе до зменшення потужності основних генераторів теплоти та виявить можливості раціонального застосування відновлювальних джерел енергії.

РОЗДІЛ 2.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО ТИПУ ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1. Особливості роботи систем централізованого теплопостачання.

Централізована система теплопостачання житлового масиву є доволі складною розвиненою структурою локальних систем теплопостачання будівель різного типу призначення. Вплив на роботу системи централізованого теплопостачання обумовлений режимами експлуатації внутрішніх інженерних санітарно-технічних систем будівель різного типу призначення [58].

Як правило, теплопостачання житлового масиву за рахунок використання децентралізованих систем (наприклад локальні котельні) має значні переваги порівняно з централізованими системами, що включають складну структуру [59]:

- більш ефективне використання палива;
- підвищення рівня автоматизації теплотехнічних процесів;
- зниження рівня шкідливих викидів у атмосферу;
- зменшення кількості обслуговуючого персоналу.

Однак централізовані системи теплопостачання мають змогу урахувати дисбаланс теплової потужності будівель різного типу призначення в загальній системі теплових мереж, тим самим зменшити потужність основних генераторів теплоти [9]. Також немаловажним фактором є можливість підвищення надійності роботи районних котелень за рахунок встановлення додаткових джерел енергопостачання [60].

Система централізованого теплопостачання житлового масиву зазвичай включає в себе структуру ланки центральних теплових пунктів, які забезпечують потреби у теплоті різних як житлових будівель, так і споруд громадського призначення. Кожна із вказаних будівель має свій набір систем, які потребують теплопостачання. Вказані системи характеризуються як унікальним набором видів теплоспоживання, так і режимами їх роботи в залежності від внутрішніх та зовнішніх чинників.

Центральні теплові пункти можуть бути пов'язані між собою за допомогою спеціальних ділянок трубопроводів теплових мереж [61]. При цьому теплові пункти забезпечують тепловою потужністю будівлі, які розташовані у межах відповідальності кожного центрального теплового пункту. Кожен такий житловий масив

має своє унікальне співвідношення кількості житлових будівель та будівель громадського призначення.

Основним джерелом тепла в сучасних системах теплопостачання є опалювальні райони водогрійні котельні, що працюють на природному газі. Переведення на альтернативні види палива зазвичай потребують повної, або часткової реконструкції котельень. Використання відновлювальних джерел енергії (теплові насоси, геліосистеми) зазвичай спостерігається на рівні теплових пунктів будівель, рідше на центральних теплових пунктах [62].

Найважливішою характеристикою централізованих теплових мереж є встановлене та приєднане теплове навантаження. При цьому зазвичай теплові потреби будівель розраховуються із максимального теплового навантаження всіх видів споживачів (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, технологічні потреби) за умовами температури зовнішнього повітря, яка дорівнює розрахунковій температурі самої холодної п'ятиденки. При проєктуванні централізованих систем теплопостачання, як правило, закладали запас на перспективу підключення нових абонентів, що, своєю чергою, призводило до збільшення, як потужності джерел теплоти, так і діаметрів теплових трас, а також потужності допоміжного обладнання (циркуляційних насосів, теплообмінних апаратів, систем водопідготовки, бойлерів, тощо). В цей час більшість теплових мереж потребують значної реконструкції. У великих містах зазвичай централізовані системи теплопостачання вже повністю задіяні абонентами і визначені за роки експлуатації навантаження як на джерела теплоти, так і на теплові мережі. Вказане дозволяє суттєво переглянути реальні режими теплоспоживання житловими масивами та мікрорайонами.

При цьому слід розрізняти типи абонентів за їх режимами споживання теплової енергії як впродовж доби, так і впродовж тижня. Зазвичай для житлових масивів притаманна така класифікація будівель:

- житлові будівлі та заклади охорони здоров'я (багатоповерхові будівлі, котеджі, гуртожитки, приватні житлові будинки);
- адміністративні будівлі (адміністрація різних видів самоврядування, офісні будівлі, проєктні інститути, тощо);
- навчальні заклади (дитячі садки, школи, корпуси навчальних закладів різних видів підготовки);
- торгівельні комплекси.

Кожен із вказаних типів будівель має власний характерний режим теплоспоживання за різними видами теплового навантаження [63]. Залежно від насичення житлового масиву різними видами будівель, загальне теплове навантаження на системи центрального тепlopостачання може змінюватись впродовж доби та тижня.

2.2. Режими споживання теплоти різними видами теплового навантаження протягом доби будівлями громадського призначення

Теплові втрати будівлі у довкілля визначаються процесом теплообміну між повітря внутрішнім і зовнішнім у формі теплопередачі. Як розділову стінку використовують будівельні огороження приміщення. Виконання цільової задачі системою опалювання забезпечується компенсацією втраченої теплоти з опалювального приміщення до навколишнього середовища тепловими можливостями систем, тобто підтриманням балансу між втратами теплоти з приміщення і прибутком теплоти до приміщення. Рівняння теплового балансу - між прибутком і втратами теплоти - для приміщення має вигляд рівняння [64]:

$$Q_{on} = Q_{ogor} + Q_{inf} + Q_{ox} - \Sigma Q_{tw}, \text{ кВт} \quad (2.1)$$

де: Q_{on} - теплота, що подається до приміщення опалювальною системою, кВт;

Q_{ogor} - тепловтрати теплопередачею через зовнішні огороження, кВт;

Q_{inf} - тепловтрати інфільтрацією через надходження в приміщення холодного повітря в наслідок нещільності зовнішніх огорожень, кВт;

Q_{ox} - витрата теплоти на підігрів холодних предметів, кВт;

ΣQ_{tw} - внутрішні тепловиділення в приміщенні, кВт.

Кількість теплоти що надходить в приміщення від людей визначають за формулою

$$Q_{люд} = N_{люд}/N_{макс} * n * q_{люд}, \text{ кВт} \quad (2.2)$$

де $N_{люд}/N_{макс}$ - відсоткове співвідношення кількості людей в окремий час доби до максимальної можливої кількості;

n — чисельна, максимальна кількість людей, яка перебуває в ТРЦ;

$q_{люд}$ — кількість тепла що надходить в приміщення від однієї людини, кВт.

Витрата теплоти на вентиляцію виробничих і комунальних підприємств, а також суспільних будинків і культурних установ складає значну частку сумарного

теплоспоживання об'єкта. У виробничих підприємствах витрата теплоти на вентиляцію часто перевищує витрату на опалення [65].

Орієнтований розрахунок витрати теплоти на вентиляцію можна проводити за формулою

$$Q_v = m \cdot V_v \cdot c_v (t_{en} - t_{ze}), \text{ Вт} \quad (2.3)$$

де Q_v - витрата теплоти на вентиляцію, Вт;

m - кратність обміну повітря, 1/с;

V_v - вентиляований об'єм будинку, м³;

c_v - об'ємна теплоємність повітря, дорівнює 1050 Дж/(м³ К) або 0,3 ккал/(м³ °С);

t_{en} - температура нагрітого повітря, що надається у приміщення, °С;

t_{ze} - температура зовнішнього повітря, °С.

Розрахунок теплового навантаження гарячого водопостачання виконується згідно існуючих норм та правил. Тобто на основі встановлених норм гарячої води на 1 особу за добу, л/люд. (кг/люд.) визначаються секундні витрати, які після корегування в умовах реальної добової і тижневою нерівномірностей. Таке уточнення витрат гарячої води дозволяє надати якісну послугу споживачу - споживач гарантовано отримує гарячу воду встановленої температури ($t_{г.в.} = 55$ °С)

Секундні витрати води водорозбірною арматурою (приладом), віднесені до одного приладу, слід визначати різними приладами, обслуговуючих різних водоспоживачів, за формулою

$$q_0 = \frac{\sum_i N_i P_i q_{0i}}{\sum_i N_i P_i}, \text{ л/с} \quad (2.4)$$

де P_i — вірогідність дії санітарно-технічних приладів, яка визначена для кожної групи водоспоживачів;

q_{0i} — секундна витрата води (загальна, гаряча, холодна), л/с, водорозбірною арматурою (приладом), прийнята згідно обов'язковому застосуванню для кожної групи водоспоживачів.

У житлових і громадських будівлях і спорудах, по яких відсутні зведення про витрати води і технічні характеристики санітарно-технічних приладів, допускається приймати:

$$q_0^{tot} = 0,3 \text{ л/с}; \quad q_0^h = q_0^c = 0,2 \text{ л/с}. \quad (2.5)$$

Максимальну секундну витрату води на розрахунковій ділянці мережі q (q^{tot} , q^h , q^c), слід визначати по формулі

$$q = 5q_0 \alpha, \text{ л/с} \quad (2.6)$$

де α — коефіцієнт, що визначається згідно рекомендованого додатку в залежності від загальної кількості приладів N на розрахунковій ділянці мережі і вірогідності їхньої дії P .

2.2.1. Режими споживання теплоти різними видами теплового навантаження протягом доби. Торгівельно-розважальний центр

Для визначення графіків зміни теплового навантаження торговельно-розважальними комплексами на основі багаторічних досліджень для типового ТРЦ [20] було проведено дослідження зміни теплового навантаження впродовж доби у будні та вихідні дні за прийнятих таких вихідних даних.

Вплив на теплові навантаження

Опалення — змінюється через тепловиділення від людей (чим більше людей, тим менше потрібно тепла від системи).

Вентиляція — збільшення кількості людей підвищує теплові навантаження через підвищену потребу в повітрообміні.

ГВП — більше відвідувачів відповідно більше використання води, особливо в туалетах і фуд-корті.

Вихідні дані для моделювання режимів роботи систем

Об'єкт : Торгівельно-розважальний центр.

Загальна площа - 2920 м²

Загальна кількість приміщень - 72 шт

Призначення приміщень:

Магазини - 18 приміщень, загальною місткістю 30 осіб

Кінозали - 6 приміщень, загальною місткістю 120 осіб

Зона прийому їжі - 1 приміщення, загальною місткістю 200 осіб

Зони приготування їжі - 8 фуд-кортів, загальною місткістю 4 особи в кожному

Санвузли - 12 приміщень

Зони для миття рук - 3 зони

Робочі кабінети - 12 кабінетів, загальною місткістю по 8 осіб в кожному

Технічні та допоміжні приміщення - 10 приміщень

Загальна кількість людей - $N_{\text{макс}} = 1588$ осіб

Розрахункові зовнішні та внутрішні температурні параметри для підбору систем теплопостачання

Температура зовнішнього повітря: -18°C

Внутрішні температури:

$+22^{\circ}\text{C}$ – санвузли;

$+20^{\circ}\text{C}$ - зали торгівлі, кінозали, фуд-корти, кабінети;

$+18^{\circ}\text{C}$ - технічні приміщення.

Розрахункові теплові навантаження на будівлю

Опалення - $Q_{\text{оп.макс}} = 137$ кВт

Вентиляція - $Q_{\text{вент.макс}} = 275$ кВт

Гаряче водопостачання - $Q_{\text{гвп.макс}} = 200$ кВт

Джерела теплопостачання

Газові напольні , конденсаційні котли тепловою потужністю 96 кВт - 3 шт

Тепловий насос із відбором теплоти від зовнішнього повітря тепловою потужністю 120 кВт - 1 шт

Тепловиділення від людей - $q_{\text{люд}} = 0,12$ кВт/людина

Будній день

Орієнтовний графік відвідуваності (на базі ТРЦ у великих містах)

Типові патерни для торгових центрів (табл.2.1):

Таблиця 2.1

Основні показники для розрахунку зміни теплового навантаження

ТРЦ протягом буднього дня за видами теплового навантаження

Час доби	Люди, %	Опалення, %	Вентиляція, %	ГВ П, %	Загальне навантаження, %
Ранок (10-12)	30%	58%	30%	30%	52%
День (12-17)	50%	30%	50%	50%	65%
Вечір (17-21)	90%	0%	90%	90%	100%
Ніч (21-10)	10%	86%	10%	10%	39%

Розрахунок для кожного періоду доби

Зміни навантажень на систему опалення з урахування теплового впливу людей:

$$Q_{op} = Q_{op.макс} - Q_{люд}, \text{ кВт} \quad (2.7)$$

де $Q_{op.макс}$ — максимальна кількість тепла, (яка) необхідна для системи опалення будівлі ТРЦ, кВт;

$Q_{люд}$ — кількість тепла, що надходить в приміщення від людей, кВт.

Розрахунок зміни теплового навантаження на систему вентиляції. Вентиляційне навантаження змінюється пропорційно до кількості людей:

$$Q_{вент} = Q_{вент.макс} * N_{люд}/N_{макс}, \text{ кВт} \quad (2.8)$$

де $Q_{вент.макс}$ — максимальна кількість тепла (яка) необхідна для системи вентиляції будівлі, кВт;

$N_{люд}/N_{макс}$ — відсоткове співвідношення кількості людей в окремий час доби до максимальної можливої кількості.

Розрахунок теплового навантаження на системи гарячого водопостачання. Теплове навантаження на систему ГВП також змінюється пропорційно до кількості людей в ТРЦ та визначається за формулою

$$Q_{гвп} = Q_{гвп.макс} * N_{люд}/N_{макс}, \text{ кВт} \quad (2.9)$$

де $Q_{гвп.макс}$ — максимальна кількість тепла (яка) необхідна для системи вентиляції будівлі, кВт;

$N_{люд}/N_{макс}$ — відсоткове співвідношення кількості людей в окремий час доби до максимальної можливої кількості.

Загальний баланс потужностей систем тепlopостачання будівлі з урахування кількості тепла що надходить в приміщення від людей (табл. 2.2), (рис. 2.9):

$$Q_{заг} = Q_{op} + Q_{вент} + Q_{гвп}, \text{ кВт} \quad (2.10)$$

де Q_{op} — навантаження на систему опалення, кВт;

$Q_{вент}$ — навантаження на систему вентиляції, кВт;

$Q_{гвп}$ — навантаження на систему гарячого водопостачання, кВт.

Таблиця 2.2

Основні дані розрахунку зміни теплового навантаження ТРЦ протягом буднього дня за видами теплового навантаження

Час доби	Кількість людей	Тепло від людей, кВт	Опалення, кВт	Вентиляція, кВт	ГВП, кВт	Загальне навантаження, кВт
Ранок (10-12)	476	57,2	79,8	82,5	60	222,3
День (12-17)	794	95,3	41,7	137,5	100	279,2
Вечір (17-21)	1429	171,5	0	247,5	180	427,5
Ніч (21-10)	159	19,1	117,9	27,5	20	165,4

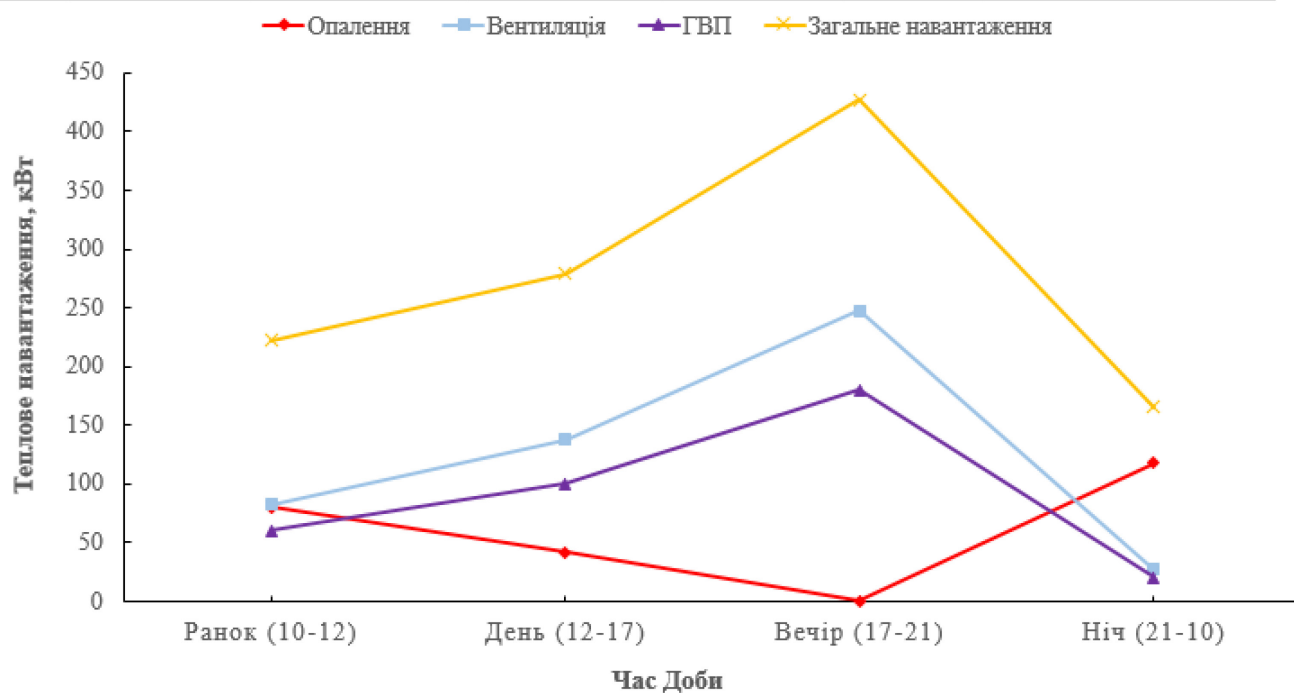


Рисунок. 2.1– Зміна теплових навантажень ТРЦ за видами теплового споживання впродовж доби у будній день

Отримані результати моделювання дозволяють зробити висновки стосовно зміни різних видів теплового навантаження торгівельно-розважального центру впродовж доби у будній день. Пік загального теплоспоживання припадає на вечірні години, коли люди повертаються з роботи. При цьому, як видно з графіку (рис. 2.1) тепlopостачання систем вентиляції та гарячого водопостачання в цей період доби максимальне, а навантаження на систему опалення – мінімальне. За-

значене пояснюється суттєвим збільшенням відвідувачів, що впливає на зростання продуктивності систем вентиляції та гарячого водопостачання, водночас, за рахунок збільшення внутрішніх теплонадходжень, які в першу чергу пов'язані із відвідувачами, зменшується навантаження на систему опалення.

Вранці та вночі – навпроти, за рахунок низької кількості відвідувачів, система опалення має найбільші значення, в той же час навантаження на системи вентиляції та гарячого водопостачання - мінімальні. Вказані обставини (урахування кількості теплонадходжень від людей) дозволяє значно знизити максимальні потужності системи теплопостачання торгівельно-розважального комплексу та реалізувати принципи компенсації одних видів теплового навантаження іншими. Потенціалом до додаткового вирівнювання графіка теплопостачання комплексу є акумулювання теплоти у нічні та ранкові часи, насамперед для гарячого водопостачання.

Також слід відмітити відсоткове відношення розрахункових значень різних видів теплового навантаження в загальному теплоспоживанні ТРЦ, а саме опалення – 22 %, вентиляція – 45 %, гаряче водопостачання – 33 %.

Розрахунок споживання електроенергії та газу інженерними системами ТРЦ протягом доби

Джерела теплопостачання

Тепловий насос повітря-вода загальною потужністю 120 кВт, COP = 3,0 у кількості 1 шт. є основним, першочерговим джерелом теплопостачання [66]..

Газові напольні, конденсаційні котли тепловою потужністю 96 кВт, ККД=90% у кількості 3 шт. виступають в якості додаткових джерел теплопостачання.

Теплотворна здатність природнього газу прийнята - $H_f = 8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$

1) Розрахунок споживання електроенергії тепловим насосом

Тепловий насос першочергове та основне джерело, тому завжди працює на максимум протягом дня. Споживання електроенергії тепловим насосом протягом години, з урахування COP:

$$W_{el} = Q_{\text{тепл.насос}} / \text{COP} \quad (2.11)$$

де $Q_{\text{тепл.насос}}$ — максимальна кількість тепла, яка може виділятися тепловим насосом за годину роботи, кВт;

COP — коефіцієнт енергоефективності (перетворення), який показує кількість теплової енергії, отриманої від теплового насоса при споживанні 1 кВт * год електричної енергії.

2) Визначення потреби в додатковому теплі від газових котлів, яке необхідно для покриття загальних теплових навантажень будівлі, з урахуванням потужності від теплового насосу:

$$Q_{\text{котли}} = Q_{\text{загальне}} - Q_{\text{тепл.насос}}, \text{ кВт} \quad (2.12)$$

де $Q_{\text{загальне}}$ — кількість енергії, яка необхідна для покриття загальних теплових навантажень на будівлю, кВт;

$Q_{\text{тепл.насос}}$ — кількість тепла, що виділяється під час роботи теплового насосу, кВт.

Кількість газу, яку споживають напольні котли при роботі в комбінації з тепловим насосом розраховують за формулою

$$V_{\text{газ}} = Q_{\text{котли}} / (KKД * H_2), \text{ м}^3 \quad (2.13)$$

де $Q_{\text{котли}}$ — потреби в додатковому теплі від газових котлів, яке необхідно для покриття загальних теплових навантажень будівлі, кВт;

$KKД$ — коефіцієнт корисної дії газових котлів згідно з вихідними даними;

H_2 — теплотворна здатність природного газу згідно з вихідними даними, кВт·год/м³.

За вказаними періодами роботи ТРЦ визначено основні дані зміни споживання енергоресурсів ТРЦ (табл 2.3.).

Таблиця 2.3

Основні дані зміни споживання енергоресурсів ТРЦ протягом буднього дня

Час доби	Загальне навантаження, кВт	Тепло від теплового насосу, кВт	Споживання електроенергії, кВт*год	Потреба в додатковому теплі, кВт	Споживання газу, м ³
Ранок (10-12)	222,3	120	40	102,3	14,21
День (12-17)	279,2	120	40	159,2	22,11
Вечір (17-21)	427,5	120	40	307,5	42,71
Ніч (21-10)	165,4	120	40	45,4	6,31

Аналіз отриманих результатів щодо споживання енергоресурсів дозволяє зробити наступні висновки:

- тепловий насос працює на максимум у всі періоди, та покриває базові потреби теплового навантаження.
- газові котли вмикаються тільки в разі перевищення максимального навантаження теплового насоса, і в разі підвищенні температур теплоносія, більших за робочі температури теплового насоса.
- вранці та вночі котли працюють на мінімальному рівні, ввечері, внаслідок максимальної кількості відвідувачів, споживання газу максимальне.

2.2.2. Режими споживання теплоти різними видами теплового навантаження протягом доби адміністративною будівлею. Офісний центр

Вихідні дані для моделювання режимів роботи систем

Об'єкт : офісна будівля.

Загальна площа: 2590 м²

Загальна кількість приміщень: 88 шт

Призначення приміщень.

Кабінети - 58 приміщень, загальною місткістю по 10 осіб у кожному.

Зона прийому їжі - 3 приміщення, загальною місткістю 80 осіб.

Санвузли - 16 приміщень.

Технічні та допоміжні приміщення - 10 приміщень по 2 особи на кожне.

Загальна кількість людей: $N_{\text{макс}} = 640$ людей

Розрахункові зовнішні та внутрішні температурні параметри для підбору систем теплопостачання

Температура зовнішнього повітря: -18°C

Внутрішні температури:

+22°C – санвузли;

+20°C - зони харчування, кабінети;

+18°C - технічні приміщення.

Розрахункові теплові навантаження на будівлю

Опалення - $Q_{\text{оп.макс}} = 132$ кВт

Вентиляція - $Q_{\text{вент.макс}} = 204$ кВт

Гаряче водопостачання - $Q_{\text{оп.макс}} = 113$ кВт

Джерела теплопостачання

Газові напольні, конденсаційні котли тепловою потужністю 80 кВт - 3 шт.
Теплові насоси із відбором теплоти від зовнішнього повітря тепловою потужністю 60 кВт - 2 шт.

Тепловиділення від людей - $q_{\text{люд}}=0,12$ кВт/людина

Будній день

Відсоткове навантаження систем і відвідування адміністративної будівлі в залежності від періоду доби (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Основні показники для розрахунку зміни теплового навантаження адміністративної будівлі протягом буднього дня за видами теплового навантаження

Час доби	Люди, %	Опалення, %	Вентиляція, %	ГВП, %	Загальне навантаження, %
Робочий час (9-18)	100%	41,8%	100%	100%	100%
Вечір (18-20)	20%	88,4%	20%	20%	52,5%
Ніч (20-9)	5%	97,1%	5%	5%	39,6%

Зміни навантажень на систему опалення з урахуванням теплового впливу людей:

$$Q_{\text{оп}} = Q_{\text{оп.макс}} - Q_{\text{люд}}, \text{ кВт} \quad (2.14)$$

де $Q_{\text{оп.макс}}$ — максимальна кількість тепла необхідна для системи опалення будівлі офісного центру, кВт;

$Q_{\text{люд}}$ — кількість тепла, що надходить в приміщення від людей, кВт.

Розрахунок змін теплового навантаження на систему вентиляції

Вентиляційне навантаження змінюється пропорційно до кількості людей:

$$Q_{\text{вент}} = Q_{\text{вент.макс}} * N_{\text{люд}}/N_{\text{макс}}, \text{ кВт} \quad (2.15)$$

де $Q_{\text{вент.макс}}$ — максимальна кількість тепла необхідна для системи вентиляції будівлі, кВт;

$N_{\text{люд}}/N_{\text{макс}}$ — відсоткове співвідношення кількості людей в окремий час доби до максимальної можливої кількості.

Теплове навантаження на систему ГВП також змінюється пропорційно до кількості людей в офісній будівлі:

$$Q_{\text{гвп}} = Q_{\text{гвп.макс}} * N_{\text{люд}}/N_{\text{макс}}, \text{ кВт} \quad (2.16)$$

де $Q_{\text{гвп.макс}}$ — максимальна кількість тепла необхідна для системи вентиляції будівлі, кВт;

$N_{\text{люд}}/N_{\text{макс}}$ — відсоткове співвідношення кількості людей в окремий час доби до максимальної можливої:

Загальний баланс потужностей систем теплопостачання будівлі з урахування кількості тепла, що надходить у приміщення від людей (табл. 2.5), (рис. 2.2):

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{оп}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{гвп}}, \text{ кВт} \quad (2.17)$$

де $Q_{\text{оп}}$ — навантаження на систему опалення, кВт;

$Q_{\text{вент}}$ — навантаження на систему вентиляції, кВт;

$Q_{\text{гвп}}$ — навантаження на систему гарячого водопостачання, кВт.

Таблиця 2.5

Основні дані розрахунку зміни теплового навантаження адміністративної будівлі протягом буднього дня за видами теплового навантаження

Час доби	Кількість людей	Тепло від людей, кВт	Опалення, кВт	Вентиляція, кВт	ГВП, кВт	Загальне навантаження, кВт
Робочий час (9-18)	640	76,8	55,2	204	113	373
Вечір (18-20)	128	15,4	116,6	40,8	22,6	195,9
Ніч (20-9)	32	3,8	128,2	10,2	5,7	147,9

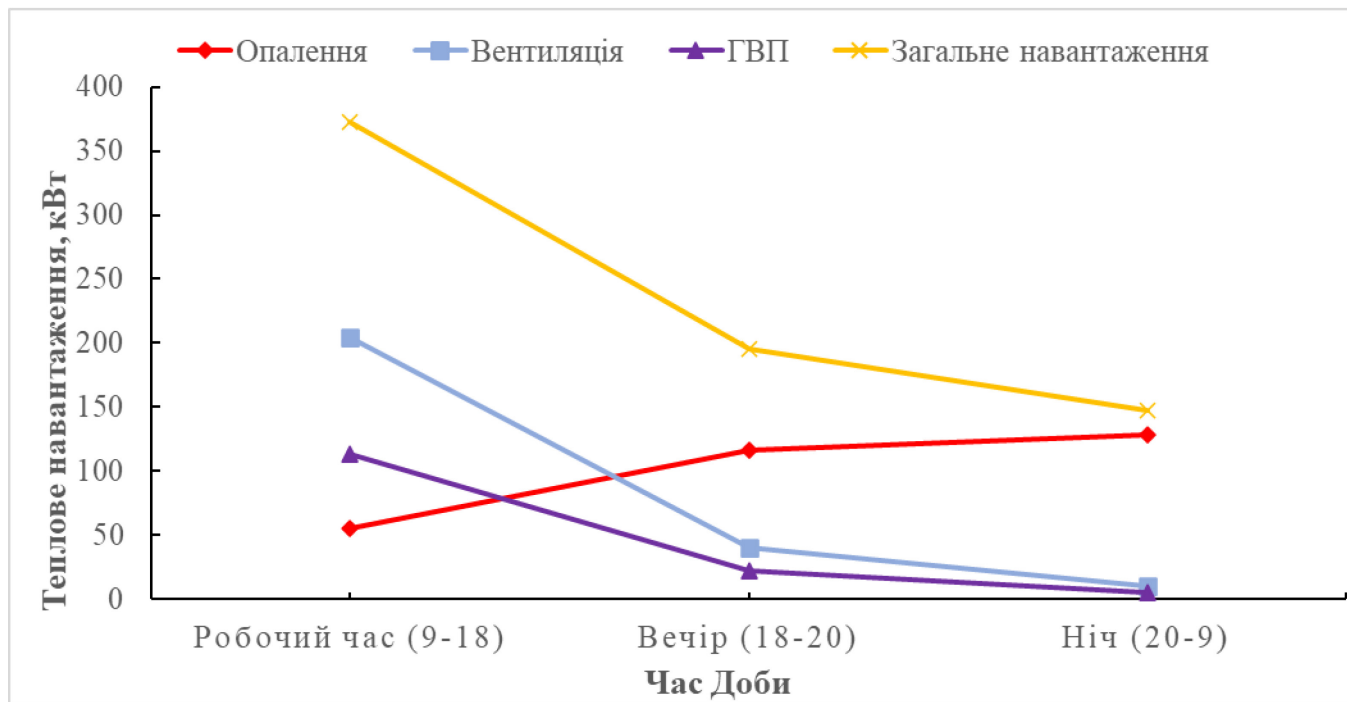


Рисунок. 2.2 – Зміна теплових навантажень адміністративною будівлю за видами теплового споживання впродовж доби у будній день.

Отримані результати моделювання роботи санітарно-технічних систем офісного центру показують зміни різних видів теплового навантаження впродовж доби у будній день. Пік загального теплоспоживання та максимальні значення теплового навантаження систем вентиляції та гарячого водопостачання припадає на робочий період з 9-00 ранку до 18-00 вечора. При цьому в цей час, завдяки внутрішнім теплонадходженням від людей та офісної техніки, система опалення працює в мінімальному режимі (рис.2.2).

У вечірній період значно зменшується навантаження на гаряче водопостачання та вентиляцію, при цьому збільшується навантаження на опалювальні системи. Вказане пояснюється суттєвим зменшенням кількості співробітників офісного центру, внаслідок чого зменшуються потреби у продуктивності вказаних систем та зменшення внутрішніх теплонадходжень.

У нічний період спостерігається максимальне значення потужності системи опалення та мінімальні значення потужностей систем гарячого водопостачання та вентиляції.

Потенціалом до додаткового вирівнювання графіка теплопостачання офісного центру є акумулювання теплоти у нічні часи, насамперед для гарячого водопостачання, а також можливість переходу на переривчасте опалення.

Також слід зазначити відсоткове відношення розрахункових значень різних видів теплового навантаження в загальному балансі теплопостачання офісного центру, а саме опалення – 30 %, вентиляція – 45 %, гаряче водопостачання – 25 %.

Розрахунок споживання електроенергії та газу

Джерела теплопостачання

Теплові насоси повітря-вода потужністю 60 кВт кожен, COP = 3,0 у кількості 2 шт. виступають в якості основних джерел теплопостачання.

Газові напольні, конденсаційні котли тепловою потужністю 80 кВт кожен, ККД=90% у кількості 3 шт. виступають додатковими джерелами теплопостачання.

Теплотворна здатність природного газу прийнята - $H_g = 8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$

Розрахунок споживання електроенергії тепловим насосом.

Теплові насоси у даному випадку виступають першочерговими та основними джерелами теплопостачання, тому завжди працюють на максимумі протягом дня. Визначення потреби в додатковому теплі від газових котлів, яке необхідно для покриття загальних теплових навантажень будівлі, з урахуванням потужності від теплового насосу.

За вказаними періодами роботи адміністративній будівлі визначено основні дані зміни споживання енергоресурсів адміністративною будівлею (табл 2.6.).

Таблиця 2.6

Основні дані розрахунку зміни споживання енергоресурсів адміністративною будівлею протягом буднього дня

Час доби	Загальне навантаження, кВт	Тепло від теплового насосу, кВт	Споживання електроенергії, кВт*год	Потреба в додатковому теплі, кВт	Споживання газу, м ³
Робочий час (9-18)	373	120	40	253	35,14
Вечір (18-20)	195,9	120	40	75,9	10,54
Ніч (20-9)	147,9	120	40	27,9	3,88

Аналіз отриманих результатів щодо споживання енергоресурсів адміністративною будівлею дозволяє зробити наступні висновки:

- тепловий насос працює на максимумі в усі періоди та покриває базові потреби теплового навантаження, причому частка заміщення спожитої енергії тепловим насосом змінюється від 32 % у робочий період до 63 % у нічний період
- газові котли вмикаються тільки в разі перевищення максимального навантаження теплового насосу, та в разі підвищення температур теплоносія більше ніж робочі температури теплового насоса.

2.2.3. Режими споживання теплоти різними видами теплового навантаження протягом доби навчальним закладом

Вихідні дані для моделювання режимів роботи систем

Об'єкт: кампус вишу загальною площею

Загальна площа: 8730 м²

Загальна кількість приміщень: 130

Загальна кількість людей: $N_{\text{макс}} = 960$ людей

Розрахункові зовнішні та внутрішні температурні параметри для підбору системи опалення

Температура зовнішнього повітря: -18°C

Внутрішні температури:

+20°C - усі приміщення.

Розрахункові теплові навантаження на будівлю

Опалення - $Q_{\text{оп.макс}} = 573$ кВт

Вентиляція - $Q_{\text{вент.макс}} = 434$ кВт

Гаряче водопостачання - $Q_{\text{гвп.макс}} = 113$ кВт

Джерела теплопостачання

Газові настінні, конденсаційні котли тепловою потужністю 80 кВт - 8 шт.
Тепловий насос із відбором теплоти від зовнішнього повітря тепловою потужністю 60 кВт - 6 шт.

Тепловиділення від людей: $q_{\text{люд}} = 0,12$ кВт/людина

Будній день

Відсоткове навантаження систем і відвідування навчального закладу в залежності від періоду доби [67].

Таблиця 2.7

Основні показники для розрахунку зміни теплового навантаження навчального закладу протягом буднього дня за видами теплового навантаження

Час доби	Люди, %	Опалення, %	Вентиляція, %	ГВП, %	Загальне навантаження, %
Навчальні години (8-15)	100%	80,06%	100%	100%	100%
Післяобідній час (15-18)	30%	94,16%	30%	30%	69,92%
Ніч (18-8)	1%	100%	1%	1%	57,46%

Зміни навантажень на систему опалення з урахування теплового впливу людей:

$$Q_{оп} = Q_{оп.макс} - Q_{люд}, \text{ кВт} \quad (2.18)$$

де $Q_{оп.макс}$ — максимальна кількість тепла, яка необхідна для системи опалення будівлі навчального закладу, кВт;

$Q_{люд}$ — кількість тепла, що надходить в приміщення від людей, кВт.

Розрахунок змін теплового навантаження на систему вентиляції. Вентиляційне навантаження змінюється пропорційно до кількості людей:

$$Q_{вент} = Q_{вент.макс} * N_{люд}/N_{макс}, \text{ кВт} \quad (2.19)$$

де $Q_{вент.макс}$ — максимальна кількість тепла необхідна для системи вентиляції будівлі, кВт;

$N_{люд}/N_{макс}$ — відсоткове співвідношення кількості людей в окремий час доби до максимальної можливої кількості.

Розрахунок теплового навантаження на систему гарячого водопостачання.

Теплове навантаження на систему ГВП також змінюється пропорційно до кількості людей в кампусі:

$$Q_{гвп} = Q_{гвп.макс} * N_{люд}/N_{макс}, \text{ кВт} \quad (2.20)$$

де $Q_{гвп.макс}$ — максимальна кількість тепла, яка необхідна для системи вентиляції будівлі, кВт;

$N_{люд}/N_{макс}$ — відсоткове співвідношення кількості людей в окремий час доби до максимальної можливої кількості:

Загальний баланс потужностей систем тепlopостачання будівлі з урахуванням кількості тепла що надходить в приміщення від людей:

$$Q_{заг} = Q_{оп} + Q_{вент} + Q_{гвп}, \text{ кВт} \quad (2.21)$$

де $Q_{оп}$ — навантаження на систему опалення, кВт;

$Q_{вент}$ — навантаження на систему вентиляції, кВт;

$Q_{гвп}$ — навантаження на систему гарячого водопостачання, кВт.

Таблиця 2.8

Основні данні розрахунку зміни теплового навантаження навчального закладу протягом буднього дня за видами теплового навантаження

Час доби	Кількість людей	Тепло від людей, кВт	Опалення, кВт	Вентиляція, кВт	ГВП, кВт	Загальне навантаження, кВт
Навчальні години (8-15)	960	115,2	457,8	434	113	1004,8
Післяобідній час (15-18)	288	34,56	538,44	130,2	33,9	702,54
Ніч (18-8)	10	1,152	571,9	4,34	1,13	577,31

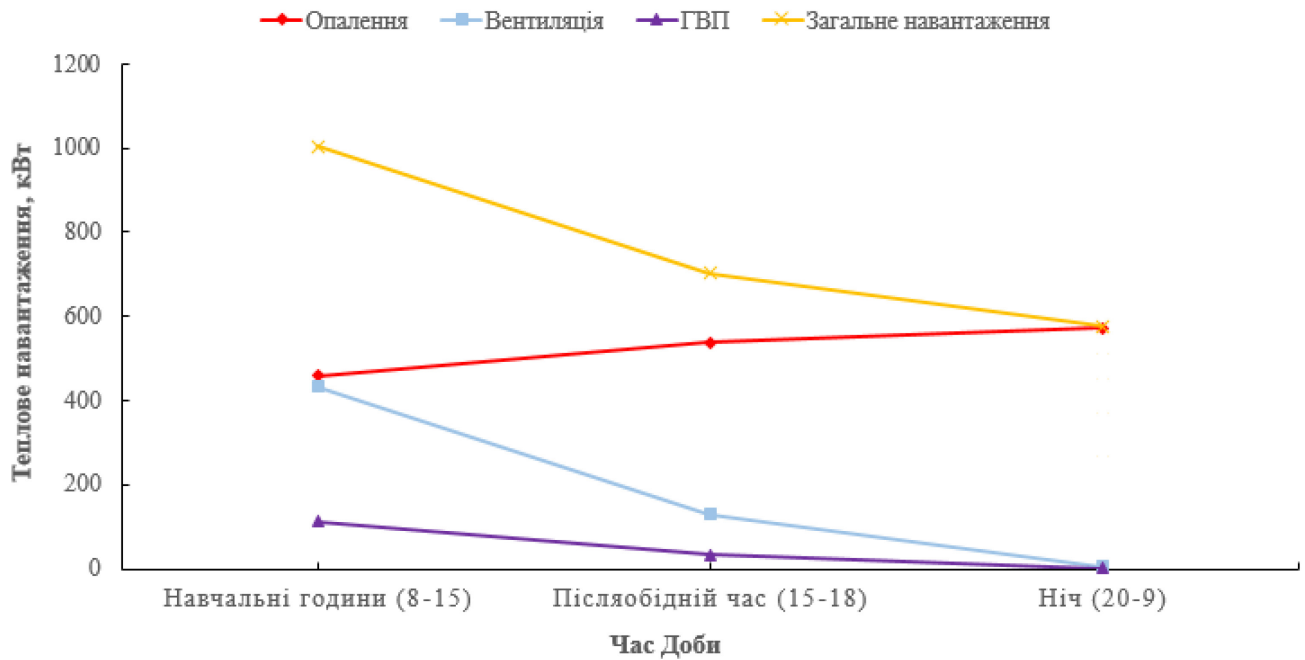


Рисунок.2.3 – Зміна теплових навантажень навчальним закладом за видами теплового споживання впродовж доби у будній день

Результати моделювання роботи інженерних систем забезпечення мікроклімату та гарячого водопостачання навчального закладу дотичні роботі санітарно-технічних систем офісного центру. Пік загального теплоспоживання та максимальні значення теплового навантаження систем вентиляції та гарячого водопостачання припадають на робочий період з 8-00 ранку до 15-00 дня. При цьому в цей час, завдяки внутрішнім теплонадходженням, система опалення працює в мінімальному режимі (рис.2.3). В період з 15-00 до 18-00 спостерігається значне зниження навантаження на системи тепlopостачання, вентиляції та ГВП. В цей час працюють лише вчителі та низка гуртків, при цьому, враховуючи зниження кількості людей, при робочому режимі систем збільшується навантаження на опалення.

У нічний період, також як і у випадку адміністративної будівлі, спостерігається максимальне значення потужності системи опалення та мінімальні значення потужностей систем гарячого водопостачання та вентиляції [68].

Потенціалом до додаткового вирівнювання графіка тепlopостачання навчального закладу також може стати акумулювання теплоти у нічні часи для гарячого водопостачання, а також можливість переходу на переривчасте опалення.

Відсоткове відношення розрахункових значень різних видів теплового навантаження в загальному балансі тепlopостачання навчального закладу, а саме опалення – 51 %, вентиляція – 39 %, гаряче водопостачання – 10 %.

Розрахунок споживання електроенергії та газу інженерними системами навчального закладу протягом доби

Джерела теплопостачання

Теплові насоси повітря-вода тепловою потужністю 60 кВт кожен, COP = 3,0 у кількості 6 шт. виступають основними, джерелами теплопостачання.

Газові настінні, конденсаційні котли тепловою потужністю 80 кВт кожен, ККД=90% у кількості 8 шт. виступають в якості додаткових джерел теплопостачання.

Теплотворна здатність природного газу прийнята - $H_g = 8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$

Розрахунок споживання електроенергії тепловим насосом.

Теплові насоси у даному випадку виступають першочерговими та основними джерелами теплопостачання, тому завжди працюють на максимум(і) протягом дня. Визначення потреби в додатковому теплі від газових котлів, яке необхідно для покриття загальних теплових навантажень будівлі, з урахуванням потужності від теплового насосу.

За вказаними періодами роботи навчального закладу визначено основні дані зміни споживання енергоресурсів навчально закладу (табл 2.9.).

Таблиця 2.9

Основні данні розрахунку зміни споживання енергоресурсів навчальним закладом протягом буднього дня

Час доби	Загальне навантаження, кВт	Тепло від теплового насосу, кВт	Споживання електроенергії, кВт*год	Потреба в додатковому теплі, кВт	Споживання газу, м ³
Навчальні години (8-15)	1004,8	360	120	644,8	89,55
Післяобідній час (15-18)	702,54	360	120	342,54	47,56
Ніч (18-8)	577,31	360	120	217,3	30,18

Аналіз споживання енергоресурсів системою теплопостачання навчального закладу доводять наступне.

Стабільна робота теплових насосів. Теплові насоси забезпечують стабільну потужність у 120 кВт, що покриває частину загального навантаження протягом усієї доби.

Максимальне споживання газу. Найбільше споживання газу відбувається у робочий час (8:00-15:00), коли загальне теплове навантаження найвище – газові котли споживають 89.55 м³ газу. Зниження газоспоживання у вечірній та нічний час.

Увечері (15:00-18:00) та вночі (18:00-8:00) потреба в газі значно зменшується – до 47.56 м³ і 30.18 м³ відповідно, що пов'язано зі зниженням загального теплового навантаження.

Постійне електроспоживання теплових насосів. Електроспоживання тепловими насосами залишається незмінним (120 кВт·год) у всі періоди, оскільки вони працюють на максимальній потужності.

Оптимізація системи може зосередитися на зниженні пікового газоспоживання у навчальні години, наприклад, шляхом підвищення ефективності теплоізоляції або використання акумуляції тепла. Додатковим потенціалом зниження використання теплової енергії може стати підвищення рівня термомодернізації будівлі [69], що здатно вплинути на режими експлуатації інженерних систем внаслідок збільшення акумуляційної здатності будівлі [70].

2.3. Потенціал самокомпенсації різними видами теплового навантаження будівель різного типу призначення

Результати попереднього дослідження дають змогу оцінити можливість зниження теплового навантаження за різними видами теплового споживання для об'єктів різного призначення впродовж доби. Для оцінки потенціалу зниження кожного виду теплового навантаження проведено дослідження діапазонів роботи теплоспоживання для основних типів будівель громадського призначення, а саме ТРЦ, адміністративна будівля (офіс), навчальний заклад.

2.3.1. Потенціал зниження теплоспоживання відносно розрахункового теплового навантаження відповідного виду теплового навантаження

Вказаний потенціал зниження показує діапазон роботи кожного виду теплового навантаження протягом доби відносно розрахункового значення.

$$(Q_{ip} - Q_{id}) / Q_{ip}$$

де Q_{ip} - розрахункове теплове навантаження для кожного виду;

Q_{id} - дійсне теплове навантаження для кожного виду;

На основі попередніх досліджень для основних об'єктів було визначено діапазони потенціалу зниження теплоспоживання відносно розрахункового теплового навантаження відповідного виду теплового навантаження (рис. 2.4-2.6).

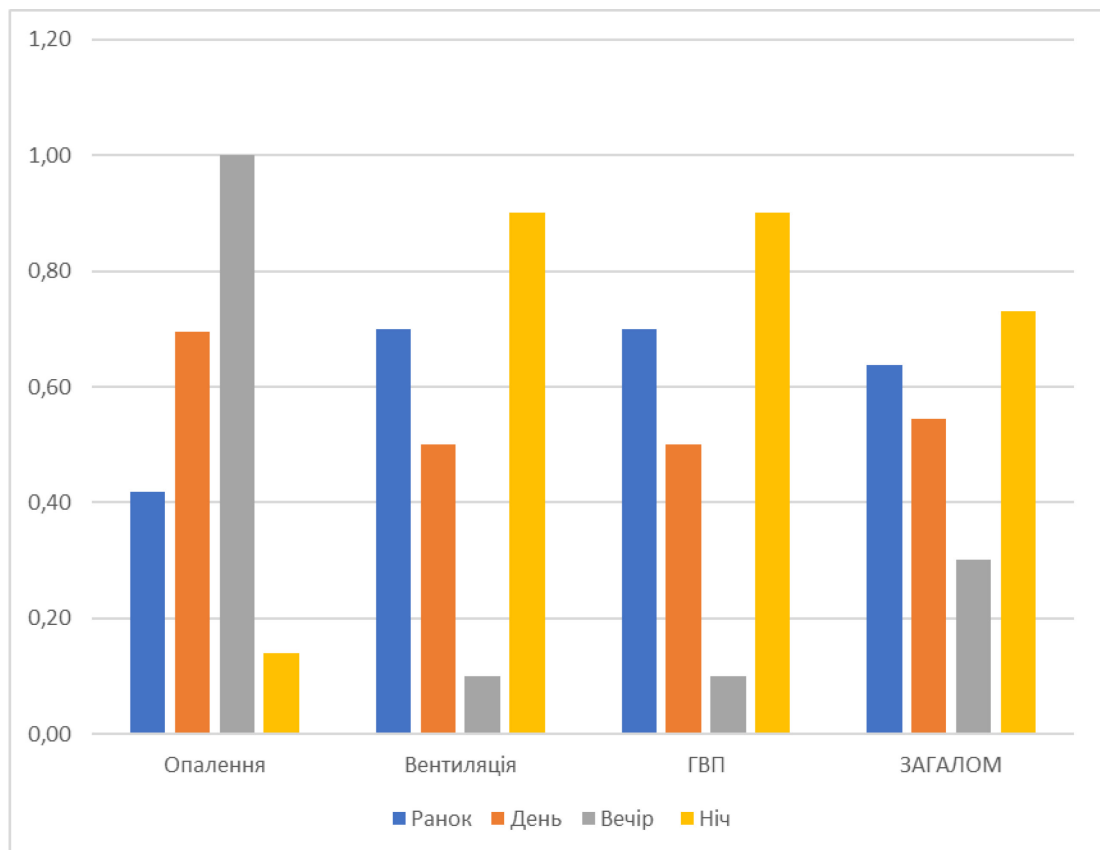


Рисунок. 2.4 – Потенціал зниження теплоспоживання відносно розрахункового теплового навантаження за видами теплового навантаження для ТРЦ.

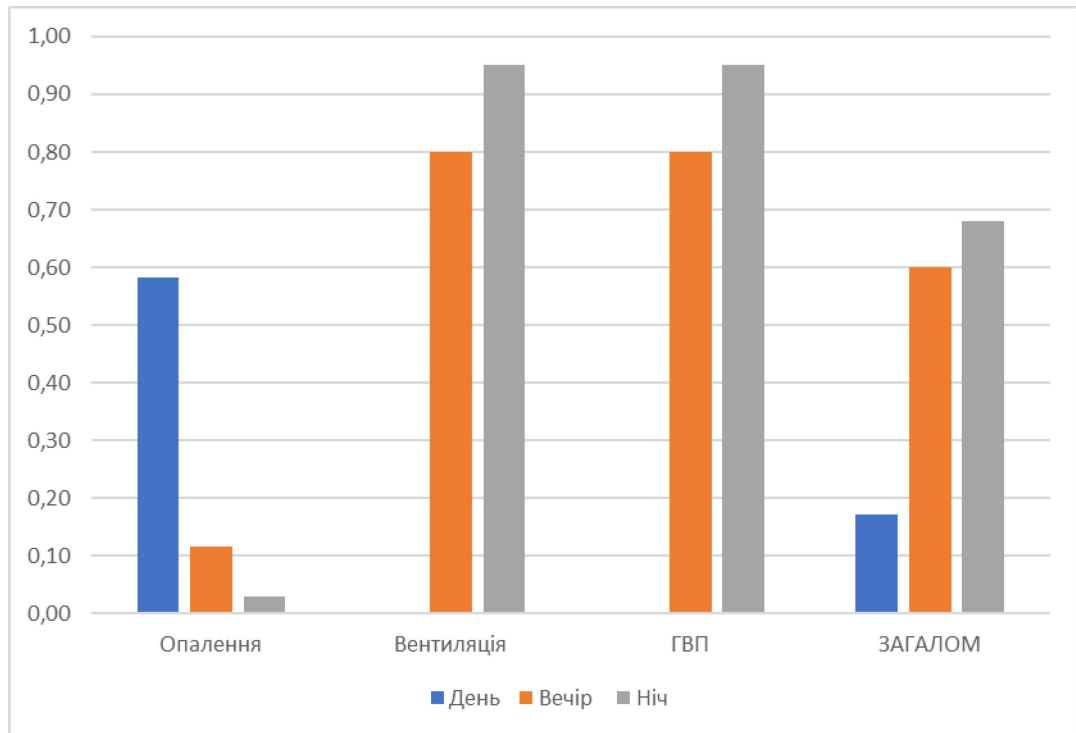


Рисунок. 2.5 – Потенціал зниження теплоспоживання відносно розрахункового теплового навантаження за видами теплового навантаження для офісного центру.

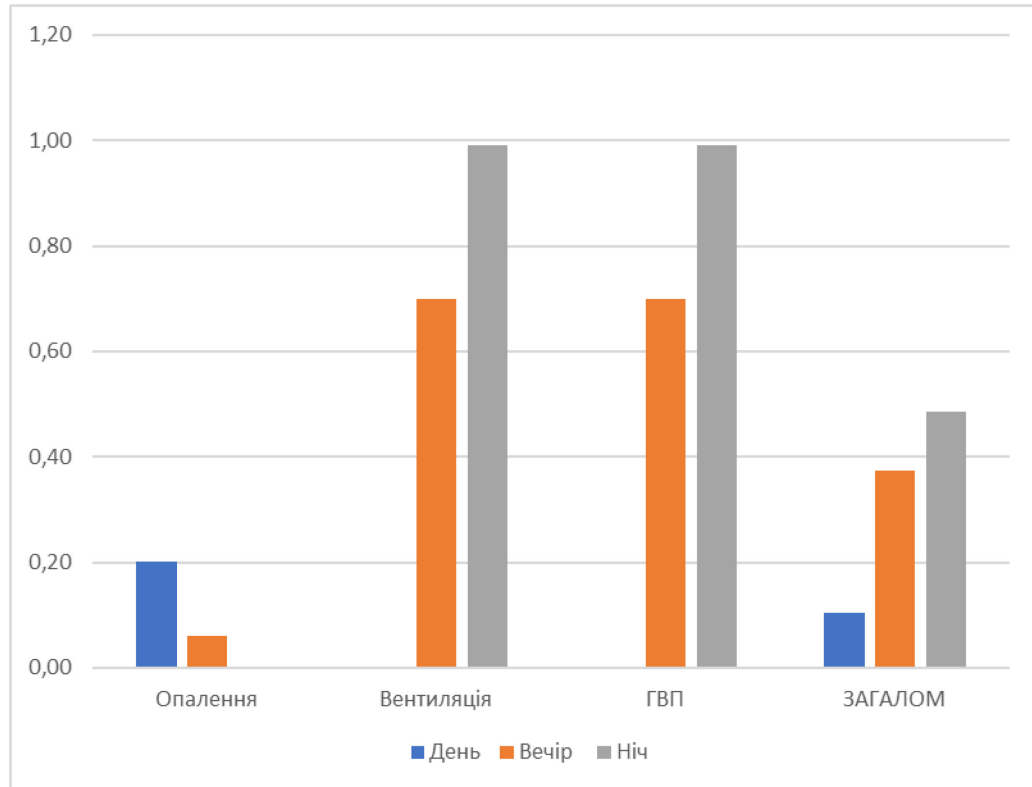


Рисунок. 2.6 – Потенціал зниження теплоспоживання відносно розрахункового теплового навантаження за видами теплового навантаження для навчального закладу.

2.3.2. Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального потенціалу зниження теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов

Вказаний потенціал зниження показує частку зниження кожного виду теплового навантаження відносно загального сумарного зниження теплового навантаження протягом доби.

$$(Q_{ip}-Q_{id})/(Q_{cp}-Q_{cd})$$

де Q_{cp} - сумарне розрахункове теплове навантаження за всіма видами;

Q_{cd} - сумарне дійсне теплове навантаження за всіма видами;

На основі попередніх досліджень для основних об'єктів було визначено діапазони потенціалу зниження відносно загального потенціалу зниження теплового навантаження об'єкту.(рис.2.7-2.9).

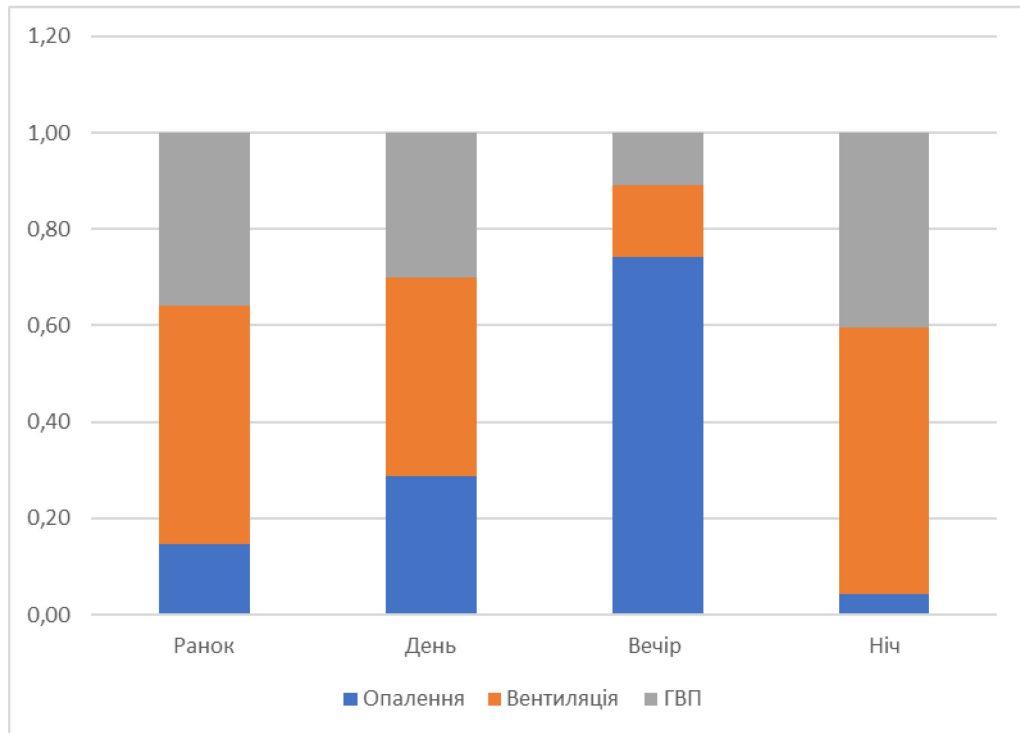


Рисунок. 2.7 – Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального потенціалу зниження теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов для ТРЦ.

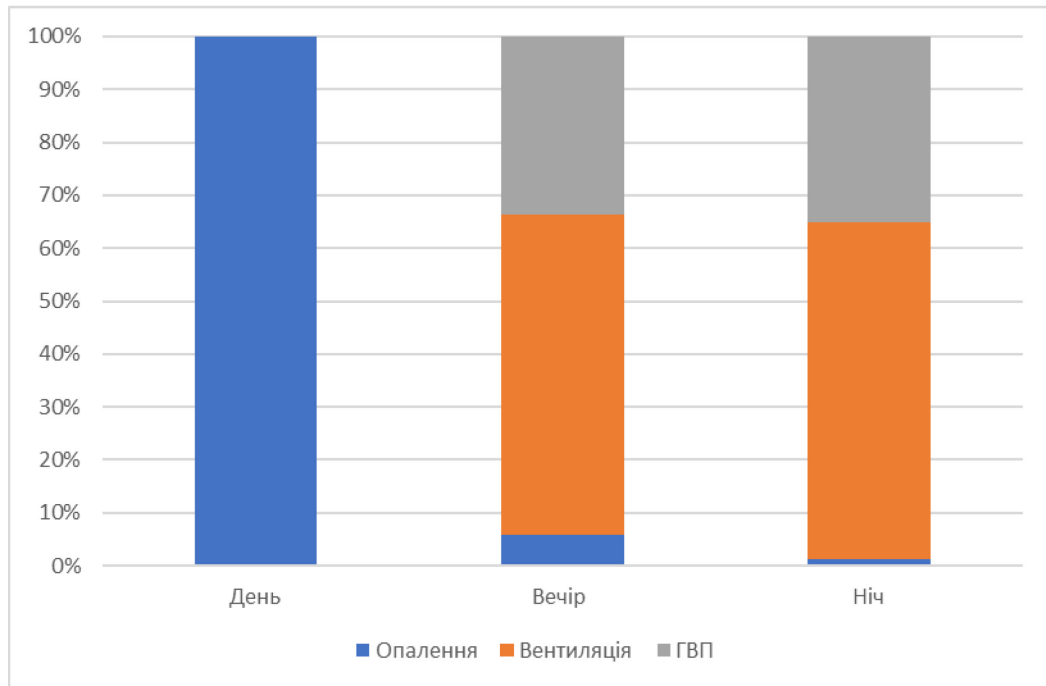


Рисунок. 2.8 – Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального потенціалу зниження теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов для офісного центру.

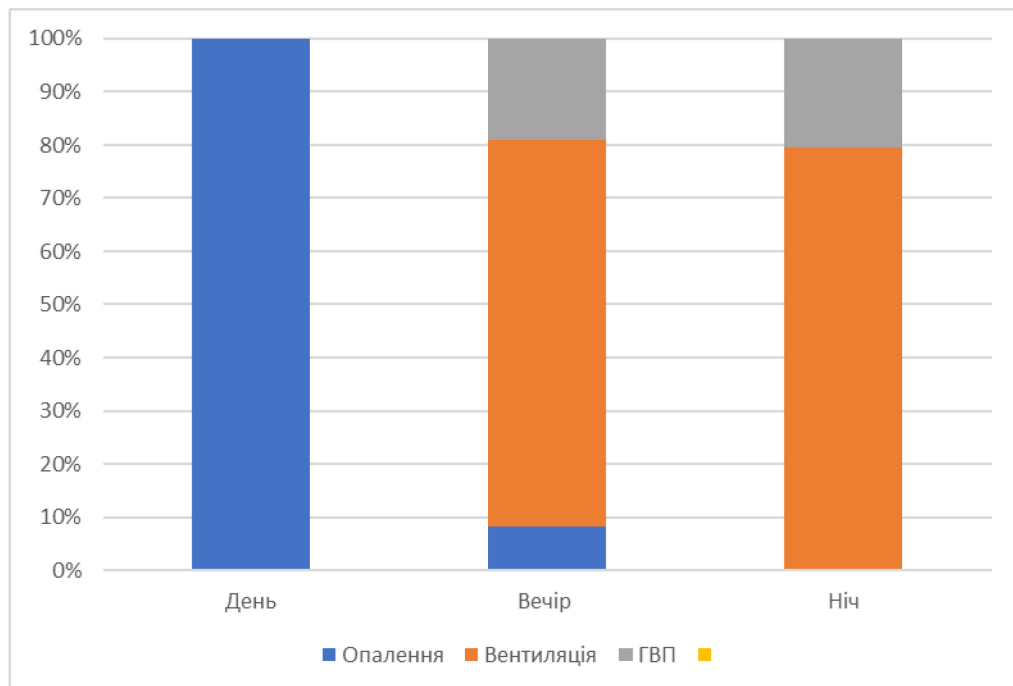


Рисунок. 2.9 – Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального потенціалу зниження теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов для навчального закладу.

2.3.3. Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального розрахункового теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов

Вказаний потенціал зниження показує частку зниження кожного виду теплового навантаження відносно загального розрахункового теплового навантаження протягом доби.

$$(Q_{ip} - Q_{id}) / Q_{cp}$$

де Q_{cp} - сумарне розрахункове теплове навантаження за всіма видами;

Q_{ed} - сумарне дійсне теплове навантаження за всіма видами;

На основі попередніх досліджень для основних об'єктів було визначено діапазони потенціалу зниження теплоспоживання відносно загального розрахункового теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов (рис.2.10-2.12).

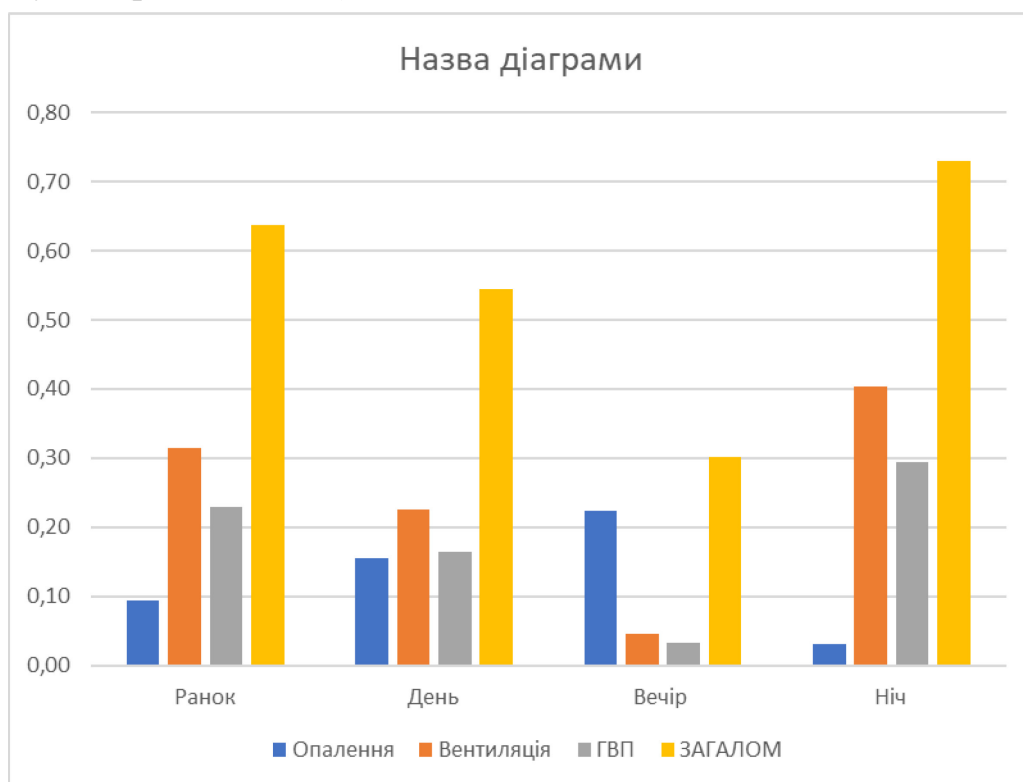


Рисунок. 2.10 – Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального розрахункового теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов для ТРЦ.

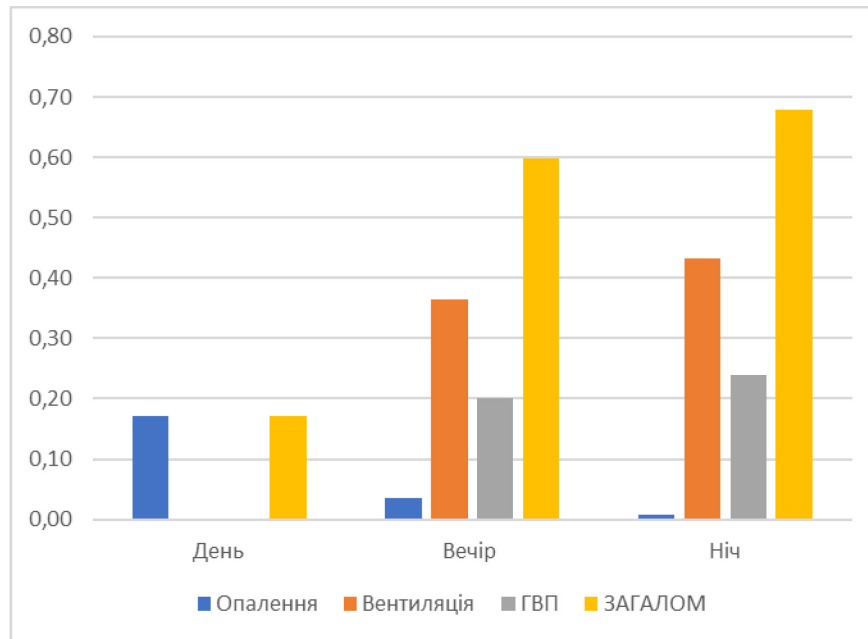


Рисунок. 2.11 – Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального розрахункового теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов для офісного центру.

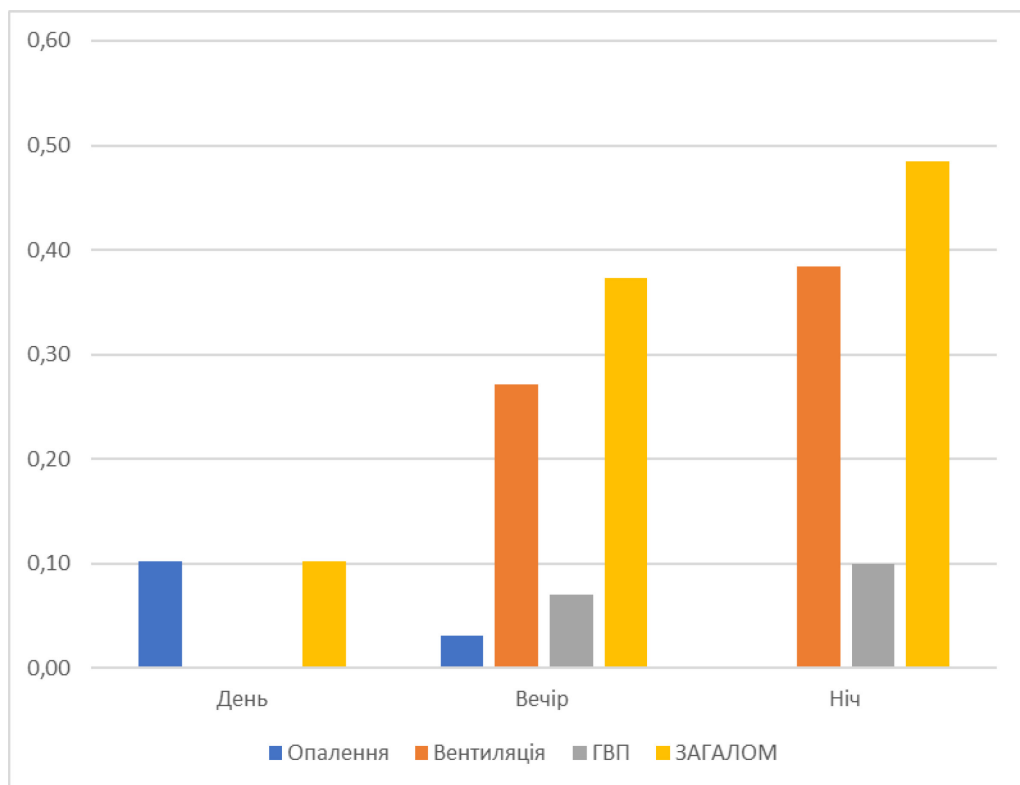


Рисунок. 2.12 – Потенціал зниження теплоспоживання відносно загального розрахункового теплового навантаження об'єкту за різними видами систем забезпечення кліматичних умов для навчального закладу.

Аналіз отриманих результатів показує потенціал самокомпенсації теплового навантаження систем централізованого теплопостачання для різних видів теплового навантаження будівель громадського призначення. Як видно із отриманих результатів найбільшим потенціалом компенсації теплового навантаження є теплозабезпечення систем вентиляції та гарячого водопостачання у нічний період часу.

Для теплових районів систем централізованого теплопостачання в яких доволі великий відсоток багатоповерхових житлових будівель вказана обставина має доволі суттєвий сенс – в нічний (не робочий) період часу можливе перерозподіл теплового навантаження від споруд громадського призначення на потреби житлових будинків.

2.4. Використання емпіричних даних для знаходження оптимальних режимів теплопостачання

2.4.1. Методика отримання емпіричних даних

Протягом декількох тижнів опалювального періоду велось спостереження за відвідувачами торговельного центру, а саме кількість автівок, що заїжджають на паркування. Також протягом години вранці, вдень та ввечері велось спостереження за кількістю відвідувачів, які входять до ТРЦ з вулиці. Зіставлення кількості відвідувачів без автівок із кількістю автівок, що заїжджають на паркінг ТРЦ, дало змогу прорахувати відносні частки відвідувачів, а далі отриманні дані з паркування дали змогу визначити погодинну кількість відвідувачів упродовж доби та тижня (додаток Б).

На основі отриманої емпіричної щільності розподілу відвідувачів були розраховані теплові навантаження за видами споживання: системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання. Тим самим були сформовані три серії вибірок. (Додаток Б). Кожна вибірка враховувала дані за 7 днів та 24 годин за добу. Кожну серію вибірки об'єднували в одну вибірку, яка складається зі 168 елементів. Так наприклад x_1 – опалення з 0 до 1 години понеділка, а x_{34} – опалення з 10 години до 11 вівторка і т.д. Таким чином ми отримали 3 вибірки емпіричних даних (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання), кожна з яких складається з 168 елеме-

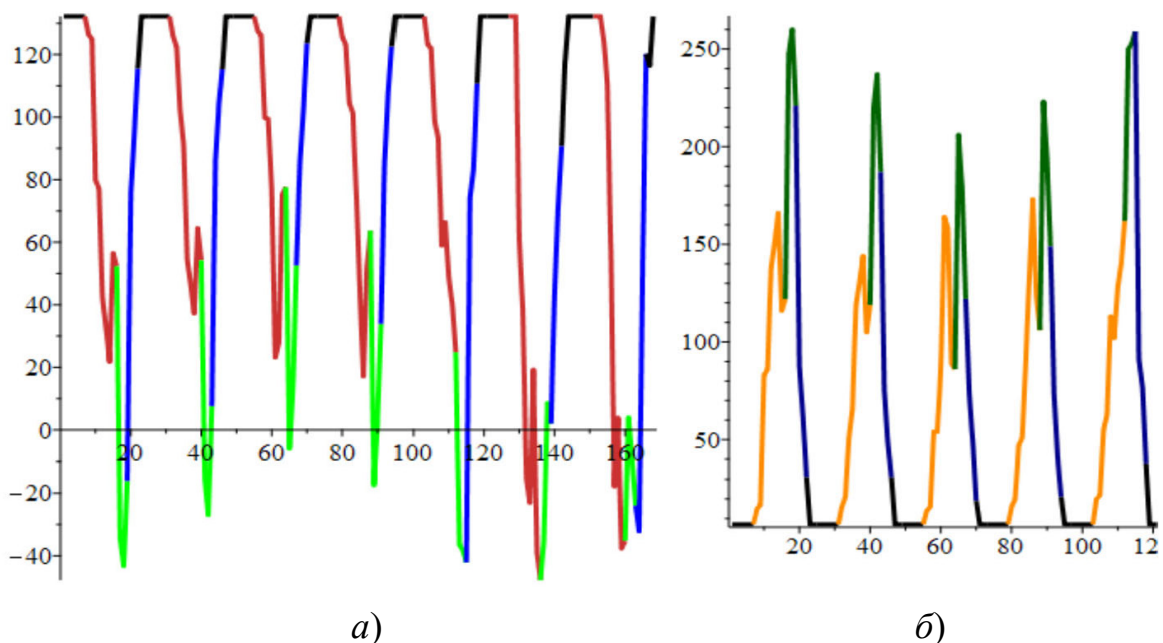
нтів. Вважається кількісний обсяг вибірок достатній, бо велися спостереження протягом типового тижня опалювального періоду.

2.4.2. Використання статистичних функцій для аналізу емпіричних даних

Не завжди емпіричні дані виникають у результаті реалізації тієї чи іншої випадкової величини. У таких вибірках не мають сенсу класичні поняття з теорії ймовірності та статистики (вибіркове середнє, вибіркова дисперсія тощо). Однак використання потужних методів статистики для кількісного аналізу різних явищ, які не є випадковими, застосовувалося вже в ІХХ столітті [71].

Концепція середніх величин, за якою арифметична середня величина, отримана в різних розподілах, застосовується для аналізу так званої середньої типовості, і поняття середнього часто використовується як синонім типового. Наприклад, середня зарплата, середня температура, середнє енергоспоживання, тощо. Крім поняття «середнього», використовуються й інші поняття зі статистики, такі як медіана, дисперсія. У цьому дослідженні робиться спроба застосувати методи статистики до аналізу не випадкових таких процесів, як навантаження на різні види санітарно-технічних систем забезпечення мікроклімату (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання).

Отже, у нас є три набори даних, які називатимемо вибірками (за аналогією з термінологією зі статистики): опалення - $\{x_i\}_{i=1}^N$, вентиляція - $\{y_i\}_{i=1}^N$, гаряче водопостачання - $\{z_i\}_{i=1}^N$, $N=168$ ($168=7 \cdot 24$). Обчислимо сумарне споживання та визначимо вибірку $\{w_i\}_{i=1}^N = \{x_i + y_i + z_i\}_{i=1}^N$. Зобразимо емпіричні дані на графіку (рис.2.13).



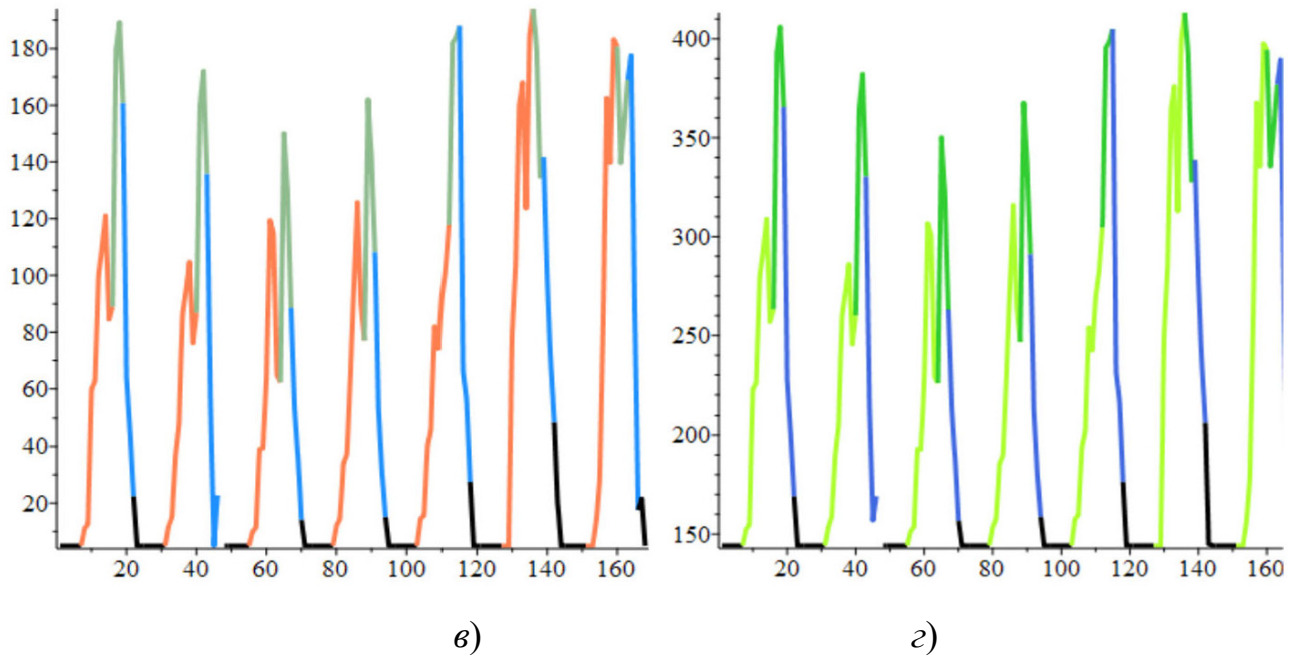


Рисунок. 2.13 – Графік залежності потужності систем теплопостачання (кВт) від періоду вибірок: а) $\{x_i\}_{i=1}^N$, б) $\{y_i\}_{i=1}^N$, в) $\{z_i\}_{i=1}^N$, г) $\{w_i\}_{i=1}^N$

Різними кольорами розділені показники для різних часових відрізків доби: починаючи з нічного періоду, далі ранок, день, вечір.

Аналіз отриманих графічних залежностей показує розподіл навантажень за видами споживання протягом тижня та робочих та вихідних діб. Піки споживання на систему опалення припадають на нічні періоди, в той же час піки теплоспоживання системами вентиляції та гарячого водопостачання припадають на денний та вечірні часи, коли потік відвідувачів значно більше. Сумарна вибірка (рис. 2.13, г) дає уявлення про зміну загальної потужності системи теплопостачання протягом вказаного періоду. Мінімальні значення припадають на нічні періоди, а максимальні на денні та вечірні, що вказує на частку кожного виду теплового навантаження на загальну дійсну потужність системи.

Для подальшого аналізу властивостей послідовності $\{w_i\}_{i=1}^N$ розглянемо дві величини: накопичувальне середнє $\bar{w}_k = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k w_i$, $k = 1, \dots, N$; накопичувальне середньоквадратичне відхилення $\delta_k = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (w_i - \bar{w}_k)^2$; накопичувальну дисперсію $\sigma_k = \sqrt{\delta_k}$, $k = 2, \dots, N$.

Для побудови графіків накопичувальних середньої та дисперсії виведемо рекурентні формули для цих величин. Оскільки:

$$\bar{w}_k = \frac{k-1}{k} \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{k-1} w_i + \frac{1}{k} w_k,$$

то:

$$\bar{w}_k = \frac{k-1}{k} \bar{w}_{k-1} + \frac{1}{k} w_k, \quad \bar{w}_1 = w_1.$$

Далі:

$$(w_i - \bar{w}_k)^2 = (w_i)^2 - 2w_i \bar{w}_k + (\bar{w}_k)^2,$$

Звідки:

$$\delta_k = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (w_i)^2 - \frac{2}{k-1} \bar{w}_k \sum_{i=1}^k w_i + \frac{k}{k-1} (\bar{w}_k)^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (w_i)^2 - \frac{k}{k-1} (\bar{w}_k)^2.$$

Позначимо:

$$\bar{w}_k^{(2)} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (w_i)^2,$$

Тоді

$$\bar{w}_k^{(2)} = \frac{k-2}{k-1} \frac{1}{k-2} \sum_{i=1}^{k-1} (w_i)^2 + \frac{1}{k-1} (w_k)^2 = \frac{k-2}{k-1} \bar{w}_{k-1}^{(2)} + \frac{1}{k-1} (w_k)^2.$$

Таким чином, справедливе рекурентне співвідношення

$$\begin{cases} \delta_k = \bar{w}_k^{(2)} - \frac{k}{k-1} (\bar{w}_k)^2, \\ \bar{w}_k^{(2)} = \frac{k-2}{k-1} \bar{w}_{k-1}^{(2)} + \frac{1}{k-1} (w_k)^2 \end{cases}$$

При цьому $k = 3, \dots, N$, та $\bar{w}_2^{(2)} = (w_1)^2 + (w_2)^2$.

Графіки величин $\{\bar{w}_i\}_{i=1}^N$, $\{\sigma_i\}_{i=2}^N$ зображені на рис.2.14, 2.15.

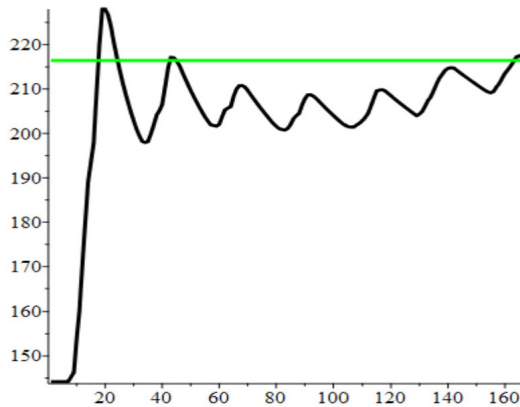
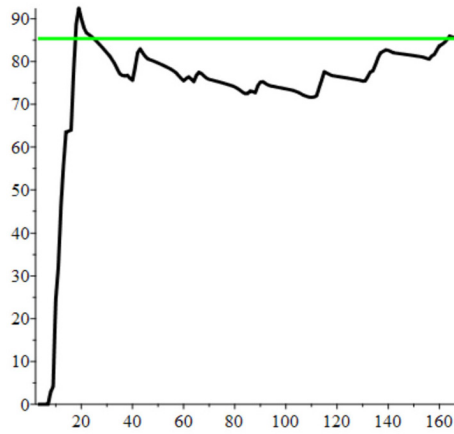


Рисунок. 2.14 – Графік залежності $\{\bar{w}_i\}_{i=1}^N$

Рисунок. 2.15 – Графік залежності $\{\sigma_i\}_{i=2}^N$

Аналогічно будемо графіки накопичувальних середньої та дисперсії для послідовностей $\{x_i\}_{i=1}^N$, $\{y_i\}_{i=1}^N$, $\{z_i\}_{i=1}^N$.

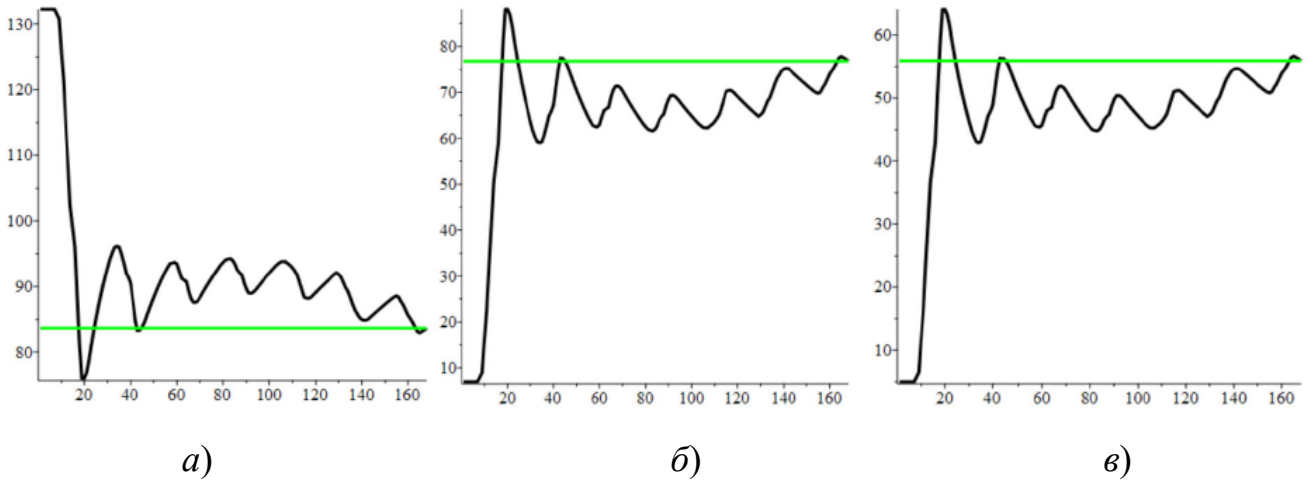


Рисунок. 2.16 – Графіки залежності накопичувальної середньої а) $\{x_i\}_{i=1}^N$,
 б) $\{y_i\}_{i=1}^N$, в) $\{z_i\}_{i=1}^N$

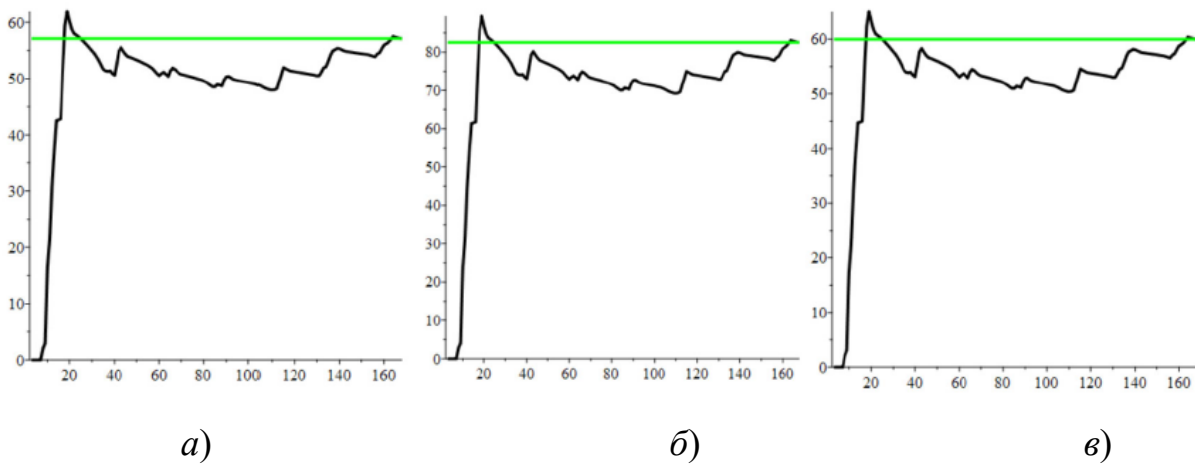


Рисунок. 2.17 – Графіки залежності накопичувальної дисперсії а) $\{x_i\}_{i=1}^N$,
 б) $\{y_i\}_{i=1}^N$, в) $\{z_i\}_{i=1}^N$

Результати досліджень (рис. 2.14-2.17) дозволяють проаналізувати роботу системи теплопостачання за видами теплоспоживання з точки зору розподілу продовж тижня за означеними вибірками накопичувальної середньої та дисперсії. Як видно з графічних залежностей для системи опалення спостерігається суттєве перебільшення впродовж періоду потужностей над середньою накопичувальною, в той же час для систем вентиляції та гарячого водопостачання, а також для сумарного теплового навантаження, спостерігається зворотна тенденція - значний проміжок періоду під середньою накопичувальною. При цьому дисперсія становить доволі суттєві значення – від 60 до 90 кВт в залежності від виду теплового навантаження. Вказане доводить необхідність управління режимами теплоспоживання для вирівнювання графіку середніх накопичувальних та зменшення дисперсії.

2.4.3. Управління режимами теплопостачання

Режими треба вибирати так, щоб функція накопичувального середнього не сильно відхилялася від вибіркового середнього, що відповідає малим величинам функції накопичувальної дисперсії. У нашому випадку це досягається, якщо величини y_i , z_i зменшити на третину (тобто помножити на 0.67), а величину x_i збільшити на дві третини (помножити на 1.66). Розглянемо послідовність $\{W_i\}_{i=1}^N = \{1.66x_i + 0.67y_i + 0.67z_i\}_{i=1}^N$ і для цієї послідовності побудуємо графіки накопичувального середнього та накопичувальної дисперсії (Рис.2.18).

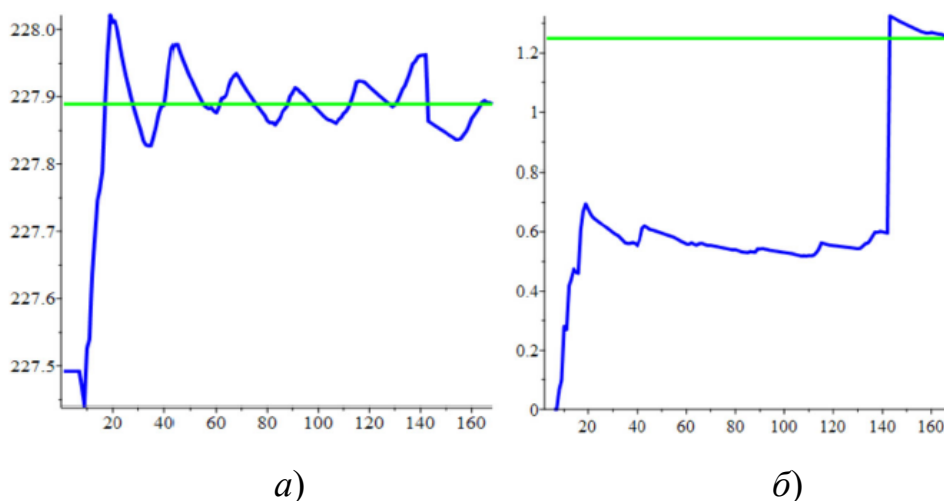


Рисунок. 2.18 – а) накопичувальна середня послідовність $\{W_i\}_{i=1}^N$; б) накопичувальна дисперсія послідовності $\{W_i\}_{i=1}^N$

Бачимо, що функція накопичувальної дисперсії лежить в інтервалі $(0, 1.25)$.

Як видно із отриманих графічних залежностей (рис.2.18) при нових значеннях вагових коефіцієнтів $\{W_i\}_{i=1}^N = \{1.66x_i + 0.67y_i + 0.67z_i\}_{i=1}^N$ накопичувальна середня послідовність більш рівномірно розподіляє піки та провали загального теплоспоживання протягом вказаного періоду, при цьому накопичувальна дисперсія послідовності лежить в межах 1,25. Отримані результати здатні позитивно вплинути на роботу систем теплопостачання, зменшуючи пікові навантаження на джерела теплоти, та вирівнюючи графік теплогенерації. Вказане реалізується встановленням акумулюючих ємностей, які у провали теплоспоживання здатні згенерувати необхідну кількість теплоти для покриття в робочі часи піків теплопостачання.

2.5. Висновки до розділу

1. За результатами аналізу режимів роботи різних типів будівель, у тому числі громадського призначення, показано доцільність змінних режимів роботи систем теплопостачання.

2. Отримано діаграми теплового навантаження будівель різного типу призначення впродовж тижня та року, що дозволило оцінити потенціал роботи у змінному режимі системи теплопостачання за видами теплового навантаження за вказані періоди роботи.

3. Результати моделювання режимів роботи будівель громадського призначення, а саме торгівельно-розважального комплексу, офісного центру та навчального закладу протягом робочої доби, з урахуванням кількості відвідувачів дня показали залежності зміни потужності кожного виду теплоспоживання (опалення, вентиляції та гарячого водопостачання), виявили потенціали зниження загальної теплової потужності та можливість перерозподілу потужності між різними генераторами теплоти.

4. За результатами проведених досліджень, щодо кількості відвідувачів кожної години протягом тижня, отримано дійсні значення розподілу різних видів теплового навантаження, а також відповідно загальне теплоспоживання протягом тижня

5. За допомогою використання статистичних функцій для аналізу емпіричних даних отримано накопичувальні середні послідовності та накопичувальна дисперсія послідовності для різних видів теплового навантаження, а також для загального теплоспоживання.

6. Аналіз отриманих результатів накопичувальної середньої послідовності та накопичувальної дисперсії послідовності для загального теплоспоживання привів до отримання значення вагових коефіцієнтів для різних видів теплового навантаження опалення – 1,66, вентиляція – 0,67, гаряче водопостачання – 0,67. Вказане дозволило вирівняти графік залежності накопичувальні середні послідовності та значно зменшити накопичувальну дисперсію послідовності, що покращило роботу генераторів теплоти та зменшило їх максимальну теплову потужність.

РОЗДІЛ 3.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ

3.1. Моделювання системи теплопостачання із використанням теплового насосу та акумулятора тепла

Метою моделювання системи теплопостачання є оцінка ефективності використання режиму переривчастого опалення для будівлі громадського призначення (офісної будівлі) та визначення оптимальних параметрів комбінованої системи теплопостачання, що містить водогрійний котел, тепловий насос та акумулятор теплоти (рис. 3.1).

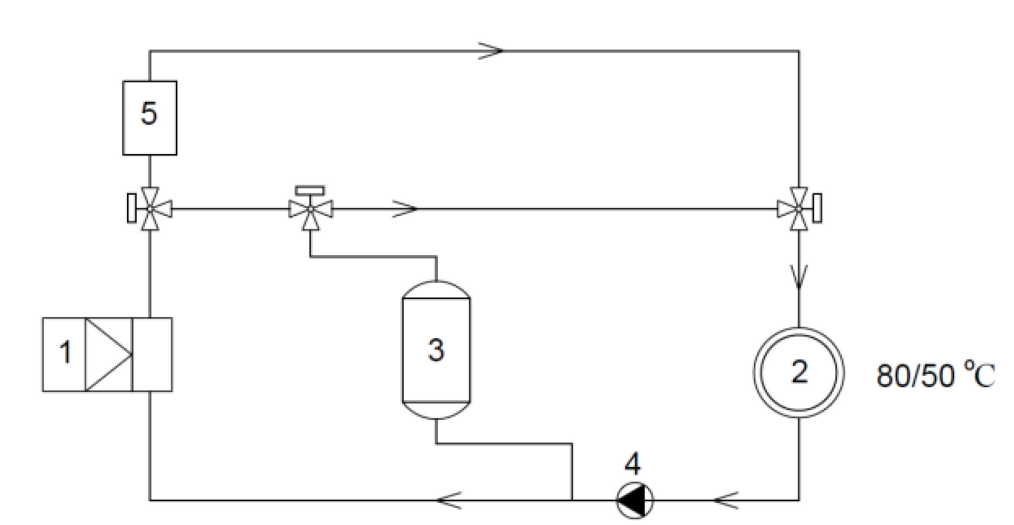


Рисунок. 3.1 – Послідовна бівалентна комбінована система опалення з тепловим акумулятором

1 - тепловий насос «повітря-вода»; 2 - система опалення, 3 - акумулятор теплоти;
4 - циркуляційний насос; 5 – водогрійний котел.

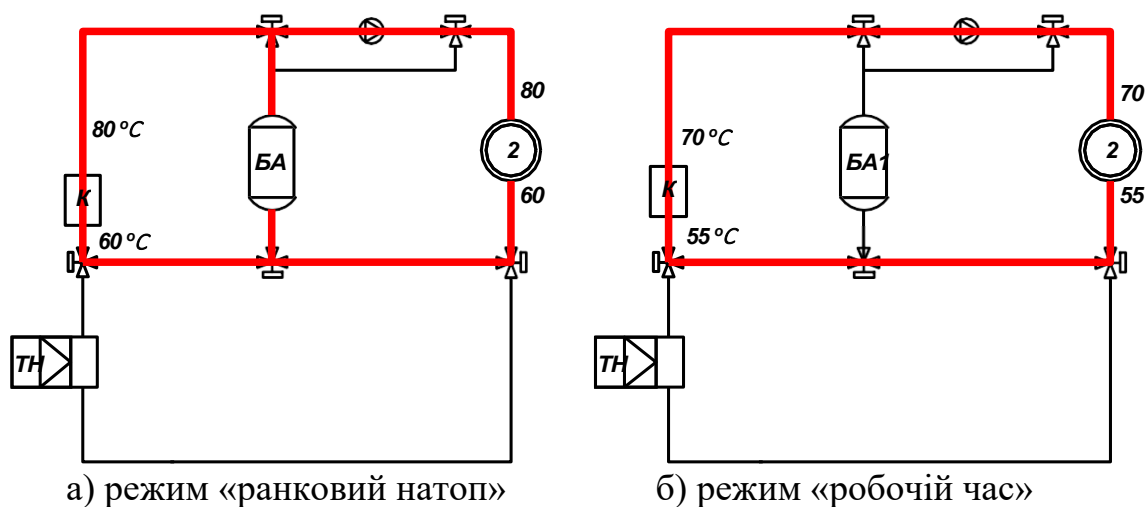
Режим роботи офісної будівлі – 9.00-18.00, тому застосування режиму переривчастого опалення щодо економії енергоресурсів є доволі актуальним [72-75].

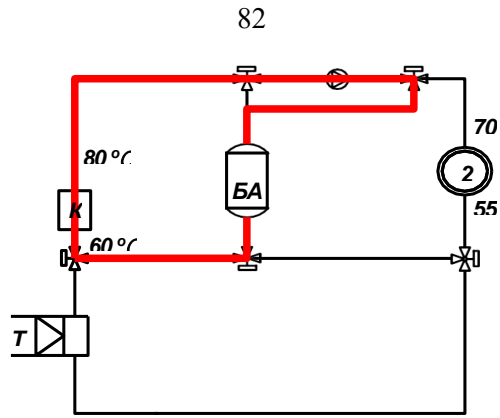
Також перевагою запропонованої системи є використання відновлюваного джерела енергії (теплового насосу) [17, 53]. Однак, ефективність теплового насосу

значно знижується при негативних температурах зовнішнього повітря, коли він працює нижче за бівалентну точку, викликаючи додаткові витрати енергії. З метою підвищення енергоефективності системи тепlopостачання при негативних температурах зовнішнього повітря встановлюють додаткове джерело енергії – водогрійний котел. У цьому випадку в запропонованій комбінованій системі досягається максимальна можливість заощадити теплову енергію.

Застосування режиму переривчастого опалення зумовлює форсоване навантаження на систему опалення під час ранкового натопу, при цьому потужність генератора тепла може перевищувати розрахункове значення у 1,5-2,0 рази [76]. З метою обмеження потужності генератора тепла, в системі застосовано добовий акумулятор тепла, що працює під час ранкового натопу паралельно з водогрійним котлом в режимі розрядки. Зарядка акумулятора тепла здійснюється вечорі, у неробочій час, від водогрійного котлу (ВК). Бівалентною точкою щодо використання ТН є температура зовнішнього повітря $t_{зов} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. При $t_{зов} \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ВК використовується тільки для зарядки акумулятора теплоти (АТ) у неробочій час, а ранковий натоп забезпечується тільки за рахунок розрядки АТ. ТН працює як генератор тепла системи опалення у робочій час з 9.00 до 18.00.

На рис. 3.2 наведено схему щодо режимів роботи системи тепlopостачання у різні періоди доби при $t_{зов} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто без використання ТН.

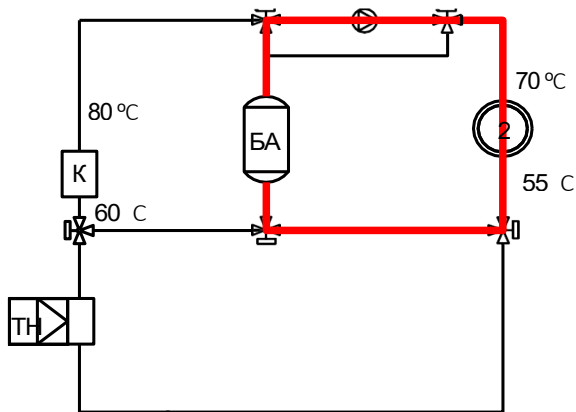




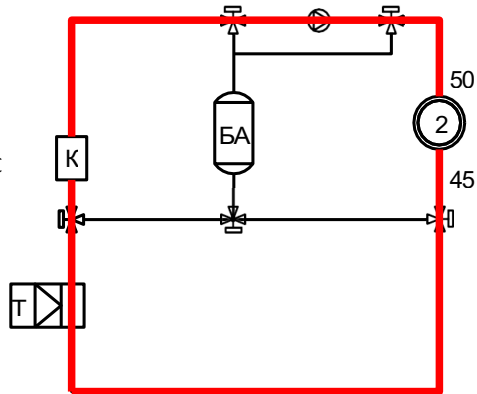
в) режим «зарядка АТ»

Рисунок. 3.2 – Схема режимів роботи системи тепlopостачання у різні періоди доби при $t_{\text{зов}} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

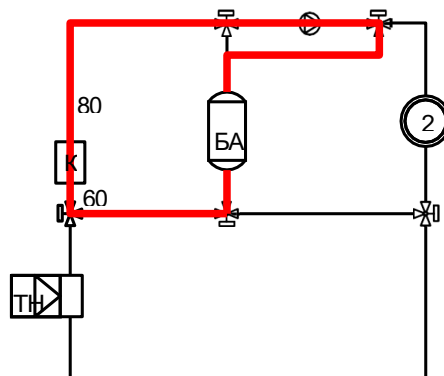
На рис. 3.3 наведено схему щодо режимів роботи системи тепlopостачання у різні періоди доби при $t_{\text{зов}} \geq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто з використанням ТН.



а) режим «ранковий натоп»



б) режим «робочій час»



в) режим «зарядка АТ»

Рисунок. 3.3 – Схема режимів роботи системи тепlopостачання у різні періоди доби при $t_{\text{зов}} \geq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

3.1.1. Вхідні параметри щодо моделювання комбінованої системи теплопостачання

Будівля офісу, щодо якої розроблено математичну модель системи теплопостачання, має наступні технічні параметри:

- 5-ти поверхова будівля з цегли;
- товщина стін – 0,65 м; об'єм будівлі – 9900 м³; площа зовнішніх стін – 2900 м²; опалювальна площа – 2590 м²;
- розрахункова теплова потужність системи опалення $Q_{оп} = 140$ кВт при температурі зовнішнього повітря – 18 °С; теплова потужність системи вентиляції: $Q_{вент.макс} = 204$ кВт; теплова потужність ГВП: $Q_{ГВП.макс} = 113$ кВт.

Теплопостачання здійснюється на базі 2-х повітряно-водяних теплових насосів тепловою потужністю по 60 кВт, та 3-х водогрійних котлів, тепловою потужністю по 80 кВт.

Внутрішні тепловиділення від людей, що знаходяться в офісі (до 600 людей) складає 50 кВт.

Об'єм баку-акумулятору тепла щодо забезпечення обмежень потужності ВК склав 21 м³, температурний режим розрядки-зарядки – 60-80 °С.

Режим переривчастого опалення було змодельовано за наступних умов:

- температура повітря у приміщенні $t_{пов}$ у робочий час з 9.00 до 18.00 підтримується на рівні 20 °С;
- при $t_{зов} < 0$ °С, під час натопу, - теплопостачання забезпечується від газових ВК та за рахунок розрядки АТ, у робочі часи – тільки від газових ВК, у неробочий період (з 18.00 до початку натопу на наступний день) – теплопостачання відсутнє, відбувається зарядка АТ від ВК;
- при $t_{зов} \geq 0$ °С, під час натопу, - теплопостачання забезпечується за рахунок розрядки АТ, у робочі часи - від ТН, у неробочий період (з 18.00 до початку натопу на наступний день) – теплопостачання відсутнє, відбувається зарядка АТ від ВК.

3.1.2. Методика оптимізації режимів навантаження системи теплопостачання

Моделювання динамічних властивостей будівлі при застосуванні режиму переривчастого опалення проведено на підставі системи диференціальних рівнянь та відповідних крайових умов [11].

Основною динамічною характеристикою, що характеризує акумулюючі властивості будівлі, є постійна часу, яка за моделлю [77] дорівнює:

$$T_2 = \frac{c\rho F\delta}{2q_0V},$$

де c – теплоємність матеріалу стін будівлі;

ρ – густина матеріалу стін будівлі;

F – площа зовнішньої огорожі будівлі;

q_0 – питома опалювальна характеристика будівлі;

V – об'єм будівлі.

Значення постійної часу для офісної будівлі становить $T_2 = 80$ год.

Згідно результатів досліджень [78], значне підвищення точності моделювання динаміки температури повітря в приміщенні в режимі переривчастого опалення дає врахування впливу малоінерційної складової теплообміну між повітрям та внутрішніми стінами будівлі. Модель, яка враховує цей ефект, описується, як поєднання передаточних функцій високоінерційної та малоінерційної ланок, та має вигляд:

$$W = W_1 + W_2,$$

$$\text{де} \quad W_1 = \frac{K_{nep1}}{T_1S + 1}; \quad W_2 = \frac{K_{nep2}}{T_2S + 1},$$

де K_{nep1}, K_{nep2} - відповідно коефіцієнти передачі за каналом: «потужність системи опалення - температура внутрішнього повітря» для мало - та високоінерційних ланок;

T_1, T_2 - відповідно постійні часу ланок.

Значення постійної часу малоінерційної ланки для офісної будівлі склало $T_1 = 1$ год., коефіцієнти передачі $K_{nep1} = 0,02$ °C/кВт, $K_{nep2} = 0,26$ °C/кВт.

Критерієм щодо оптимізації режимів навантаження системи теплопостачання обрано сумарні витрати тепла від водогрійного котла та теплового насоса

$\sum_{i=0}^{23} Q_i$, що забезпечують температурний режим будівлі у період натопу, в робочій та неробочій часи. Вираз щодо цільової функції задачі оптимізації режимів навантаження системи теплопостачання можна записати у вигляді:

$$\sum_{i=0}^{23} Q_i = \sum_{i=0}^{23} (Q_i^{гк} + Q_i^{тн}),$$

де i - час доби;

$Q_i^{гк}$ - середньогодинна теплова потужність газових (водогрійних) котлів;

$Q_i^{тн}$ - середньогодинна теплова потужність ТН.

За математичною постановкою задача оптимізації режиму навантаження може бути розглянута, як задача пошуку екстремуму функції багатьох змінних [79] (24 змінні — відповідні середньогодинні теплові навантаження ВК, ТН, АТ ($Q_i^{гк}, Q_i^{тн}, Q_i^{ат}, i = \overline{0,23}$) з урахуванням обмежень та крайових умов, що накладаються на змінні та систему, що оптимізуються. За характером залежностей між змінними, задачу оптимізації можна віднести до класу задач нелінійного програмування та в загальному вигляді вона може бути записана:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=0}^{23} Q_i = \sum_{i=0}^{23} (Q_i^{\text{TK}} + Q_i^{\text{TH}}) \rightarrow \min \\ \left\{ \begin{array}{l} Q_{i\min} \leq Q_i^{\text{TK}} \leq Q_{i\max} \\ Q_{i\min}^{\text{TH}} \leq Q_i^{\text{TH}} \leq Q_{i\max}^{\text{TH}} \\ i = \overline{0, 23} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (3.1)$$

За результатами розв'язання задачі оптимізації отримано добові графіки теплового навантаження ВК, ТН, системи опалення, розрядки-зарядки АТ, температури повітря в приміщенні офісу, температури прямої та зворотної мережевої води, за умовою мінімальної витрати енергоресурсів.

Інструментом щодо розв'язання задачі оптимізації було використано пакет MS Excel, що дозволяє компактно запрограмувати методику розрахунку параметрів та виконати багатовимірну оптимізацію системи з урахуванням обмежень та крайових умов системи.

3.2. Результати математичного моделювання режимів навантаження системи тепlopостачання громадського призначення

На рис. 3.4 представлено добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -15^\circ\text{C}$. Під час ранкового натопу з 1.00 по 9.00 тепла потужність водогрійного котла $Q_{\text{ВК}}$ максимальна та відповідає розрахунковому значенню за проєктом 140 кВт. Тривалість натопу максимально можлива – 8 годин. Форсування натопу потребує теплової потужності системи опалення більшої за максимальну потужність ВК, що досягається за рахунок застосування акумулятора тепла. При цьому теплова потужність системи опалення збільшено до 190 кВт, тобто на 36 %, що, в свою чергу, вимагає відповідного збільшення площі опалювальних приладів. Час з 9.00 до 18.00 є робочими годинами офісу з присутністю людей в кількості до 650, що зумовлює додаткове внут-

рішнє тепловиділення потужністю до 50 кВт та відповідне зниження потужності системи опалення до значення наприкінці робочого дня – 40 кВт. Добовий цикл завершує робота ВК на зарядку ТА з 20.00 до 24.00 до температури 80 °С. Теплова потужність ВК при цьому на рівні 85 кВт. Тепловий насос, який присутній у системі теплопостачання, але при занадто низькій температурі зовнішнього повітря не використовується внаслідок його низької енергетичної ефективності.

На рис. 3.5 представлено добовий графік температури повітря в приміщенні офісу у режимі переривчастого опалення, що відповідає тепловим навантаженням системи опалення (рис. 3.4) при $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період натопу температура повітря в приміщенні $t_{\text{пов}}$ зростає з 11 °С до розрахункового значення 20 °С, а після вимкнення системи опалення о 18.00 знов знижується, що зменшує втрати тепла назовні та визначає економію енергоресурсів у переривчастому режимі опалення.

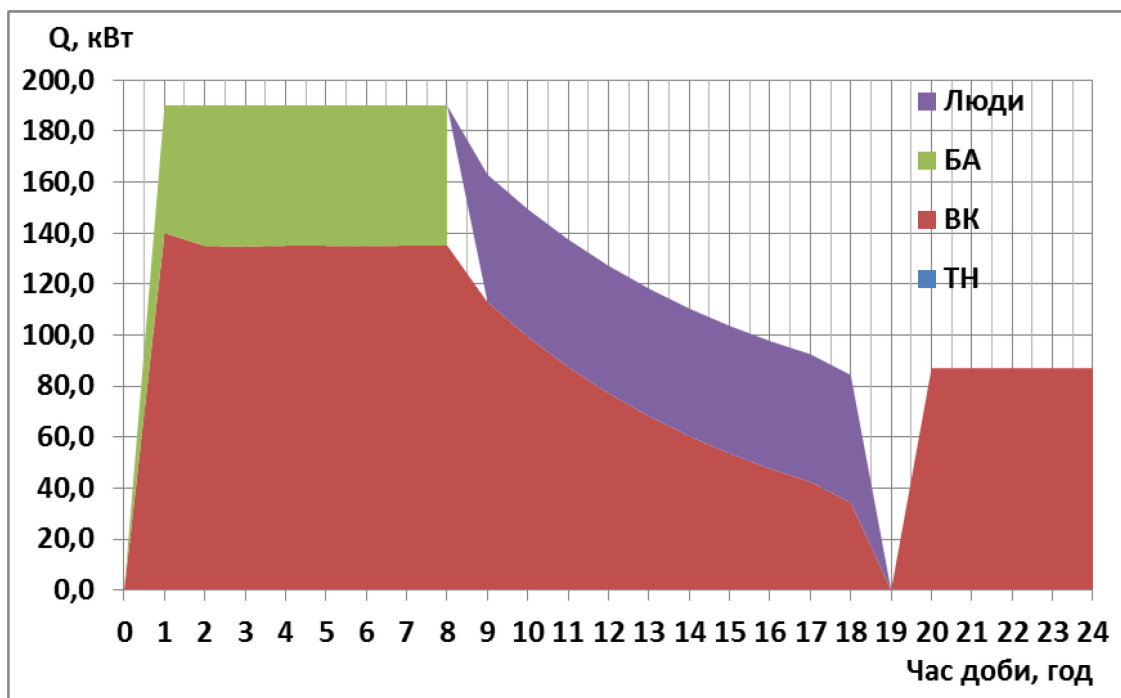


Рисунок. 3.4 – Добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$

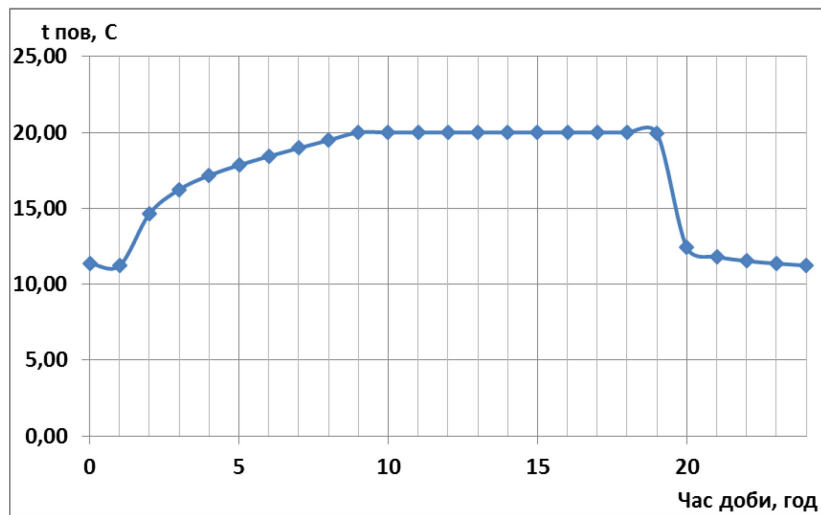


Рисунок. 3.5 – Добовий графік температури повітря в приміщенні у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^\circ\text{C}$

На рис. 3.6 представлено добовий графік температури мережевої води системи опалення у переривчастому режимі, що відповідає тепловим навантаженням системи опалення (рис. 3.4) при $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^\circ\text{C}$. У період ранкового натопу температура прямої мережевої води сягає $84\text{ }^\circ\text{C}$, але у робочій час знижується до $55\text{--}35\text{ }^\circ\text{C}$ внаслідок суттєвого зниження теплової потужності системи опалення.

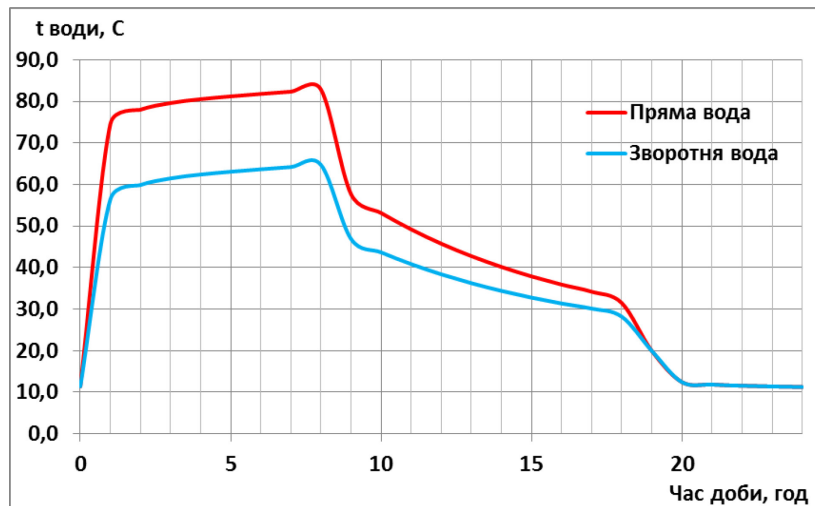


Рисунок. 3.6 – Добовий графік температури мережевої води у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^\circ\text{C}$

Добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -10\text{ }^\circ\text{C}$ представлено на рис. 3.7. Під час ранкового натопу з 3.00 по 9.00 тепла потужність ВК $Q_{\text{ВК}}$ також максимальна та відповідає розрахунковому значенню за проєктом 140 кВт. Тривалість натопу зменшилась до 6

годин. Форсування натопу за рахунок застосування АТ забезпечує теплову потужність системи опалення також на рівні 190 кВт, а наприкінці робочого дня – 40 кВт. Добовий цикл завершує робота ВК на зарядку АТ з 20.00 до 24.00 до температури 80 °С, теплова потужність ВК при цьому дорівнює 60 кВт.

На рис. 3.8 представлено добовий графік температури повітря в приміщенні офісу у режимі переривчастого опалення, що відповідає тепловим навантаженням системи опалення (рис. 3.7) при $t_{\text{зов}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період натопу температура повітря в приміщенні $t_{\text{пов}}$ зростає з 12 °С до значення 20 °С, а після вимкнення системи опалення зменшується до 13 °С.

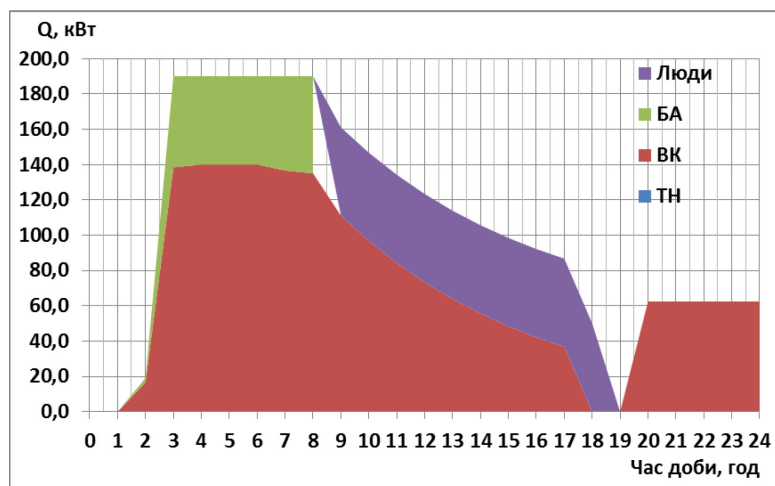


Рисунок. 3.7 – Добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

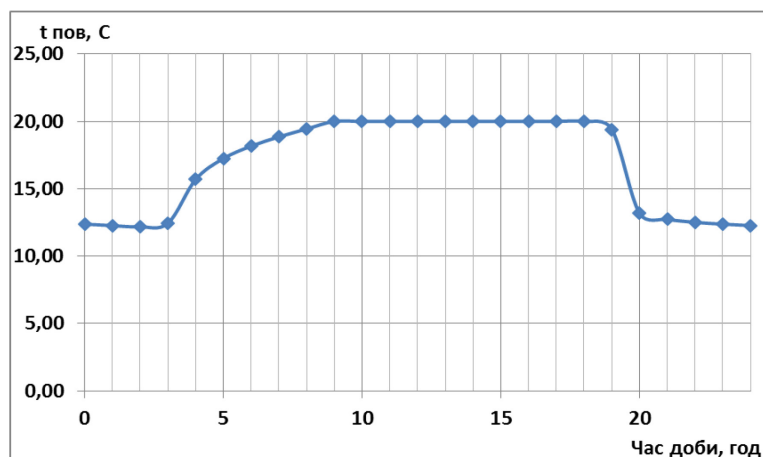


Рисунок. 3.8 – Добовий графік температури повітря в приміщенні у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.9 представлено добовий графік температури мережевої води системи опалення у переривчастому режимі, що відповідає тепловим навантаженням системи опалення (рис. 3.6) при $t_{\text{зов}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період ранкового натопу температура прямої мережевої води сягає $84\text{ }^{\circ}\text{C}$, але у робочій час знижується до $55\text{--}33\text{ }^{\circ}\text{C}$ внаслідок суттєвого зниження теплової потужності системи опалення.

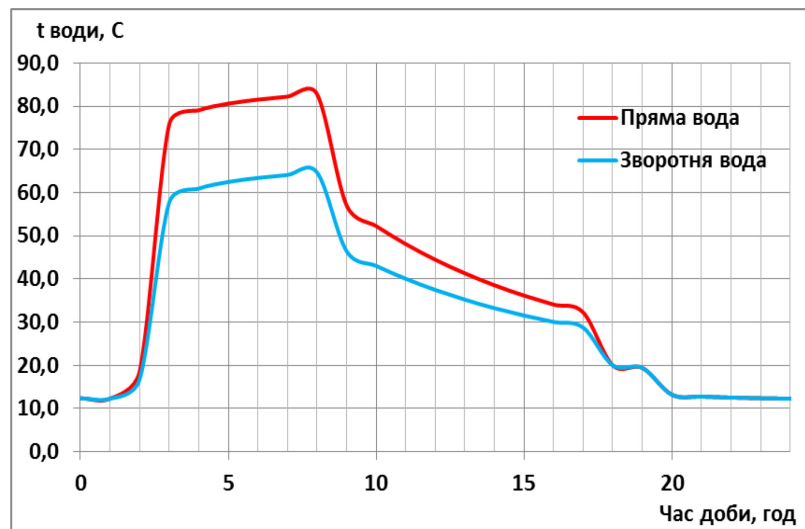


Рисунок. 3.9 – Добовий графік температури мережевої води у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлено на рис. 3.10. Під час ранкового натопу з 5.00 по 9.00 тепла потужність ВК $Q_{\text{ВК}}$ також максимальна та відповідає розрахунковому значенню 140 кВт. Тривалість натопу ще зменшилась до значення 4 години. Форсування натопу за рахунок розрядки АТ забезпечує теплову потужність системи опалення також на рівні 190 кВт., а наприкінці робочого дня – 30 кВт. Добовий цикл завершує робота ВК на зарядку АТ з 20.00 до 24.00 до температури $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, тепла потужність ВК при цьому дорівнює 65 кВт.

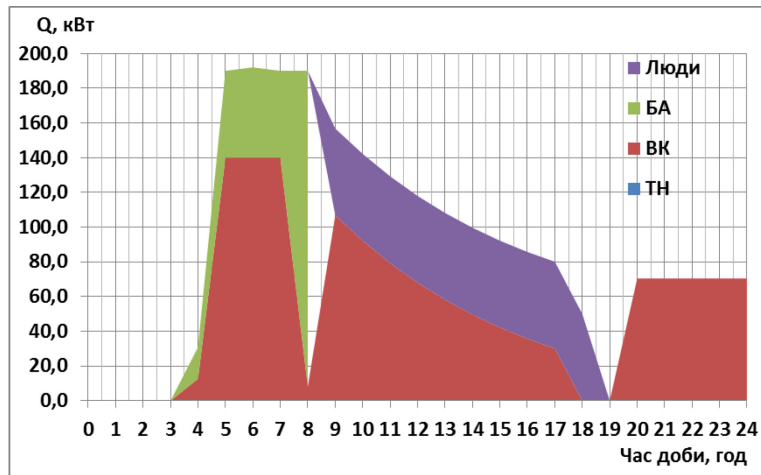


Рисунок. 3.10 – Добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.11 представлено добовий графік температури повітря в приміщенні офісу у режимі переривчастого опалення, що відповідає тепловим навантаженням системи опалення (рис. 3.10) при $t_{\text{зов}} = - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. У період натопу температура повітря в приміщенні $t_{\text{пов}}$ зростає з $13,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а після вимкнення системи опалення зменшується до $14 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

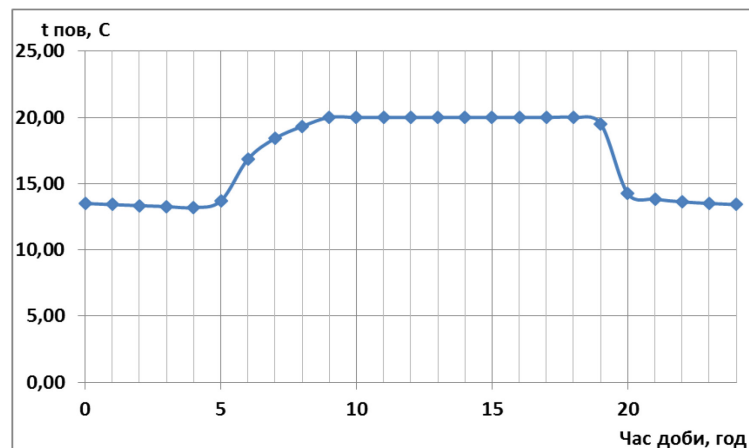


Рисунок. 3.11 – Добовий графік температури повітря в приміщенні у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.12 представлено добовий графік температури мережевої води системи опалення у переривчастому режимі, що відповідає тепловим навантаженням системи опалення (рис. 3.11) при $t_{\text{зов}} = - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. У період ранкового натопу температура прямої мережевої води сягає $84 \text{ }^{\circ}\text{C}$, але у робочій час знижується до $55\text{-}30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ внаслідок суттєвого зниження теплової потужності системи опалення.

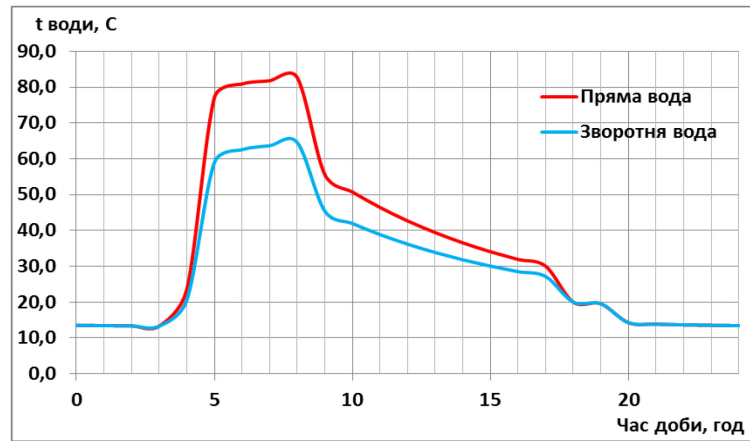


Рисунок. 3.12 – Добовий графік температури мережевої води у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлено на рис. 3.13. Підвищення $t_{\text{зов}}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ дає можливість застосування у системі опалення ТН, оскільки його енергетична ефективність підвищується до задовільного рівня. Під час ранкового натопу з 6.00 по 9.00 ВК вже не використовується. Тривалість натопу ще зменшилась до значення 3 години. Ранковий натоп здійснюється тільки за рахунок розрядки АТ та забезпечує теплову потужність системи опалення також на рівні 190 кВт. ТН працює тільки у робочі години офісу з тепловою потужністю на початку робочого дня – 90 кВт, а наприкінці робочого дня – 30 кВт. Добовий цикл завершує робота ВК на зарядку ТА з 20.00 до 24.00 до температури $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, теплова потужність ВК при цьому на рівні 97 кВт.

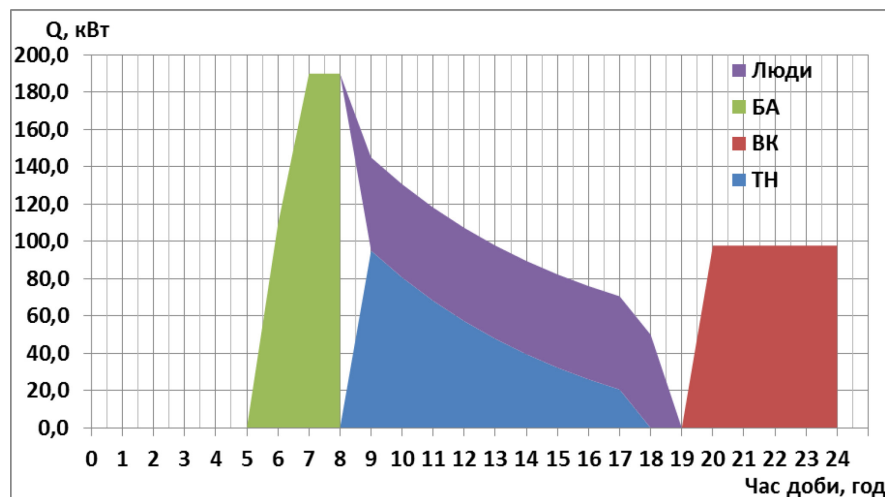


Рисунок. 3.13 – Добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.14 представлено добовий графік температури повітря в приміщенні офісу у режимі переривчастого опалення, що відповідає тепловим навантажен-

ням системи опалення (рис. 3.13) при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. У період ранкового натопу температура повітря в приміщенні $t_{\text{пов}}$ зростає з $14,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а після вимкнення системи опалення зменшується до $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

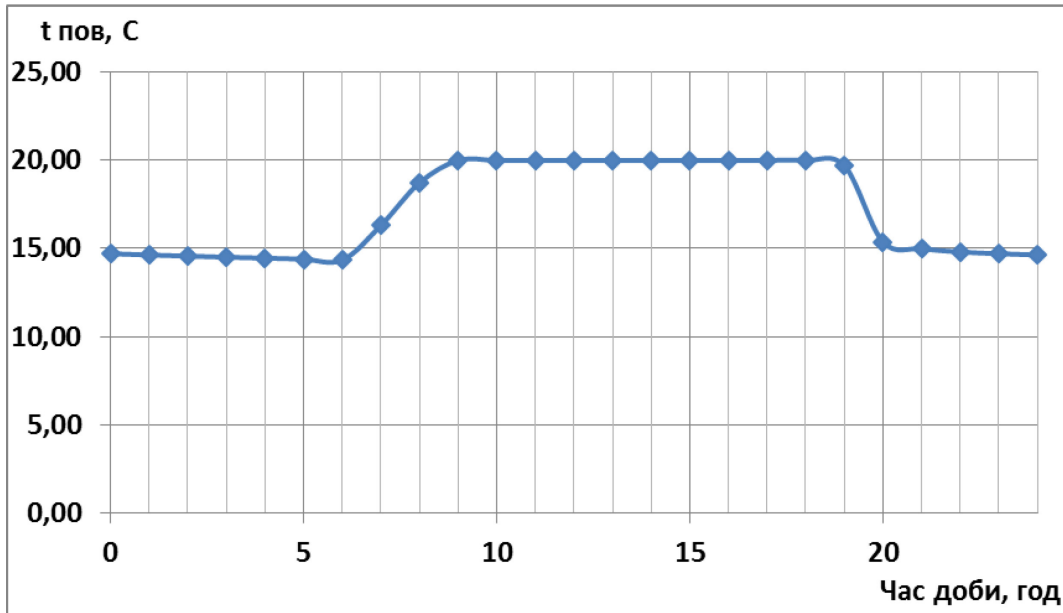


Рисунок. 3.14 – Добовий графік температури повітря в приміщенні у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.15 представлено добовий графік температури мережевої води системи опалення у переривчастому режимі, що відповідає тепловим навантаженням системи опалення (рис. 3.12) при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. У період ранкового натопу температура прямої мережевої води сягає $84 \text{ }^{\circ}\text{C}$, але у робочій час знижується до $50\text{--}27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ внаслідок суттєвого зниження теплової потужності системи опалення.

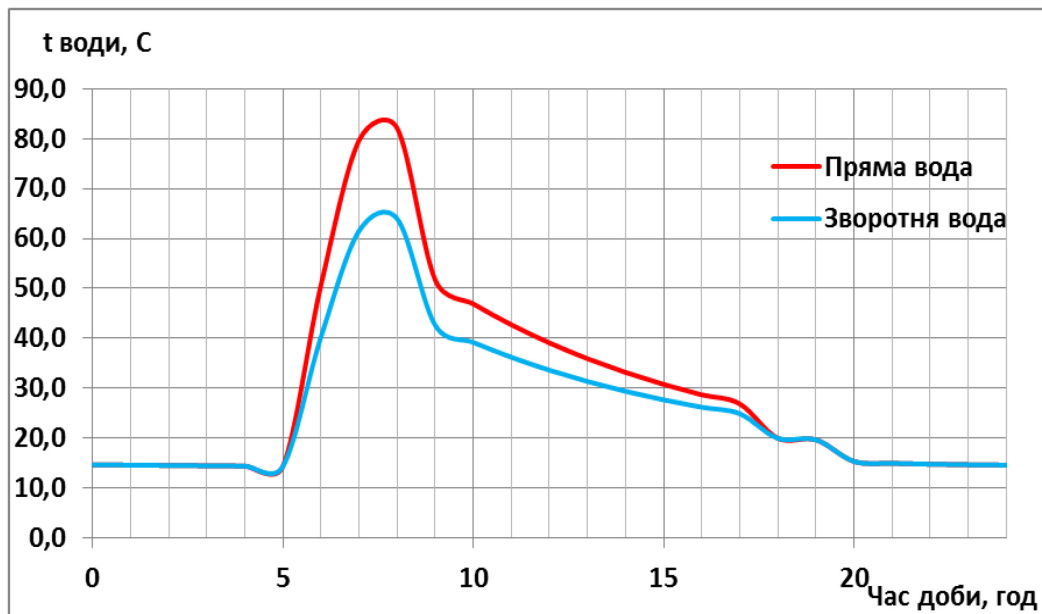


Рисунок. 3.15 – Добовий графік температури мережевої води у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлено на рис. 3.16. Підвищення $t_{\text{зов}}$ до $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ сприяє ще більшій енергетичній ефективності за рахунок більш широкого застосування у системі опалення ТН. Під час ранкового натопу з 8.00 по 9.00 ВК не використовується. Тривалість натопу ще зменшилась до значення всього 1 години. Ранковий натоп також здійснюється тільки за рахунок розрядки АТ та забезпечує теплову потужність системи опалення також на рівні 190 кВт. ТН працює тільки у робочі години офісу з тепловою потужністю на початку робочого дня – 67 кВт, а наприкінці робочого дня, за рахунок внутрішнього тепловиділення у офісі, тепла потужність ТН знижується до 0 кВт. Добовий цикл завершує робота ВК на зарядку ТА з 20.00 до 24.00 до температури $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, тепла потужність ВК при цьому на рівні 57 кВт.

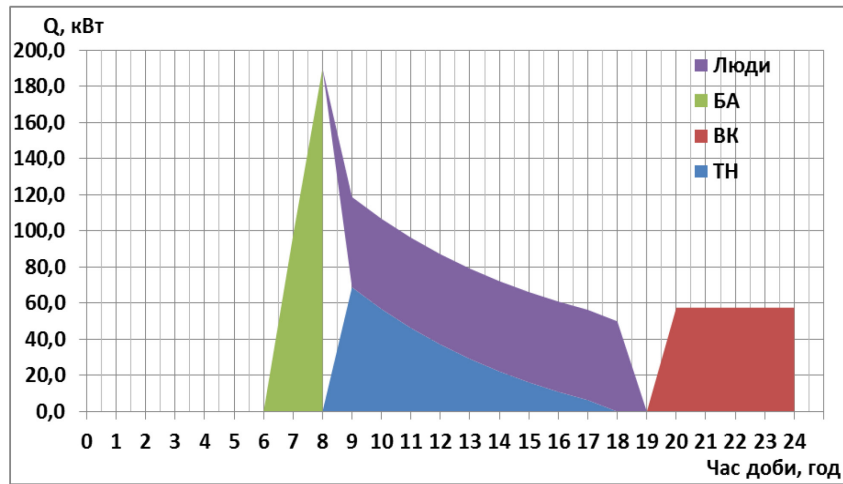


Рисунок. 3.16 – Добовий графік теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.17 представлено добовий графік температури повітря в приміщенні офісу у режимі переривчастого опалення, що відповідає тепловим навантаженням системи опалення (рис. 3.16) при $t_{\text{зов}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період ранкового натопу температура повітря в приміщенні $t_{\text{пов}}$ зростає з $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а після вимкнення системи опалення зменшується до $16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

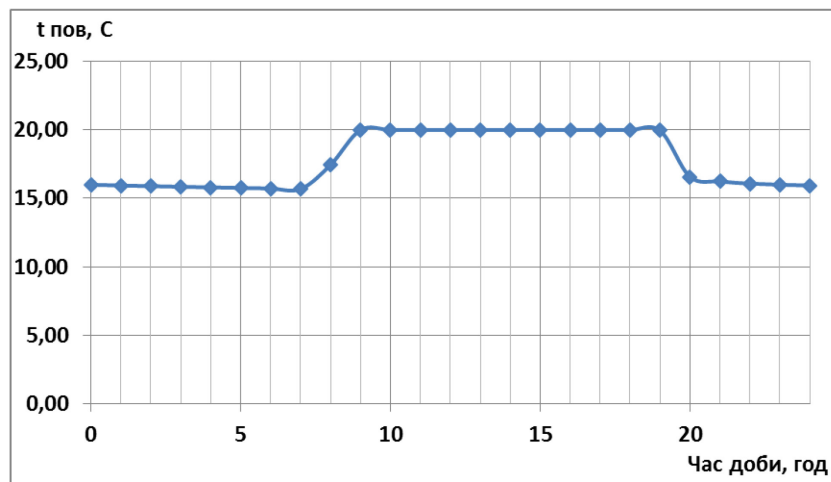


Рисунок. 3.17 – Добовий графік температури повітря в приміщенні у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.18 представлено добовий графік температури мережевої води системи опалення у переривчастому режимі, що відповідає тепловим навантаженням системи опалення (рис. 3.16) при $t_{\text{зов}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період ранкового натопу темпера-

тура прямої мережевої води сягає $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, але у робочій час знижується до $40\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ внаслідок суттєвого зниження теплової потужності системи опалення до 0 кВт наприкінці робочого дня.

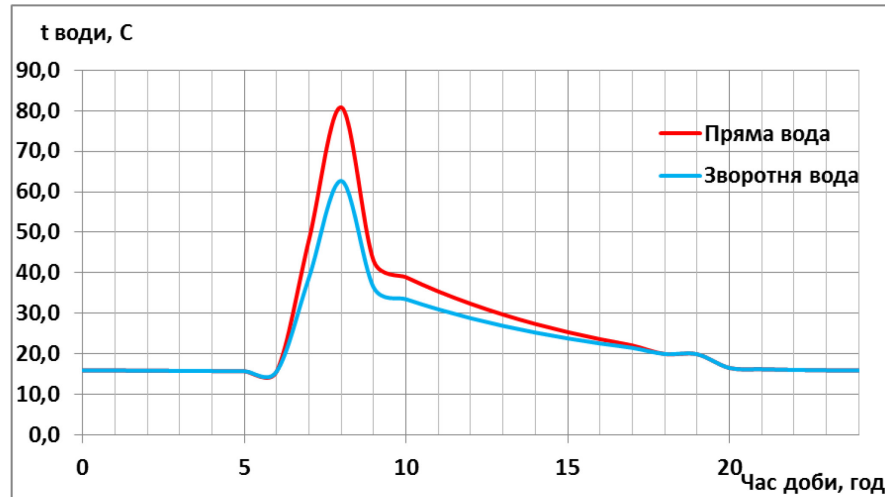


Рисунок. 3.18 – Добовий графік температури мережевої води у переривчастому режимі при $t_{\text{зов}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Використання добового теплового акумулювання дозволяє зменшити максимальну теплову потужність ВК, тому що під час ранкового натопу тепла потужність системи опалення складається з потужності ВК та потужності розрядки АТ (рис. 3.4). На рис. 3.19 наведено результати щодо дослідження залежності максимальної теплової потужності ВК для різних режимів опалення з урахуванням добового акумулювання тепла від температури зовнішнього повітря $t_{\text{зов}}$. Порівняння режимів навантаження ВК відносно, за максимальні 100% прийнято навантаження ВК під час натопу без АТ. Використання баку-акумулятору відповідної ємності дозволяє знизити потужність ВК на $26\text{--}69\%$ в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{\text{зов}}$, та наблизити потужність ВК до значень цілодобового режиму безперервного опалення. Але при такому режимі опалення витрачається більше енергоресурсів.

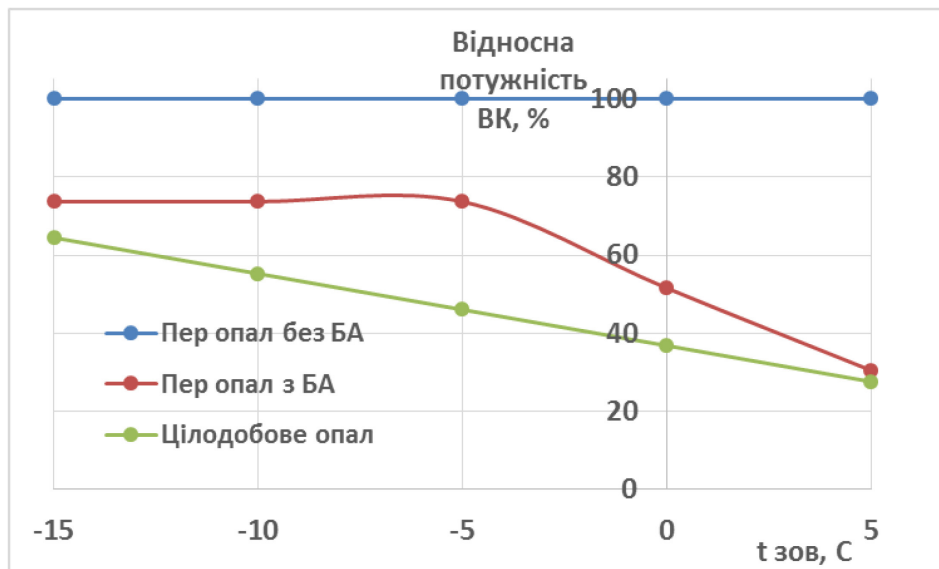


Рисунок. 3.19 – Відносна потужність водогрійного котла за різними режимами опалення та з акумулюванням тепла

На рис. 3.20 наведено залежність економії тепла на опалювання у переривчастому режимі від температури зовнішнього повітря $t_{\text{зов}}$. Максимальна економія тепла – 15 %, в порівнянні з цілодобовим режимом опалення, спостерігається при $t_{\text{зов}} = 5 ^\circ\text{C}$, мінімальна – 8 % при $t_{\text{зов}} = -15 ^\circ\text{C}$. Це пояснюється суттєвим зменшенням тривалості ранкового натопу з 8 до 1 години, та, відповідно, збільшенням часу вимкнення системи опалення на добу.

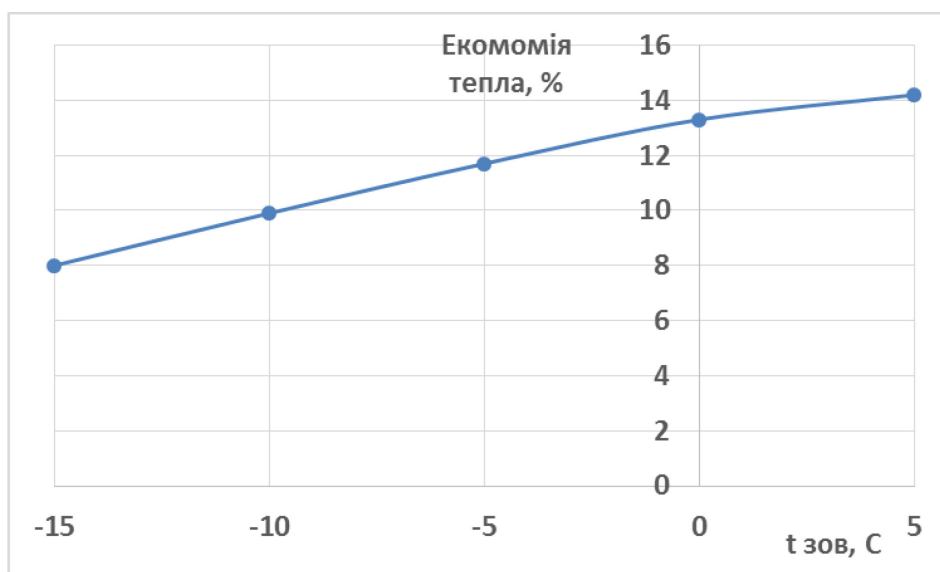


Рисунок. 3.20 – Залежність економії тепла на опалювання у переривчастому режимі від температури зовнішнього повітря

3.3 Оптимізація потужності генератора тепла системи теплопостачання з акумулятором тепла в режимі переривчастого опалення

Форсування потужності системи опалення у період ранкового натопу вимагає відповідного збільшення номінальної потужності генератора тепла. Для об'єкта дослідження потужність системи опалення у період натопу склала $Q_{co} = 190$ кВт при розрахунковій тепловій потужності ВК $Q_{BK} = 140$ кВт, тобто має місце перевищення потужності ВК на 36 %. Застосування АТ у режимі розрядки дозволяє паралельно з роботою ВК на розрахунковій потужності забезпечити необхідну теплову потужність системи під час натопу.

В роботі була розглянута задача максимального використання потенціалу АТ щодо зменшення потужності генератора тепла в системі теплопостачання.

Основними обмеженнями, щодо використання потенціалу АТ є:

1. час роботи ВК на зарядку АТ – до 5 годин увечері після перемикавання ВК з режиму опалення будівлі на зарядку АТ (обмежується часом закінчення робочого дня);
2. діапазон зміни температури в АТ при режимі зарядка-розрядка – 80-60 °С.

При цьому виконується умова рівності максимальної потужності ВК під час натопу та під час зарядки АТ: $Q_{BK}^{нат} = Q_{BK}^{зар}$.

Розв'язання поставленої задачі може бути здійснено різними методами, зокрема, графоаналітичного [80].

Нами в роботі запропоновано розглянути цю задачу, як задачу пошуку екстремуму функції багатьох змінних з урахуванням обмежень та крайових умов, що накладаються на змінні та систему, що оптимізуються.

Математичне формулювання задачі щодо максимального використання потенціалу АТ схоже з постановкою задачі оптимізації режиму навантаження системи з відповідними змінами та доповненнями:

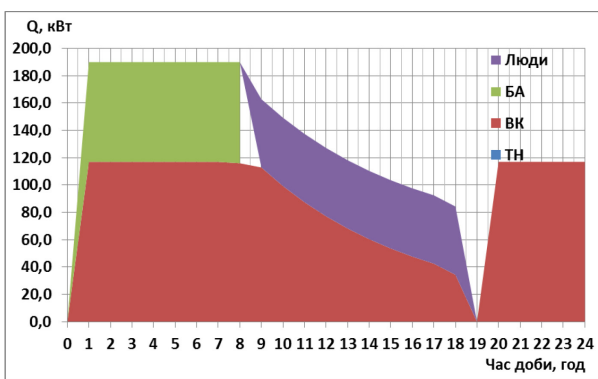
$$\begin{cases} \sum_{i=0}^{23} Q_i = \sum_{i=0}^{23} Q_i^{BK} \rightarrow \min \\ Q_{min}^{BK} \leq Q_i^{BK} \leq Q_{max}^{BK} \\ Q_{BK}^{нат} = Q_{BK}^{зар} = Q_{max}^{BK} \\ i = \overline{0,23} \end{cases}$$

За результатами розв'язання задачі оптимізації отримано добові графіки теплового навантаження ВК, системи опалення, розрядки-зарядки АТ, температури повітря в приміщенні офісу, температури прямої та зворотної мережевої води, за умовою мінімальної витрати енергоресурсів (рис. 3.21, а).

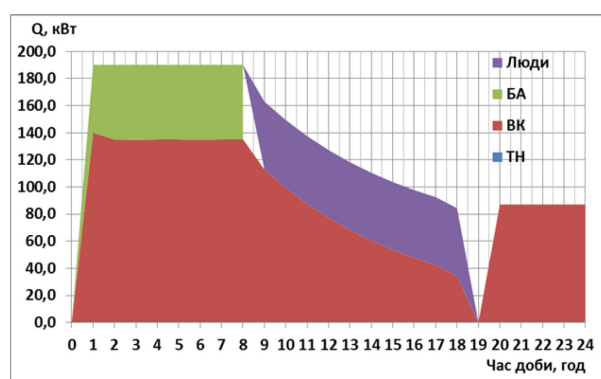
На графіку, в порівнянні з режимом за розрахунковою потужністю ВК, відповідно збільшилися площі щодо роботи ВК на зарядку АТ та кількості тепла в БА.

Порівняння результатів розв'язання задачі оптимізації в різних постановці (рис. 3.21 а, і б) дає наступні висновки:

1. Потужність ВК знижено з 140 до 117 кВт, тобто на 16,5 %;
2. Об'єм бака акумулятора збільшено з 21 до 24 м³;
3. Запас тепла в АТ при температурі зовнішнього повітря $t_{зов} = -15^\circ\text{C}$ відповідно збільшено з 401 до 584 кВт·год.



а) з оптимізацією потужності ВК



б) за розрахунковою потужністю ВК

Рисунок. 3.21 – Добові графіки теплового навантаження системи опалення у переривчастому режимі при $t_{зов} = -15^\circ\text{C}$

На рис. 3.22 наведено результати щодо дослідження залежності максимальної теплової потужності ВК для різних режимів опалення при максимально можливому потенціалі добового акумулювання тепла від температури зовнішнього повітря $t_{\text{зов}}$. Максимальне використання потенціалу акумуляції тепла дозволяє знизити потужність ВК на 39-69 % в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{\text{зов}}$, та ще більше наблизити потужність ВК до значень щодо цілодобового режиму безперервного опалення в порівнянні з режимом при розрахунковій потужності ВК (рис. 3.19).

На рис. 3.23 наведено результати моделювання щодо динаміки розрядки-зарядки АТ протягом доби в залежності від температури зовнішнього повітря в діапазоні $t_{\text{зов}} = -15 - +5$ °С. Діапазон зміни температури в АТ при режимі зарядка-розрядка склав 80-60 °С. Початок зарядки о 19.00, кінець – о 24.00. Розрядка АТ триває з 1.00 до 9.00 під час натопу при $t_{\text{зов}} = -15$ °С та поступово зменшується з 7.00 до 9.00 при $t_{\text{зов}} = +5$ °С.

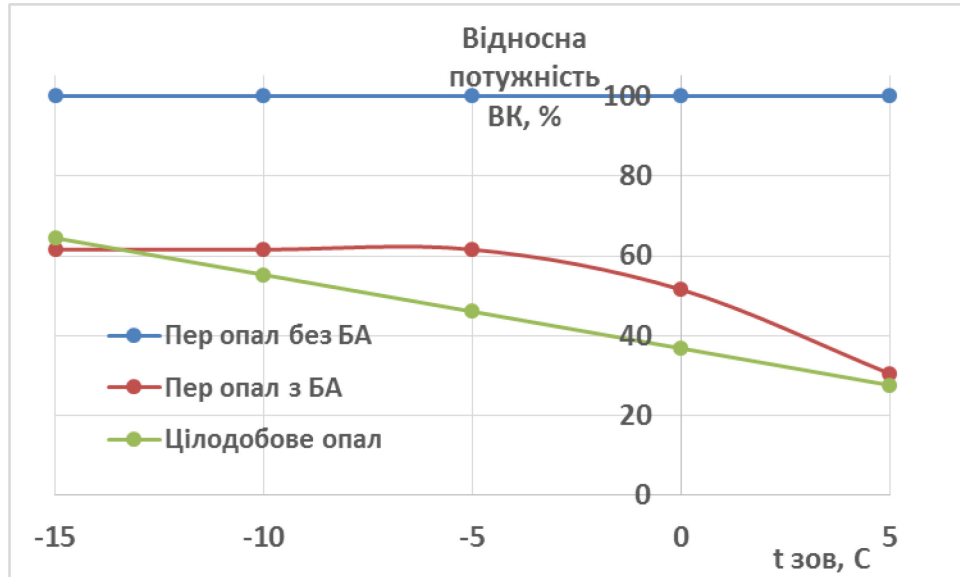


Рисунок. 3.22 – Відносна потужність ВК за різними режимами опалення з максимальним використанням потенціалу акумуляції тепла

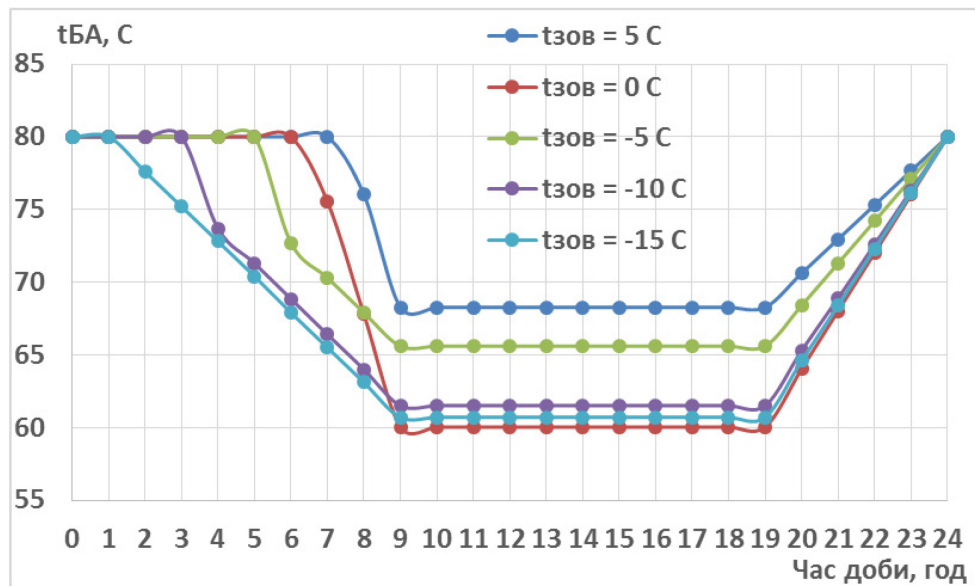


Рисунок. 3.23 – Динаміка розряду-заряду АТ протягом доби в залежності від температури зовнішнього повітря

3.4. Висновки по розділу

1. За результатами чисельного моделювання комбінованої системи теплопостачання змінної конфігурації визначено залежності основних показників системи та її складових частин від зовнішніх умов, виконано аналіз енергетичної ефективності системи в режимі переривчастого опалення та в порівнянні з цілодобовим опаленням.
2. Наведені результати моделювання режимів системи теплопостачання підтверджують можливість створення високоефективних систем опалення з застосуванням сучасних енергетичних технологій та альтернативних джерел енергії.
3. Результати моделювання динаміки розряду-заряду акумулятора тепла в режимі переривчастого опалення свідчать про можливість зниження максимальної потужності ВК до розрахункового значення та й можливості додаткового її зниження при максимальному використанні потенціалу акумуляції тепла.
4. Використання режиму переривчастого опалення для комбінованої системи теплопостачання надає додаткові можливості щодо економії енергоресурсів в межах 8–15 % та підвищення ефективності роботи ТН.

5. У період ранкового натопу необхідно забезпечити максимальне опалювальне навантаження системи теплопостачання задля скорочення часу досягнення розрахункової температури повітря в будівлі (під час проєктування необхідно закласти підвищену потужність системи опалення або опрацювати встановлення додаткової потужності існуючих систем).

6. За результатами оптимізації режимів навантаження системи теплопостачання з акумулятором тепла при зміні температури зовнішнього повітря від -15°C до $+5^{\circ}\text{C}$ отримано оптимальні параметри режимів навантаження основних елементів системи теплозабезпечення. Задля досягнення підвищеної точності розрахунків при моделюванні режиму переривчастого опалення було враховано малоінерційну складову динаміки зміни температури повітря в будівлі.

РОЗДІЛ 4.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.

4.1. Аналіз схем тепlopостачання із застосування теплових насосів у системах тепlopостачання

Системи опалення з тепловим насосом бувають моновалентні та бівалентні [81]. Відмінність між двома видами полягає у тому, що моновалентні системи мають одне джерело тепла, яке повністю покриває річну потребу в опаленні. Бівалентні системи мають у своєму складі два джерела тепла для розширення діапазону робочих температур [82]. У досліджуваних варіантах є обов'язковий елемент - тепловий насос. Для ефективної роботи системи додається котел, як додаткове джерело теплової енергії, а також з метою енергозбереження - буферна ємність [83].

Типове використання теплових насосів передбачає роботу системи опалення у низькотемпературному режимі за умови застосування енергоефективних заходів [84]. Проаналізуємо роботу даної системи для послідовного та паралельного моновалентного варіантів [17].

Джерелом тепла в послідовній моновалентній низькотемпературній системі опалення (рис.4.1) є тепловий насос (ТН), який підбирається на пікове опалювальне навантаження. Для енергозбереження застосовують бак-акумулятор з можливістю теплоаккумуляції з мінімальними витратами. Застосування буферної ємності дозволяє досягти більш раціональних режимів роботи системи. Однак вказана схема потребує більш розвиненої площі опалювальних приладів, які необхідно підбирати на робочу температуру не більше 50 °С. При цьому максимальна потужність теплового насосу буде використовуватись незначний проміжок часу впродовж року (при температурі зовнішнього повітря – 18 °С). Ще одним недоліком є відсутність гідравлічного розв'язання між джерелом та споживачами теплоти, що може ускладнити роботу ТН.

В паралельній моновалентній низькотемпературній системі опалення (рис. 4.2) з тепловим насосом в якості основного обладнання, вирішено питання гідравлічного розв'язання джерела тепlopостачання та опалювальної системи. Вирішення вказаного питання реалізується паралельним під'єднанням ТН та системи

опалення через буферну ємність та встановлення двох циркуляційних насосів – окремо для ТН, та для системи опалення. Вказане рішення також дозволяє реалізувати акумулювання теплоти в нічний період часу за пільговим тарифом. Вказана схема дозволяє більш ефективно вирішувати потреби теплопостачання, частково зменшити розрахункову потужність ТН за рахунок накопичення теплоти у буферній ємності, яка також буде відігравати роль акумулятора теплоти. Однак не вирішеними залишаються питання розвиненої площі опалювальних приладів та зменшення потужності ТН із відбором теплоти від зовнішнього повітря при низьких температурах ззовні [85].

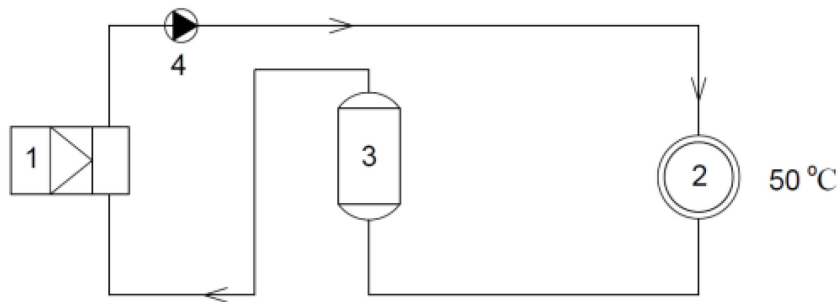


Рисунок 4.1 – Послідовна моновалентна низькотемпературна система опалення з буферною ємністю. 1. тепловий насос (ТН), 2. система опалення, 3. буферна ємність, 4. циркуляційний насос.

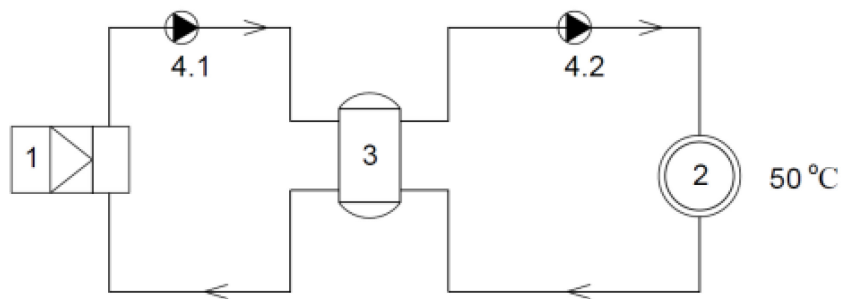


Рисунок 4.2 – Паралельна моновалентна низькотемпературна система опалення з буферною ємністю. 1. тепловий насос, 2. система опалення, 3. буферна ємність, 4.1. циркуляційний насос ТН, 4.2. циркуляційний насос системи опалення.

Паралельна бівалентна традиційна система опалення (рис. 4.3) ефективно працює від ТН доти, доки температура зовнішнього повітря не впаде нижче за бівалентну точку [86]. Після цього вмикається котел, який покриває все пікове навантаження. Перемикання генераторів теплоти організовано парою триходових клапанів. Використання бака акумулятора дозволяє акумулювати тепло від ТН із мінімальними витратами. Дана схема має велику перевагу у порівнянні з попередньою за рахунок встановлення котлу. Вказане рішення дозволяє зменшити пове-

рхню опалювальних приладів за рахунок підвищення температури теплоносія до 80 °С. Також суттєво зменшується розрахункова потужність ТН, в цьому випадку вона розраховується на теплові втрати, які відповідають бівалентній точці [87]. Однак представлена схема не дозволяє працювати одночасно ТН и котлу в перехідний період, що зменшує ефективність роботи системи тепlopостачання.

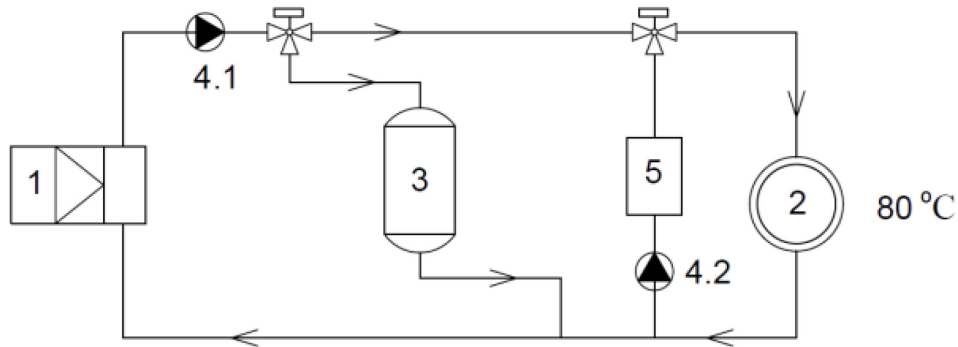


Рисунок 4.3 – Паралельна бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. 1. тепловий насос, 2. система опалення, 3. буферна ємність, 4.1. циркуляційний насос ТН, 4.2. циркуляційний насос котла, 5. котел.

У послідовній бівалентній системі тепlopостачання (рис. 4.4) на відміну від паралельної бівалентної схеми реалізована можливість працювати за трьома режимами: 1. при температурах зовнішнього повітря вище температури бівалентної точки – робота ТН; 2. при температурах зовнішнього повітря у межах температури бівалентної точки – сумісна робота ТН та котла; 3. при температурах зовнішнього повітря значно нижче температури бівалентної точки – робота котла. Вказані режими дозволяють додатково розширити діапазон застосування ТН та підвищити енергоефективність системи в цілому. Однак у вказаній схемі не враховуються режими роботи різних видів опалювальних систем. На відміну від систем радіаторів, фенкойлів, радіаційних панелей, тощо, в яких температура теплоносія при розрахункових температурах зовнішнього повітря (-18....-20 °С) сягає 80 °С існують системи «тепла підлога», «тепла стіна» в яких розрахункова максимальна температура теплоносія не перевищує 50 °С. Представлена схема не дозволяє у третьому режимі одночасно використовувати ТН и котел, що унеможливорює досягти найбільшої ефективності у бівалентній схемі системи тепlopостачання.

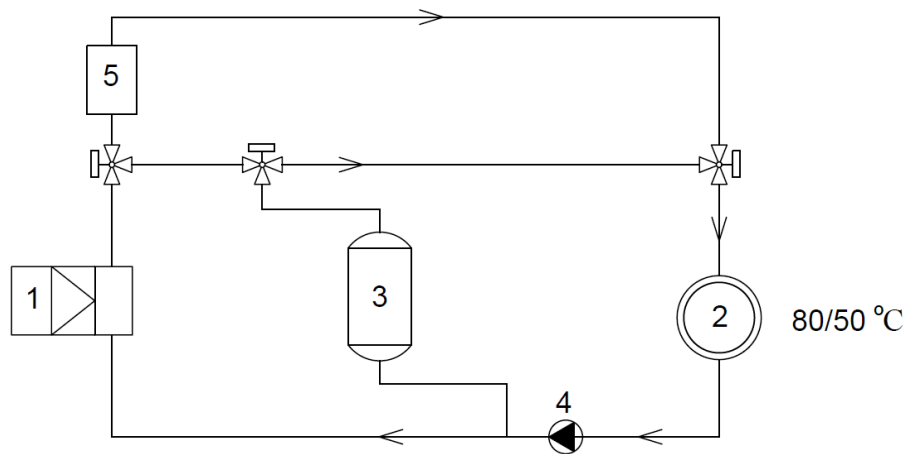


Рисунок 4.4 – Послідовна бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. 1. тепловий насос, 2. система опалення, 3. буферна ємність, 4. циркуляційний насос, 5. котел.

Можливість максимально ефективно використовувати ТН у системі теплопостачання реалізована у представленій послідовній роздільній бівалентній комбінованій схемі (рис. 4.5) [88]. Схema представляє послідовно-паралельне включення відносно теплоносія ТН та котла. В представленій системі також реалізована можливість роботи в трьох режимах. Однак на відміну від попередньої схеми при роботі в 3-му режимі ТН також працює та забезпечує теплотою низькопотенційну систему опалення (2.2), при цьому котел забезпечує теплотою високотемпературну систему опалення (2.1). При цьому потужність теплового насоса розраховується також на потреби системи опалення на температуру зовнішнього повітря для бівалентної точки. В той же час розрахункова потужність котла може бути зменшена і спрямована на потреби високотемпературної системи опалення.

Наведена схема є найбільш гнучкою до різних режимів роботи як джерел теплоти так і споживачів теплоти.

При роботі послідовної моновалентної низькотемпературної системи опалення з буферною ємністю у температурному режимі від -18°C до -5°C , коли досягається максимальне навантаження на джерело тепла, тепловий насос працює на повну потужність, без ефекту енергозбереження [17]. У наступному інтервалі температур теплове навантаження становить 60% і мінімальне навантаження - 30% - при роботі в період позитивних температур зовнішнього повітря (рис. 4.6).

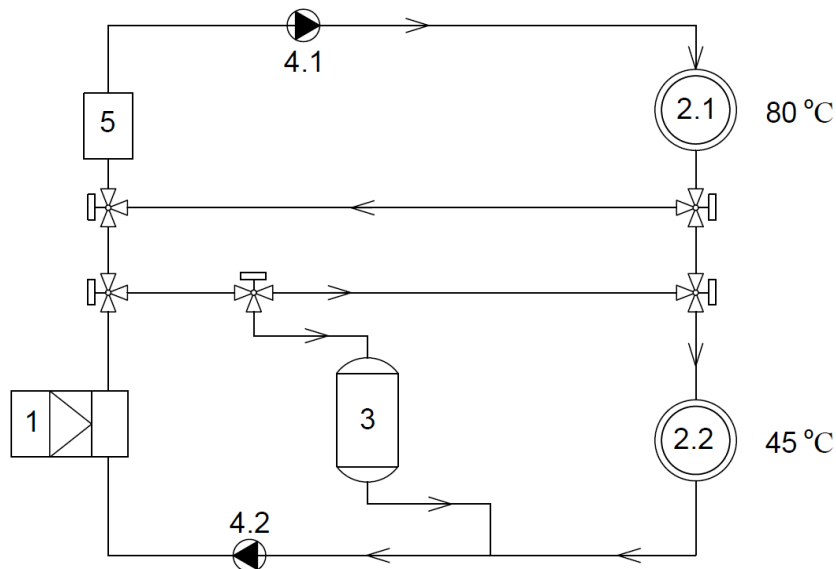


Рисунок 4.5 – Послідовно-паралельна бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. 1. тепловий насос, 2.1. високотемпературна система опалення, 2.2. низькотемпературна система опалення, 3. буферна ємність, 4.1. циркуляційний насос ТН, 4.2. циркуляційний насос котлу, 5. котел.

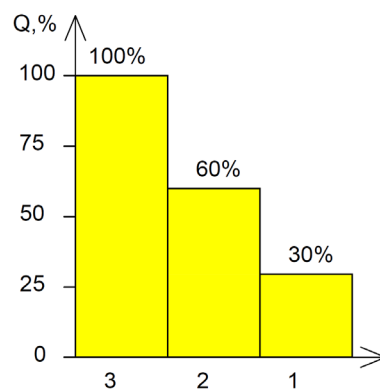


Рисунок 4.6 – Розподіл теплового навантаження для різних періодів роботи в залежності від температури зовнішнього повітря для послідовної моновалентної низькотемпературної системи опалення з буферною ємністю.

- 1 - температурний режим зовнішнього повітря від 0 °C до +15 °C;
- 2 - температурний режим зовнішнього повітря від -5 °C до 0 °C;
- 3 - температурний режим зовнішнього повітря від -18 °C до -5 °C;

У паралельній моновалентній низькотемпературній системі опалення з буферною ємністю, яка одночасно виконує функції розподільчої гребінки, ефективність теплового насоса значно підвищується порівняно з моновалентною схемою при однакових теплових навантаженнях [17]. У режимі першого температурного перепаду ефективність роботи збільшується на 20% і становить 80%. Інші два ре-

жими залишаються без змін (рис. 4.7). Це пов'язано з тим, що в нічний період використовується бак-акумулятор, що дозволяє накопичувати теплову енергію, тим самим витрачаючи на прогрів значно менше тепла, зменшуючи теплове навантаження на тепловий насос.

Режим роботи паралельної бівалентної комбінованої системи опалення з буферною ємністю повністю збігається з варіантом використання послідовної моновалентної низькотемпературної системи опалення з буферною ємністю (рис. 4.8).

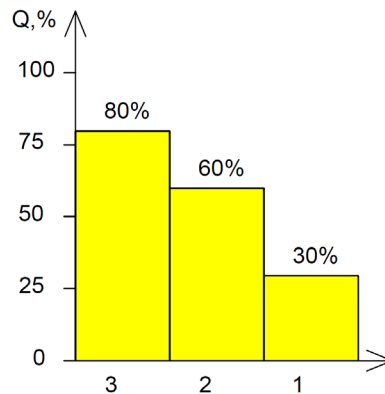


Рисунок 4.7 – Розподіл теплового навантаження для різних періодів роботи в залежності від температури зовнішнього повітря для послідовної бівалентної низькотемпературної системи опалення з буферною ємністю.

- 1 - температурний режим зовнішнього повітря від 0 °С до +15 °С;
- 2 - температурний режим зовнішнього повітря від -5 °С до 0 °С;
- 3 - температурний режим зовнішнього повітря від -18 °С до -5 °С;

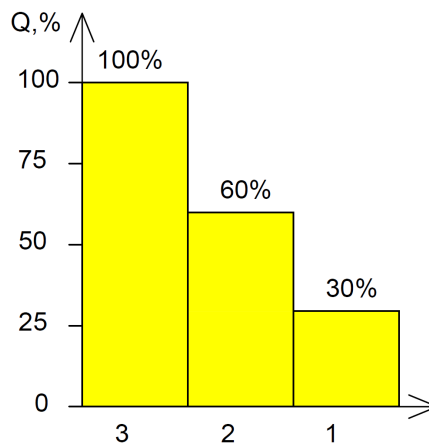


Рисунок 4.8 – Розподіл теплового навантаження для різних періодів роботи в залежності від температури зовнішнього повітря для паралельної бівалентної комбінованої системи опалення з буферною ємністю. 1 - температурний режим зовнішнього повітря від 0 °С до +15 °С; 2 - температурний режим зовнішнього повітря від -5 °С до 0 °С; 3 - температурний режим зовнішнього повітря від -18 °С до -5 °С;

Проаналізуємо роботу послідовної бівалентної комбінованої системи опалення з буферною ємністю. Оскільки в даній схемі присутні два джерела тепла: тепловий насос і котел, в режимі найгірших температур зовнішнього повітря, коли тепловий насос не спроможен самотужки забезпечити теплове навантаження, а здатен ефективно працює тільки на 10% теплової потужності, частина теплового навантаження, що залишилася, на систему опалення покривається за рахунок роботи котла, та складає 90%. В решті температурних режимів працює тепловий насос, покриття теплового навантаження становить відповідно 60 та 30% (рис. 4.9).

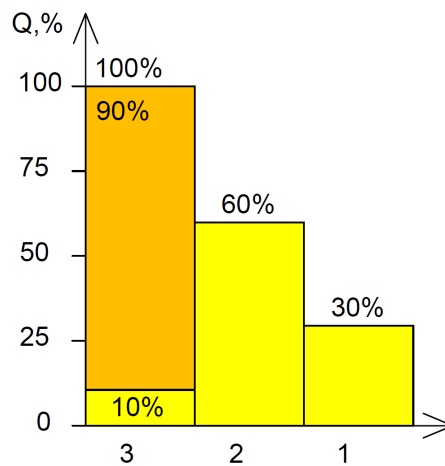


Рисунок 4.9 – Розподіл теплового навантаження для різних періодів роботи залежно від температури зовнішнього повітря для послідовної бівалентної комбінованої системи опалення з буферною ємністю. 1 - температурний режим зовнішнього повітря від 0 °C до +15 °C; 2 - температурний режим зовнішнього повітря від -5 °C до 0 °C; 3 - температурний режим зовнішнього повітря від -18 °C до -5 °C;

Максимальна ефективність у розподілі теплового навантаження для різних періодів роботи залежно від температури зовнішнього повітря досягається у роботі послідовно-паралельної бівалентної комбінованої системи опалення з буферною ємністю. За рахунок підключення в систему водяного опалення різних типів опалювальних приладів: радіаторів та теплової підлоги, а також двох джерел тепла та буферної ємності досягається суттєва економія теплової енергії. При послідовно-паралельному підключенні та відповідно розподілі тепла, у період найнижчих температур зовнішнього повітря ефективність роботи теплового насоса збільшується до 30%, потім підключається котел – з часткою покриття теплової потужності до 70%. В інші температурні режими, що залишилися, ефективність теплового насоса залишається без змін, тобто 60% і 30% (рис. 4.10).

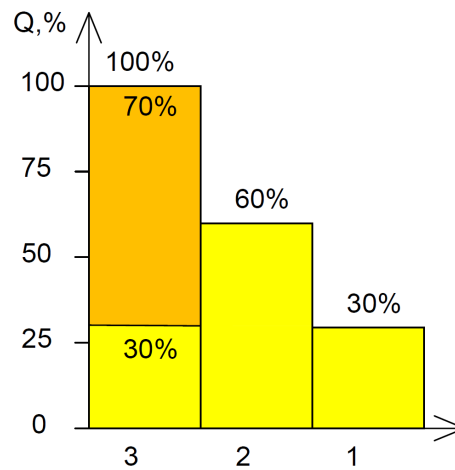


Рисунок 4.10 – Розподіл теплового навантаження для різних періодів роботи залежно від температури зовнішнього повітря для послідовно-паралельної бівалентної комбінованої системи опалення з буферною ємністю.

- 1 - температурний режим зовнішнього повітря від 0 °С до +15 °С;
- 2 - температурний режим зовнішнього повітря від -5 °С до 0 °С;
- 3 - температурний режим зовнішнього повітря від -18 °С до -5 °С;

Проаналізувавши зміну розподілу теплового навантаження залежно від температури зовнішнього повітря для різних періодів роботи всіх вище перерахованих варіантів роботи теплового насоса, можна зробити висновок, що максимальна ефективність досягається послідовно-паралельною бівалентною комбінованою системою опалення з буферною ємністю [17].

4.2. Рекомендація схем використання ТН у системах теплопостачання при різних режимах роботи

Для підвищення ефективності використання систем теплопостачання із відновлювальними джерелами енергії необхідно враховувати як режими використання будівлі, так і зовнішні кліматичні чинники, а також можливість акумулювати тепло у неробочі періоди експлуатації [89]. При цьому велике значення має тип опалювальних приладів. Для систем із орієнтацією на високотемпературні опалювальні графіки режими роботи системи теплопостачання доцільно застосовувати послідовну бівалентну модернізовану схему із акумулюванням верхнього рівня температур (рис. 4.11).

Наведена схема дозволяє організувати різні режими роботи системи теплопостачання в залежності від режимів експлуатації будівлі та кліматичних чинників [12]. Вона забезпечує теплотою системи опалення із використанням високотемпе-

ратурних пристроїв (радіатори, фенкойли, конвектори, радіаційні панелі). Схема представляє собою послідовне по теплоносію підключення джерел теплоти: тепловий насос та котел, а також паралельне підключення акумулятора теплоти. Завдяки встановленню триходових клапанів можна організовувати різні потоки теплоносія.

Для ефективного використання енергоресурсів пропонується 4 режими роботи з умовним позначенням:

- 1 – «акумуляція» - накопичення теплоти;
- 2 – «надтоп» - інтенсивний прогрів приміщень;
- 3 – «робочий» - підтримання заданих параметрів протягом дня;
- 4 – «черговий» - переведення будівлі у черговий режим опалення із підтриманням мінімально необхідної температури.

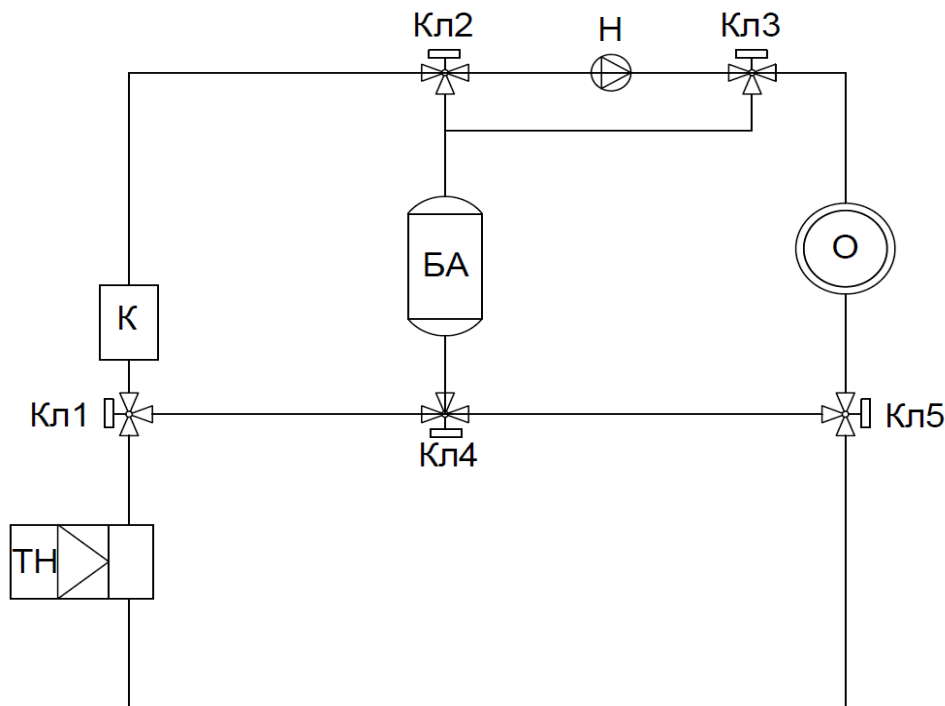


Рисунок 4.11 – Послідовна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. ТН - тепловий насос, К – котел, БА – бак-акумулятор, О – система опалення, Н – циркуляційний насос, Кл-1....Кл 5 – триходові клапани.

Також слід відмітити можливу зміну послідовності режимів протягом доби в залежності від призначення (приміщень?) будівлі.

Режим «акумуляція» (рис. 4.12) призначений для накопичення надлишкової теплоти у неробочі часи [90] більшості приміщень будівлі для заміщення частки теплоти джерела при форсованому режимі прогріву – «надтоп».

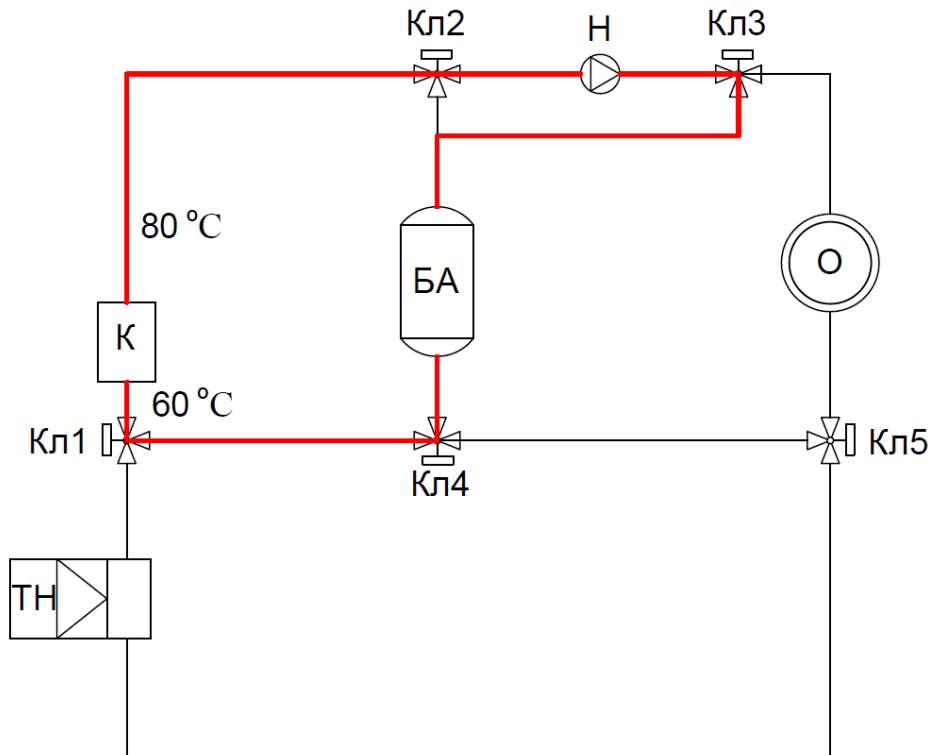


Рисунок 4.12 – Послідовна модернізована бівалентна комбінована система опалення. Режим – «акумуляція»

При цьому режимі високотемпературне джерело теплоти (К) працює на зарядку акумулятора (БА). Направлення потоків здійснюється триходовими клапанами Кл1 – Кл5. Система опалення (О) в цей час не працює за рахунок акумуляційної здатності споруди. Тепловий насос (ТН) також в цей проміжок часу не працює внаслідок меншого температурного потенціалу підготування теплоносія (при температурі зовнішнього повітря нижче точки біполярності).

Режим «надтоп» (рис. 4.13) призначений для форсованого прогріву приміщення перед робочим періодом завдяки потужності котла (К) та накопиченої надлишкової теплоти у акумуляторі (БА) в режимі – «акумуляція».

Для реалізації вказаного режиму котел паралельно із акумулятором (БА) спрямовують теплоносій до системи опалення (О). Запас потужності накопичений акумулятором дозволяє надати максимальну кількість теплоти при максимальних температурах теплоносія [91]. Тепловий насос (ТН) в процесі на ранніх стадіях не приймає участі (при температурі зовнішнього повітря нижче точки біполярності). Направлення потоків здійснюється триходовими клапанами Кл1 – Кл5.

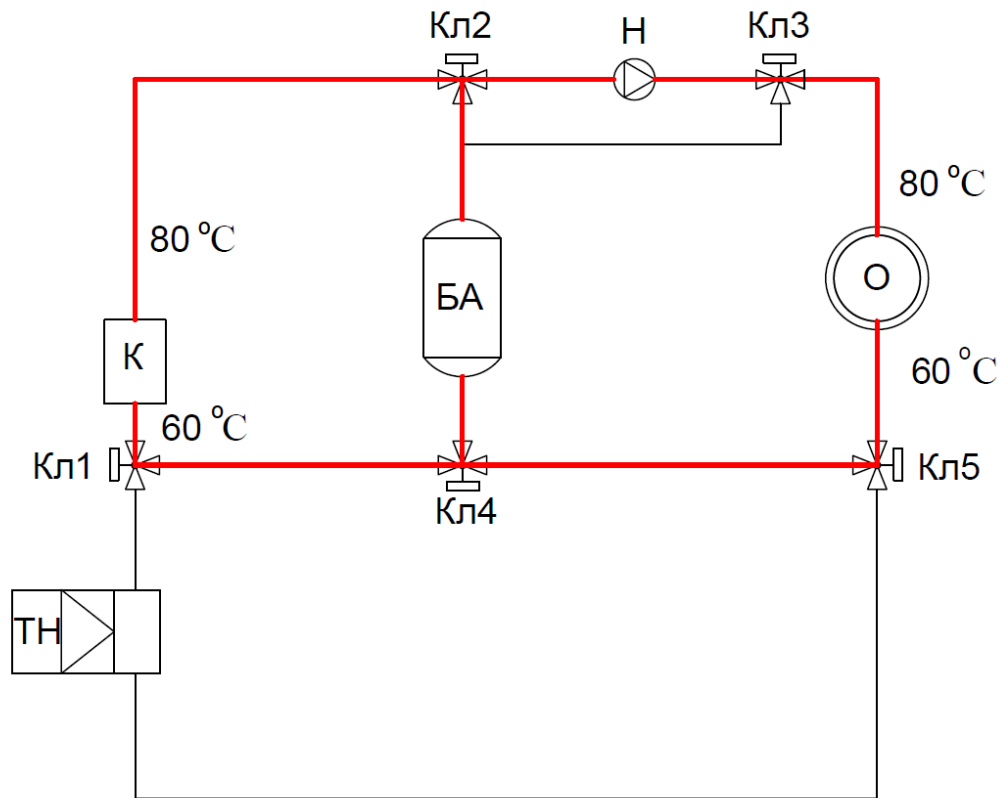


Рисунок 4.13 – Послідовна модернізована бівалентна комбінована система опалення. Режим – «надтоп»

«Робочий» режим (рис. 4.14) призначений для підтримання нормованих температур в приміщенні протягом робочого дня за рахунок використання теплоти від теплового насосу (ТН) – перший ступінь нагріву теплоносія та котла (К) - другий ступінь підігріву теплоносія. Також можливо часткове використання залишків теплоти в акумуляторі (БА).

Реалізації вказаного режиму складається у послідовному двоступеневому підігріві теплоносія за рахунок роботи теплового насосу та котла. При температурах зовнішнього повітря вище точки біполярності можливе вимкнення котла і робота лише за рахунок теплоти тепловим насосом. Направлення потоків здійснюється триходовими клапанами Кл1 – Кл5.

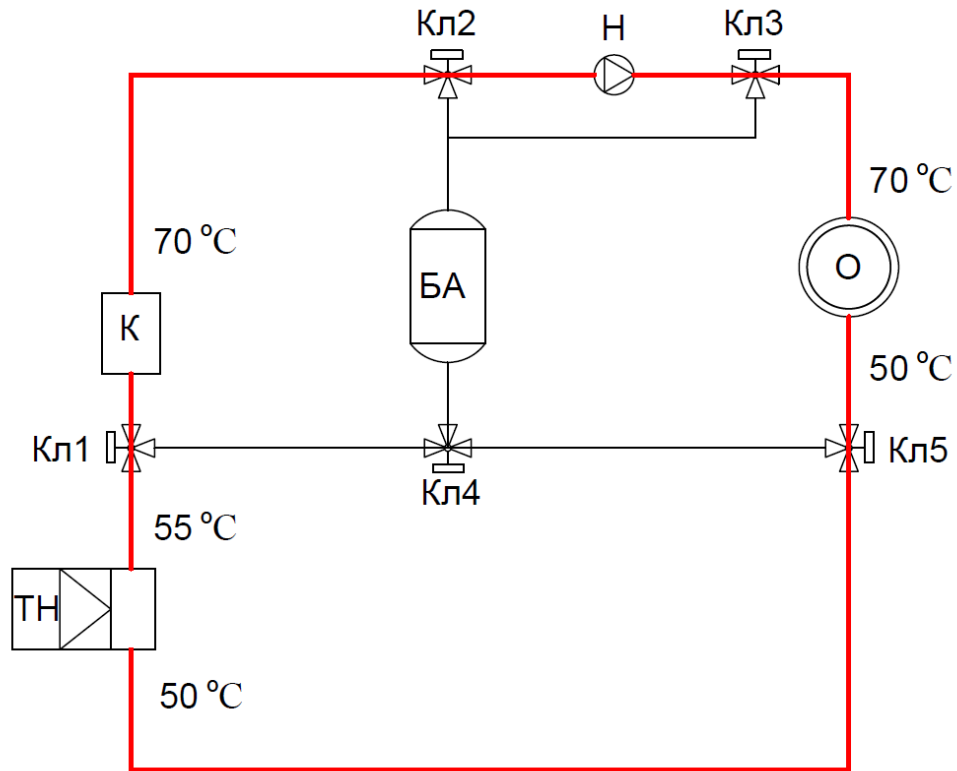


Рисунок 4.14 – Послідовна модернізована бівалентна комбінована система опалення. Режим – «робочий»

«Черговий» режим (рис. 4.15) призначений для підтримання нормованих температур в приміщенні протягом неробочого періоду за рахунок використання теплоти від теплового насосу (ТН) та можливих залишків теплоти в акумуляторі (БА) як протягом доби так й протягом іншого періоду накопичення надлишків теплоти [92]. Вказане можливе за рахунок зниження температури теплоносія, що спрямовується до системи опалення (О) та інерційності остигання будівлі.

Реалізація зазначеного режиму полягає у спрямовуванні теплоносія через тепловий насос та акумулятор. При цьому означений режим в залежності від кліматичних чинників та рівня термомодернізації умовно можна поділити на три суб-режими:

- природне остигання – акумуляційна здатність будівлі;
- підтримання за рахунок акумулятора теплоти температури в приміщеннях;
- підключення теплового насосу на останньому етапі чергового режиму.

Направлення потоків здійснюється триходовими клапанами Кл1 – Кл5.

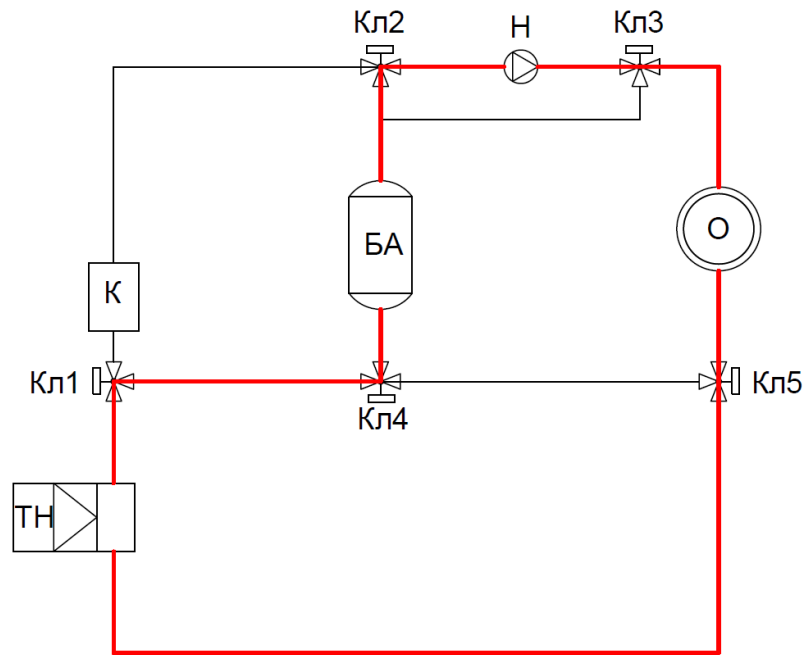


Рисунок 4.15 – Послідовна модернізована бівалентна комбінована система опалення. Режим – «черговий».

Представлені режими роботи послідовної модернізованої бівалентної комбінованої системи опалення мають низку переваг перед іншими розповсюдженими схемами:

- враховують режими експлуатації будівлі;
- використовують джерела теплоти в зоні ефективного застосування;
- мають гнучкість та здатні адаптуватись в умовах змінних режимів експлуатації будівлі та кліматичних чинників.

Проте в цій схемі враховано використання високотемпературних опалювальних систем. При цьому обмежується використання теплового насоса при температурах зовнішнього повітря нижче температури біполярності.

Останнім часом досить широко застосовуються системи «тепла підлога», «теплі стіни», «тепла стеля». Вказані системи мають низку переваг та недоліків. Найбільшим з недоліків є нездатність приймати участь у режимі «надтопу» внаслідок високої інерційності– внаслідок високої інерційності вони не здатні приймати участь у режимі «надтопу», однак є суттєві переваги, а саме;

- здатність створити більш комфортні умови в приміщеннях при менших робочих температурах в приміщеннях;
- робота с більш низькими температурами теплоносіїв.

Вказані обставини змушують застосовувати інші принципові схеми систем теплопостачання з більш ефективним використанням теплового насоса.

Для підвищення ефективності роботи теплового насосу в системах теплопостачання із застосуванням як високотемпературних систем опалення, так і для низькотемпературних систем опалення пропонується встановлення додаткового баку акумулятора та циркуляційного насоса для низькотемпературного контуру системи опалення (рис. 4.16).

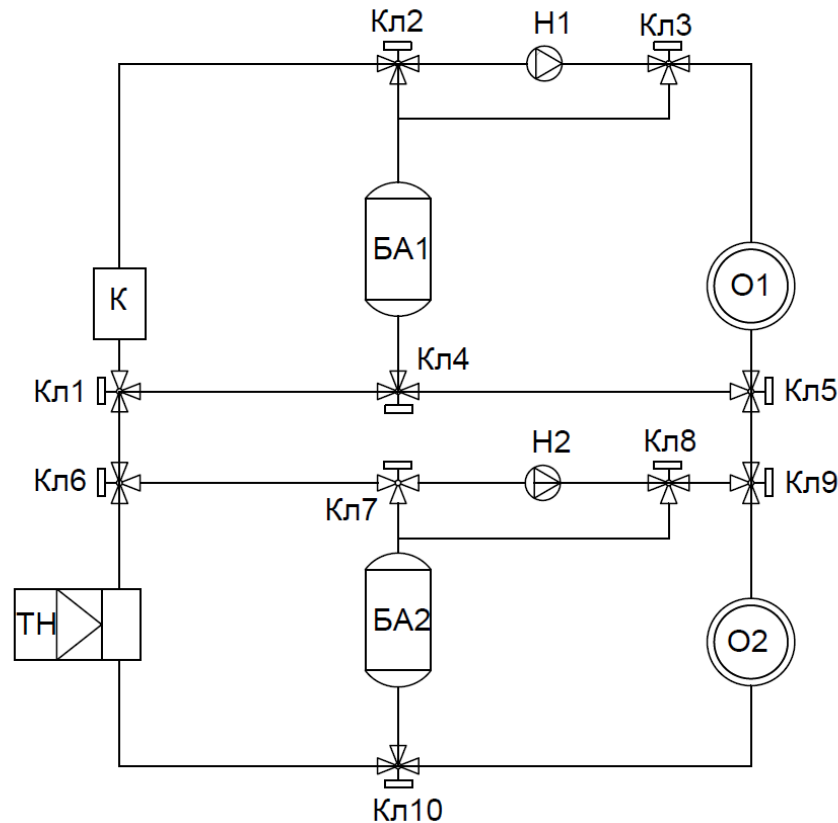


Рисунок 4.16 – Послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. ТН - тепловий насос, К – котел, БА1 – бак-акумулятор високотемпературного теплоносія, БА2 – бак-акумулятор низькотемпературного теплоносія, О1 – система опалення високотемпературна, О2 – система опалення низькотемпературна, Н1 – циркуляційний насос високотемпературного контуру, Н2 – циркуляційний насос низькотемпературного контуру, Кл1....Кл 10 – триходові клапани.

Наведена схема дозволяє реалізувати всі режими які представлені в попередній схемі. Однак на відміну від послідовній модернізованій бівалентній комбінованій системи опалення з буферною ємністю вказана схема розширює температурний діапазон використання теплового насосу та підвищує в цілому ефективність застосування відновлювальних джерел енергії.

Послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю має два контури теплопостачання: високотемператур-

ний (пара «котел-радіатори/фенкойли») низькотемпературний (пара «тепловий насос-тепла підлога/стіни/стеля»). Кожен із контурів оснащено власним акумулятором (БА1, БА2) та циркуляційним насосом (Н1, Н2).

Розглянута схема має ще спроможність працювати у послідовному режимі, коли одне джерело може задовольняти потреби як одного споживача так і іншого залежно від параметрів зовнішнього повітря, тобто режиму експлуатації будівлі із урахуванням рівнів термомодернізації.

Перемикання режимів і направлення теплоносія здійснюють триходові клапани Кл1-Кл10. Режим «акумуляція» (рис. 4.17), призначений для накопичення надлишкової теплоти у неробочі часи, на відміну від попередньої схеми, ведеться на два акумулятори (БА1, БА2) високотемпературного та низькотемпературного контурів системи теплопостачання.

У цьому режимі кожне джерело теплоти (К, ТН) працює на зарядку власного акумулятора (БА, БА2). Направлення потоків здійснюється триходовими клапанами Кл1 – Кл4, Кл6-Кл10. Система опалення (О) в цей час не працює за рахунок акумуляційної здатності споруди.

Ємність акумуляторів визначається потужністю систем опалення при розрахункових температурах зовнішнього повітря та часткою застосування високотемпературної системи опалення та низькотемпературної системи опалення в загальному балансі системи теплопостачання.

Ще однією особливістю вказаної схеми є можливість працювати в даному режимі двох контурів, абсолютно без впливу на інший, тобто часові режими ввімкнення у кожного з них будуть різні, виходячи із особливостей інженерних вишукувань систем опалення та режимів експлуатації будівлі.

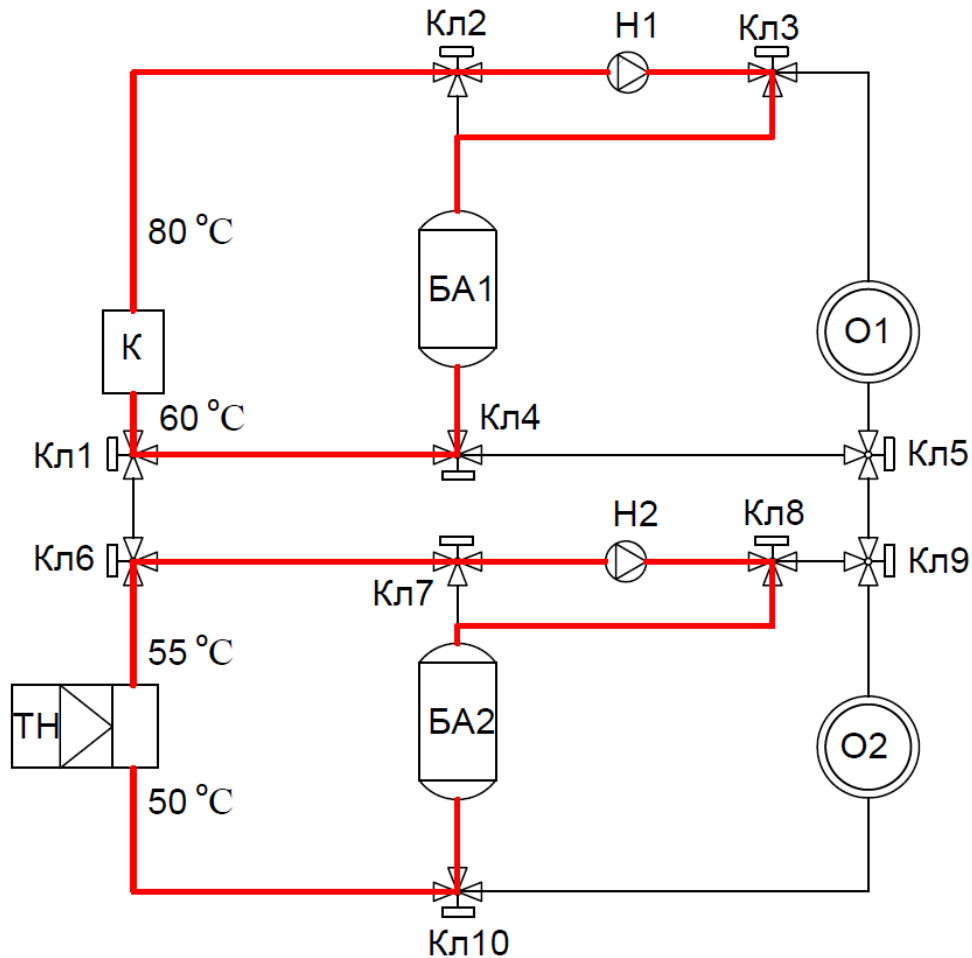


Рисунок 4.17 – Послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. ТН - тепловий насос, К – котел, БА1 – бак-акумулятор високотемпературного теплоносія, БА2 – бак-акумулятор низькотемпературного теплоносія, О1 – система опалення високотемпературна, О2 – система опалення низькотемпературна, Н1 – циркуляційний насос високотемпературного контуру, Н2 – циркуляційний насос низькотемпературного контуру, Кл-1....Кл 10 – триходові клапани. Режим «акумуляція».

Режим «надтопу» (рис. 4.18) здійснюється паралельно двома контурами на відповідні системи опалення. При цьому час початку роботи систем залежить як від внутрішніх чинників (режим роботи, інерційність систем, рівень термомодернізації) так і від зовнішніх кліматичних умов.

В кожному контурі в процесі форсованого виводу систем опалення на робочий режим паралельно застосовують потужність джерела теплоти (К, ТН) та накопичену теплоту в акумуляторах (БА1, БА2).

Організація руху теплоносіїв здійснюється циркуляційними насосами (Н1, Н2) та групами триходових клапанів (Кл1-Кл5, Кл6-Кл10).

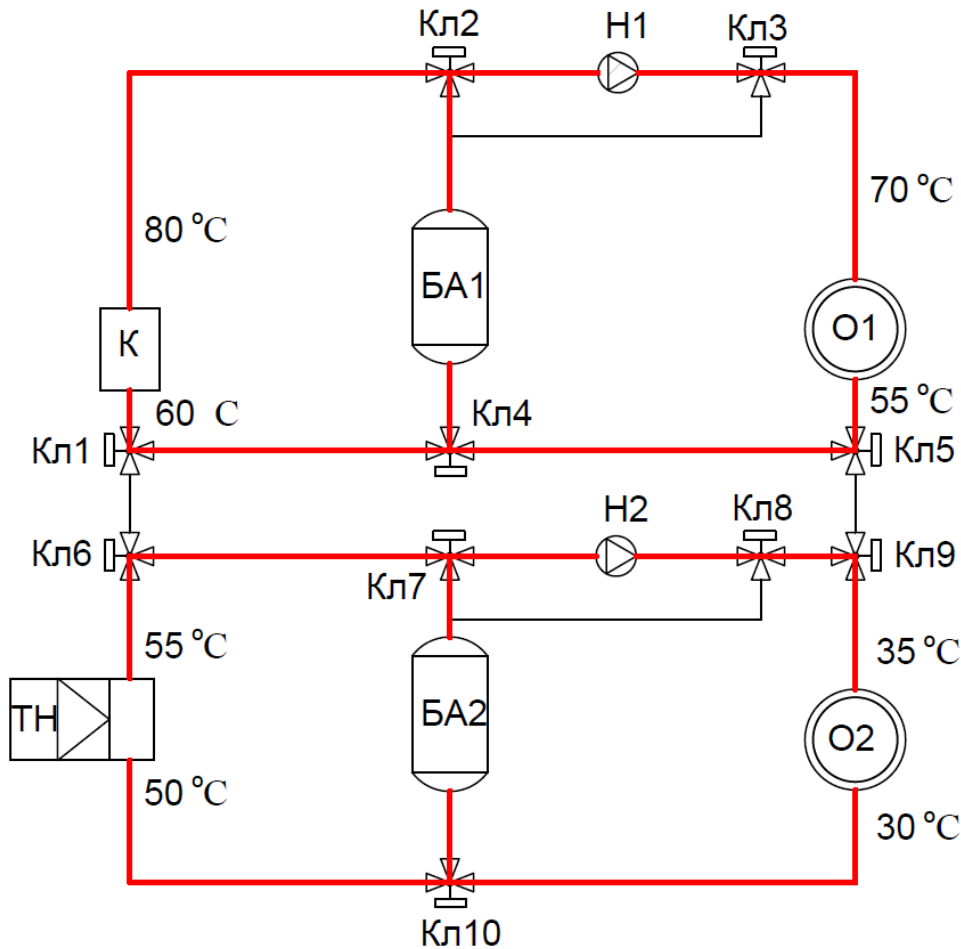


Рисунок 4.18 – Послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. ТН - тепловий насос, К – котел, БА1 – бак-акумулятор високотемпературного теплоносія, БА2 – бак-акумулятор низькотемпературного теплоносія, О1 – система опалення високотемпературна, О2 – система опалення низькотемпературна, Н1 – циркуляційний насос високотемпературного контуру, Н2 – циркуляційний насос низькотемпературного контуру, Кл-1...Кл 10 – триходові клапани.

Режим «надтопу».

«Робочий» режим (рис.4.19) послідовно-паралельної модернізованої бівалентної комбінованої системи опалення з буферною ємністю організовано паралельною роботою контурів: високотемпературного та низькотемпературного. Підтримання необхідних параметрів систем опалення (О1, О2) відбувається незалежно один від одного та керується системою автоматики із урахуванням кліматичних чинників.

Організація руху теплоносіїв здійснюється циркуляційними насосами (Н1, Н2) та групами триходових клапанів (Кл1-Кл5, Кл6-Кл10).

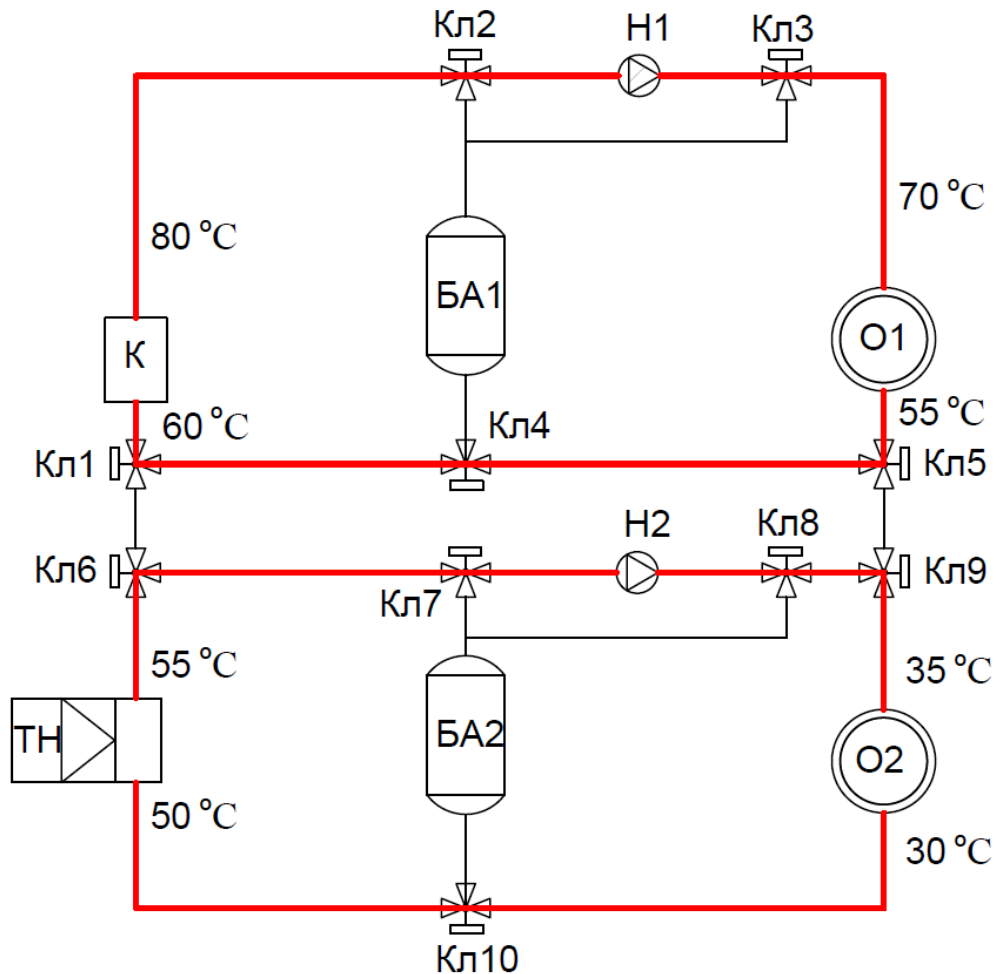


Рисунок 4.19 – Послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. ТН - тепловий насос, К – котел, БА1 – бак-акумулятор високотемпературного теплоносія, БА2 – бак-акумулятор низькотемпературного теплоносія, О1 – система опалення високотемпературна, О2 – система опалення низькотемпературна, Н1 – циркуляційний насос високотемпературного контуру, Н2 – циркуляційний насос низькотемпературного контуру, Кл1...Кл 10 – триходові клапани.

Режим «робочий».

«Черговий» режим (рис. 4.20) призначений для підтримання нормованих температур в приміщенні протягом неробочого періоду за рахунок використання теплоти від теплового насосу (ТН) та можливих залишків теплоти в баках акумуляторах (БА1, БА2). Зазначене можливе за рахунок зниження температур теплоносія, що спрямовується на систему опалення (О) та інерційності остигання будівлі.

Реалізація вказаного режиму полягає у спрямуванні теплоносіїв через тепловий насос та акумулятор. При цьому означений режим також як і у попередній схемі, в залежності від кліматичних чинників та рівня термомодернізації, умовно можна поділити на три вказані раніше субрежими.

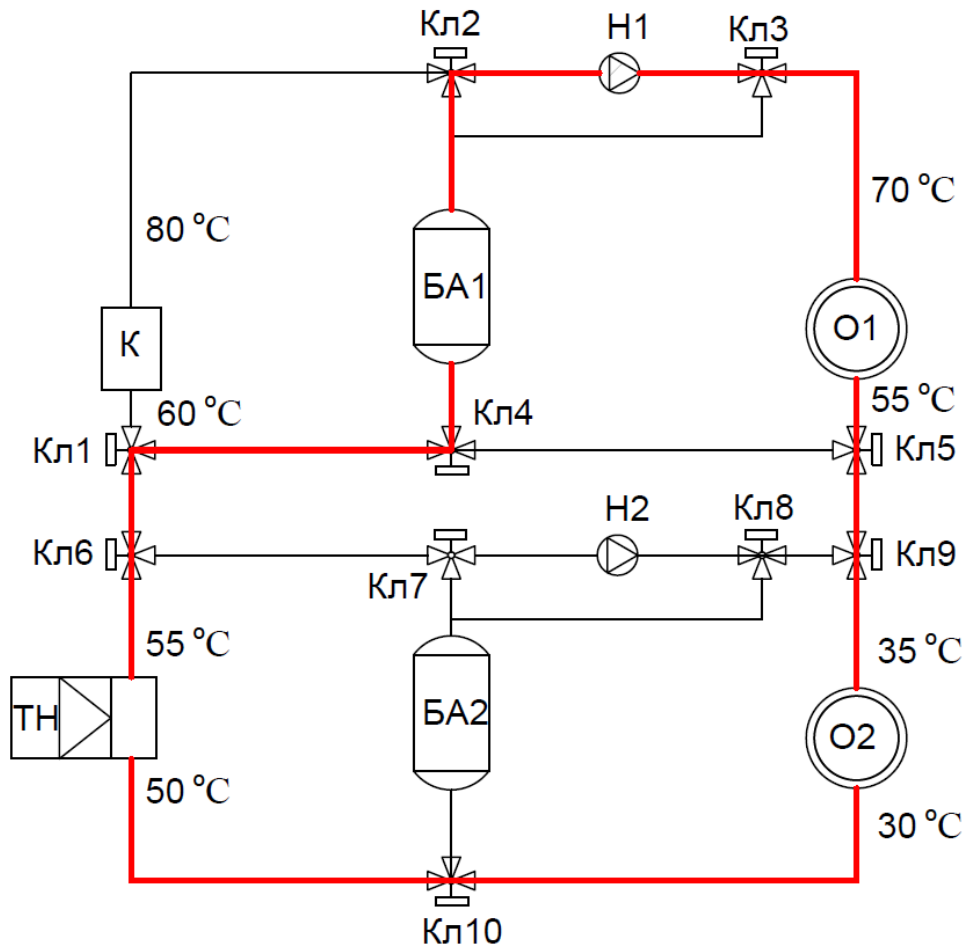


Рисунок 4.20 – Послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. ТН - тепловий насос, К – котел, БА1 – бак-акумулятор високотемпературного теплоносія, БА2 – бак-акумулятор низькотемпературного теплоносія, О1 – система опалення високотемпературна, О2 – система опалення низькотемпературна, Н1 – циркуляційний насос високотемпературного контуру, Н2 – циркуляційний насос низькотемпературного контуру, Кл-1...Кл 10 – триходові клапани.

Режим «черговий».

Також варто вказати, що при певних кліматичних умовах (температура зовнішнього середовища вище точки біполярності роботи теплового насосу) схему роботи при «черговому» режимі можливо використовувати і при «робочому» режимі.

4.3. Застосування комбінованих систем теплопостачання із використанням відновлювальних джерел енергії в комунальному секторі

4.3.1. Тепловий насос та газовий котел для котеджу адміністративно-виробничого комплексу

Для котеджу адміністративно-виробничого комплексу с даними:

- Площа – 200 м²;
- Кількість мешканців – 6;
- Місце знаходження – Львів.

Було проведено дослідження роботи системи комбінованого теплопостачання на базі газового котла есоТЕC VU 25CS/1-5 (N-INT2) (рис. 4.21, 4.22) теплового насосу та теплового насосу аroTHERM VWL 125/5 AS (рис. 4.22-4.26) із акумулятором теплоти.

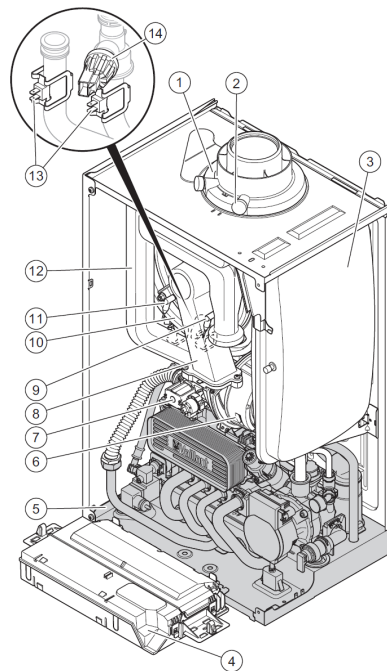


Рисунок 4.21 – Внутрішнє улаштування газового котлу. 1 Підключення до системи підведення повітря та газовідводу, 2 Вимірювальний патрубок відпрацьованих газів, 3 Розширювальний бак, 4 Розподільча коробка, 5 Гідравлічний блок, 6 Вентилятор, 7 Газова арматура, 8 Компактний термомодуль, 9 Керуючий електрод, 10 Теплообмінник, 11 Електрод розпалювання, 12 Повітрозабірна труба, 13 Датчик температури, 14 Датчик тиску.

Система теплопостачання – комбінована із використанням у якості джерела енергії газового котла. Схема підключення була обрана - послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю.

	VU 25	VU 30	VU 35
Макс. навантаження на опалення	25,5 кВт	30,6 кВт	35,7 кВт
Мін. навантаження на опалення	2,7 кВт	3,7 кВт	4,2 кВт
Мін. масовий потік відпрацьованих газів	1,25 г/с	1,72 г/с	1,97 г/с
Макс. масовий потік відпрацьованих газів	13,22 г/с	17,70 г/с	21,13 г/с
Макс. потужність опалення під час приготування гарячої води	27,5 кВт	34,8 кВт	39,7 кВт
Номінальне теплове навантаження ГВ	28,3 кВт	35,5 кВт	40,8 кВт
Діапазон номінального теплового навантаження при роботі в режимі опалення	2,7 ... 25,5 кВт	3,7 ... 30,6 кВт	4,2 ... 35,7 кВт
Діапазон налаштування опалення	2,7 ... 25,5 кВт	3,7 ... 30,6 кВт	4,2 ... 35,7 кВт

Рисунок 4.22 – Основні характеристики газового котла еcoTEC VU 25CS/1-5 (N-INT2).

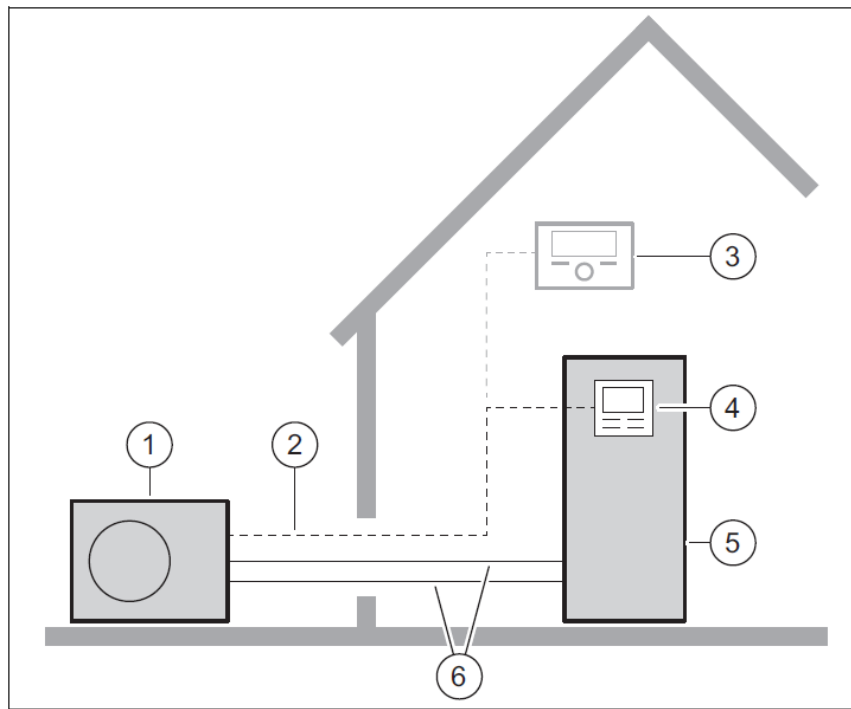


Рисунок 4.23 – Принципова схема роботи теплового насосу спліт-типу. 1 Зовнішній блок, 2 Інформаційна шина управління, 3 Пульт управління системою теплопостачання, 4 Пульт управління тепловим насосом, 5 Внутрішній блок теплового насоса, 6 Контур холодоагенту.

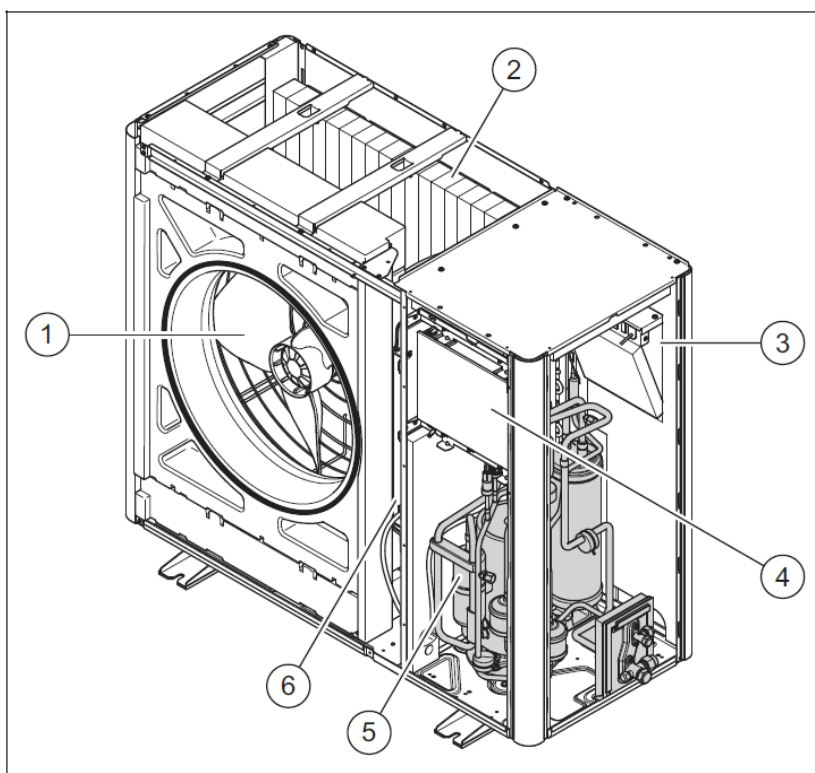


Рисунок 4.24 – Внутрішнє улаштування зовнішнього блоку теплового насосу спліт-типу. 1 Вентилятор, 2 Випарник, 3,4 Електроні плати, 5 Компресор, 6 Вузол інвертор.

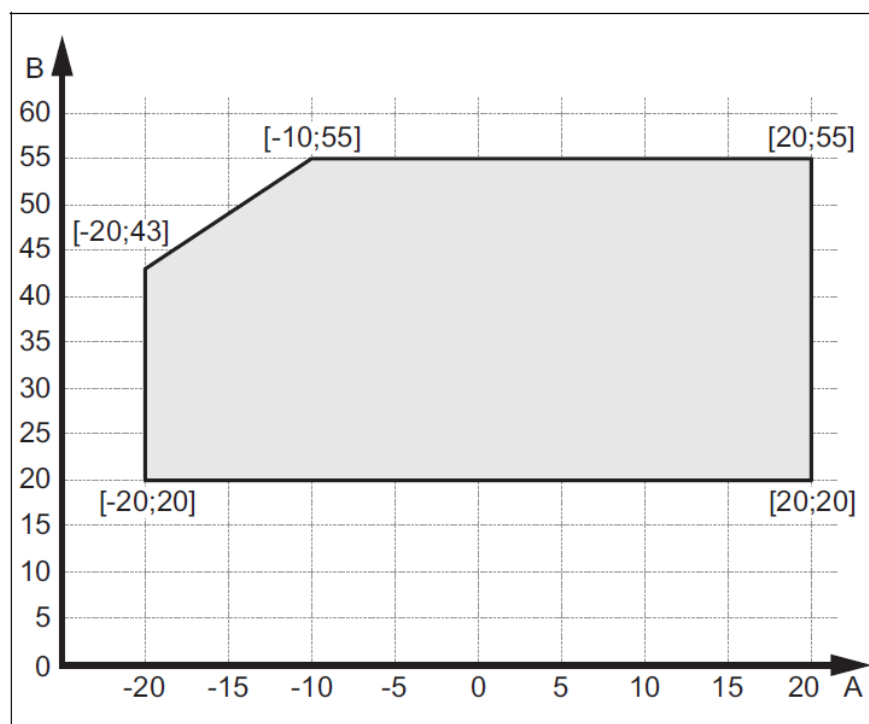


Рисунок 4.25 – Діаграма режимів роботи теплового насосу.

Модель	VWL 35/5 AS 230V (S2)	VWL 55/5 AS 230V (S2)	VWL 75/5 AS 230V (S2)	VWL 105/5 AS 230V (S2)	VWL 105/5 AS (S2)	VWL 125/5 AS 230V (S2)	VWL 125/5 AS (S2)
Ширина	1 100 мм	1 100 мм	1 100 мм	1 100 мм	1 100 мм	1 100 мм	1 100 мм
Висота	765 мм	765 мм	965 мм	1 565 мм	1 565 мм	1 565 мм	1 565 мм
Глибина	450 мм	450 мм	450 мм	450 мм	450 мм	450 мм	450 мм
Вага з упа- ковкою	111,4 кг	111,4 кг	126 кг	187 кг	206 кг	187 кг	206 кг
Робоча вага	92,2 кг	92,2 кг	106,3 кг	162,5 кг	181,5 кг	162,5 кг	181,5 кг
Номіналь- на напруга	230 В (+10/-15 %), 50 Гц, 1~N/PE	230 В (+10/-15 %), 50 Гц, 1~N/PE	230 В (+10/-15 %), 50 Гц, 1~N/PE	230 В (+10/-15 %), 50 Гц, 1~N/PE	400 В (+10/-15 %), 50 Гц, 3~N/PE	230 В (+10/-15 %), 50 Гц, 1~N/PE	400 В (+10/-15 %), 50 Гц, 3~N/PE
Макс. но- мінальна потужність	2,96 кВт	2,96 кВт	3,84 кВт	4,90 кВт	7,60 кВт	4,90 кВт	7,60 кВт
Макс. но- мінальний струм	11,5 А	11,5 А	14,9 А	21,3 А	13,5 А	21,3 А	13,5 А
Пусковий струм	11,5 А	11,5 А	14,9 А	21,3 А	13,5 А	21,3 А	13,5 А
Ступінь захисту	IP 15 В	IP 15 В	IP 15 В	IP 15 В	IP 15 В	IP 15 В	IP 15 В
Тип запо- біжника	Категорія С, інер- ційний, 1- полюс- ний	Категорія С, інер- ційний, 1- полюс- ний	Категорія С, інер- ційний, 1- полюс- ний	Категорія С, інер- ційний, 1- полюс- ний	Категорія С, інер- ційний, 3- полюс- ний	Категорія С, інер- ційний, 1- полюс- ний	Категорія С, інер- ційний, 3- полюс- ний
Категорія перенап- руги	II	II	II	II	II	II	II
Потуж- ність вен- тилятора	50 Вт	50 Вт	50 Вт	50 Вт	50 Вт	50 Вт	50 Вт
Кількість вентилято- рів	1	1	1	2	2	2	

Рисунок 4.26 – Основні характеристики газового котлу ecoTEC VU 25CS/1-5 (N-INT2). aroTHERM VWL 125/5 AS.

Впродовж двох характерних діб проводились дослідження роботи комбінованої системи теплопостачання для вихідного (рис. 4.27-4.30) дня та для робочого дня (рис. 4.31-4.34). Спостереження велися завдяки системі автоматизації та диспетчеризації топкової. Основними показниками при дослідженні були зовнішня температура повітря, генерація теплоти системою, спожита електроенергія на потреби теплового насосу та спожитий природний газ для котла.

Отримані накопичені дані узагальнювались та аналізувались (узагальнювали та аналізували) [93].

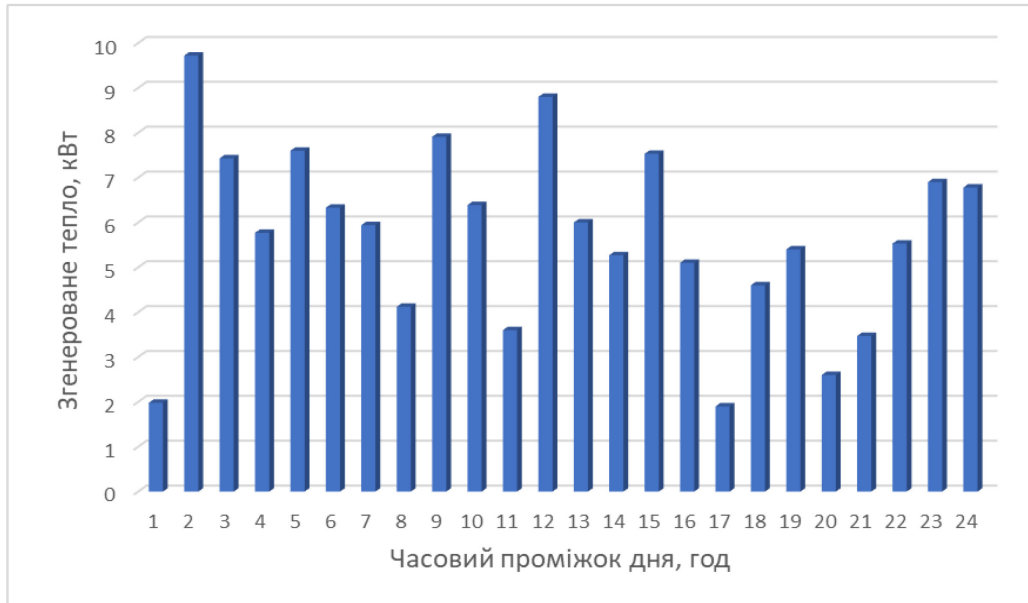


Рисунок 4.27 – Графік загальної генерації тепла впродовж доби котедж в м. Львів вихідний день температура зовнішнього повітря від -6 до 0 °С

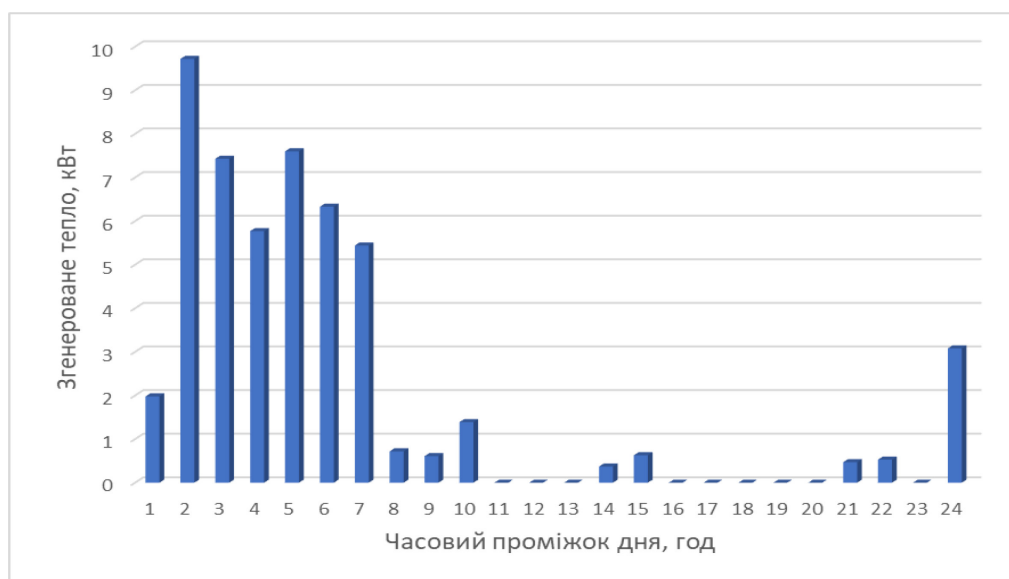


Рисунок 4.28 – Графік генерації тепла тепловим насосом впродовж доби котедж в м. Львів вихідний день температура зовнішнього повітря від -6 до 0 °С

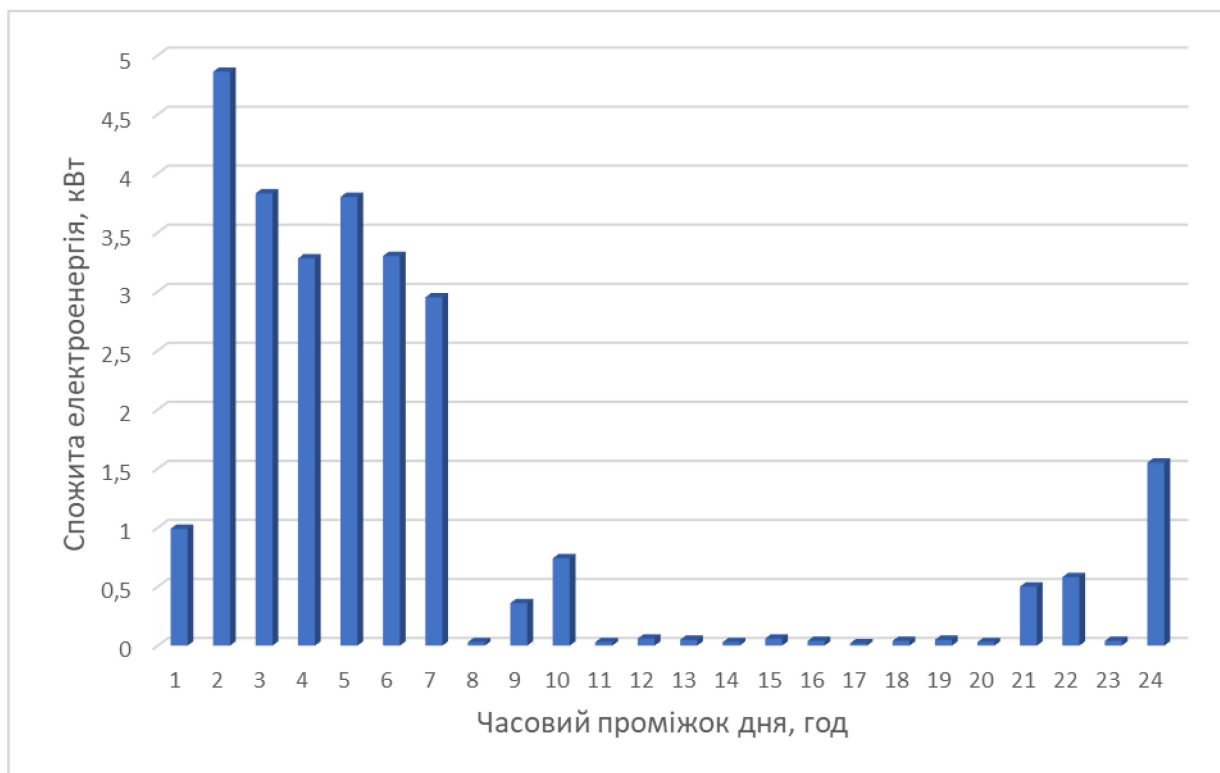


Рисунок 4.29 – Графік спожитої електроенергії при генерації тепла впродовж доби котедж в м. Львів вихідний день температура зовнішнього повітря від -6 до 0 °С

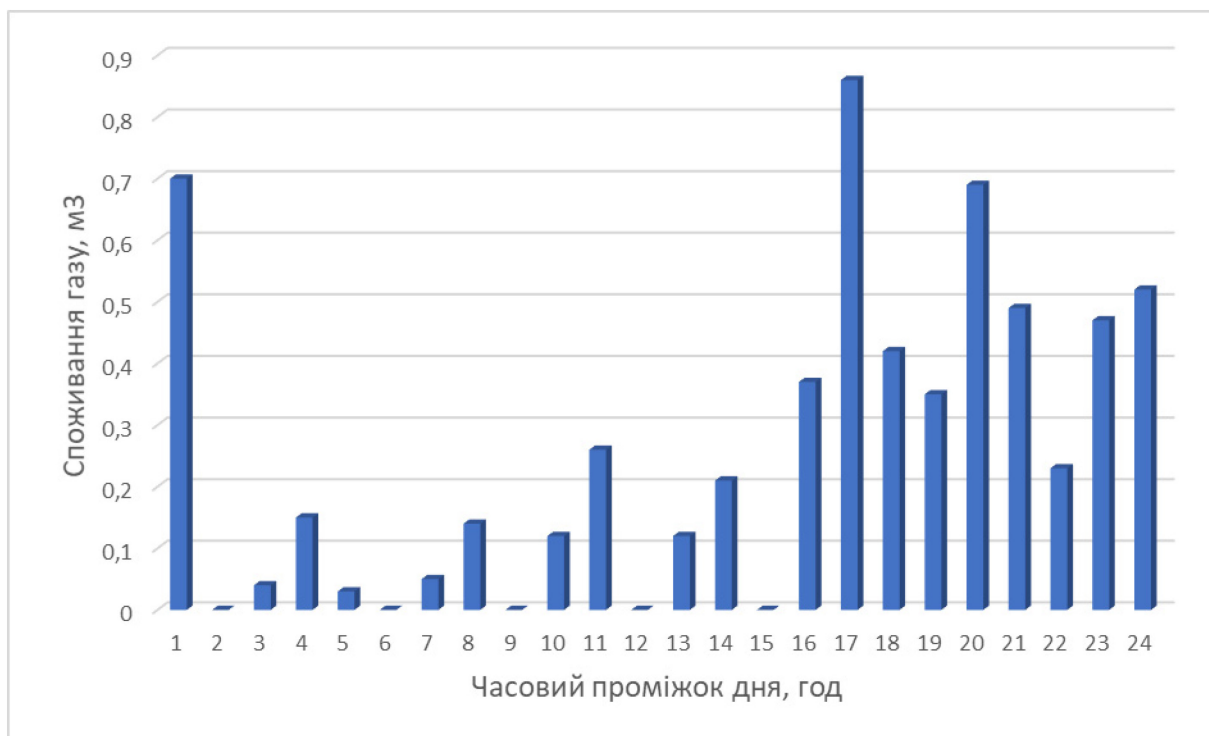


Рисунок 4.30 – Графік споживання газу котлом впродовж доби котедж в м. Львів вихідний день температура зовнішнього повітря від -6 до 0 °С



Рисунок 4.31 – Графік генерації тепла впродовж доби котедж в м. Львів будній день температура зовнішнього повітря від -9 до -4 °С

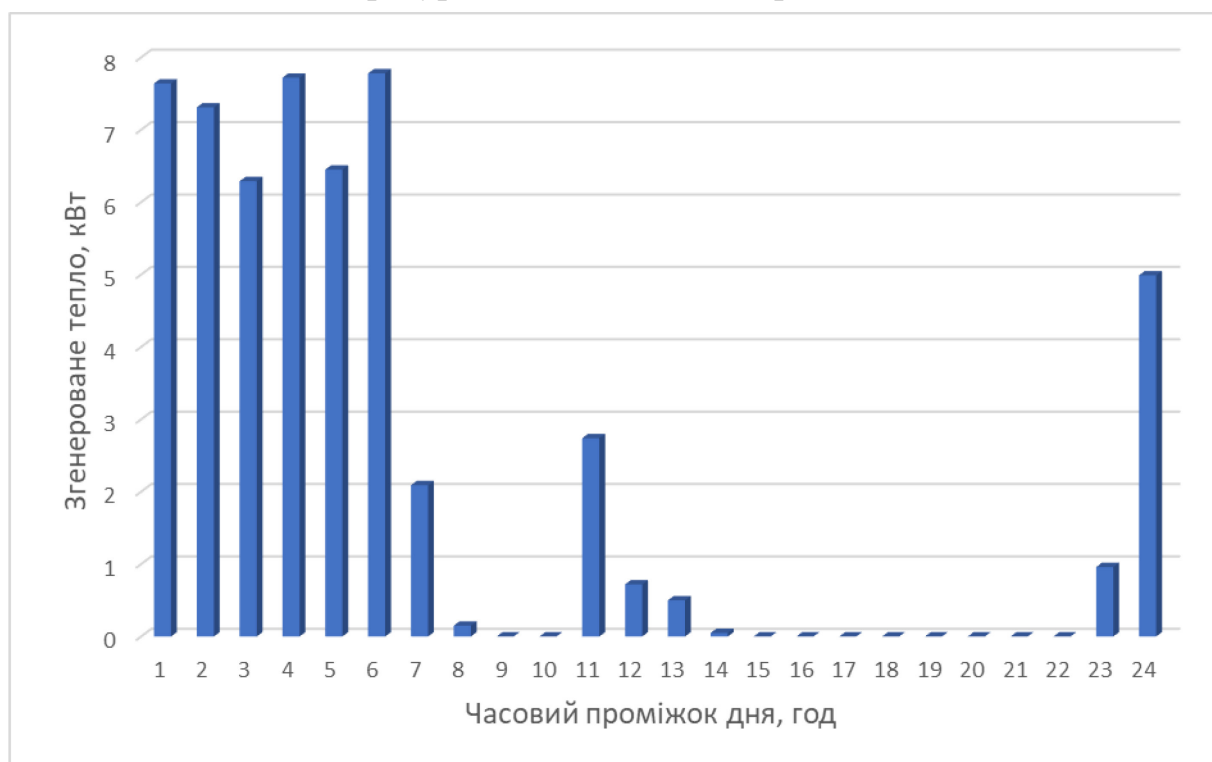


Рисунок 4.32 – Графік генерації тепла тепловим насосом впродовж доби котедж в м. Львів будній день температура зовнішнього повітря від -9 до -4 °С.

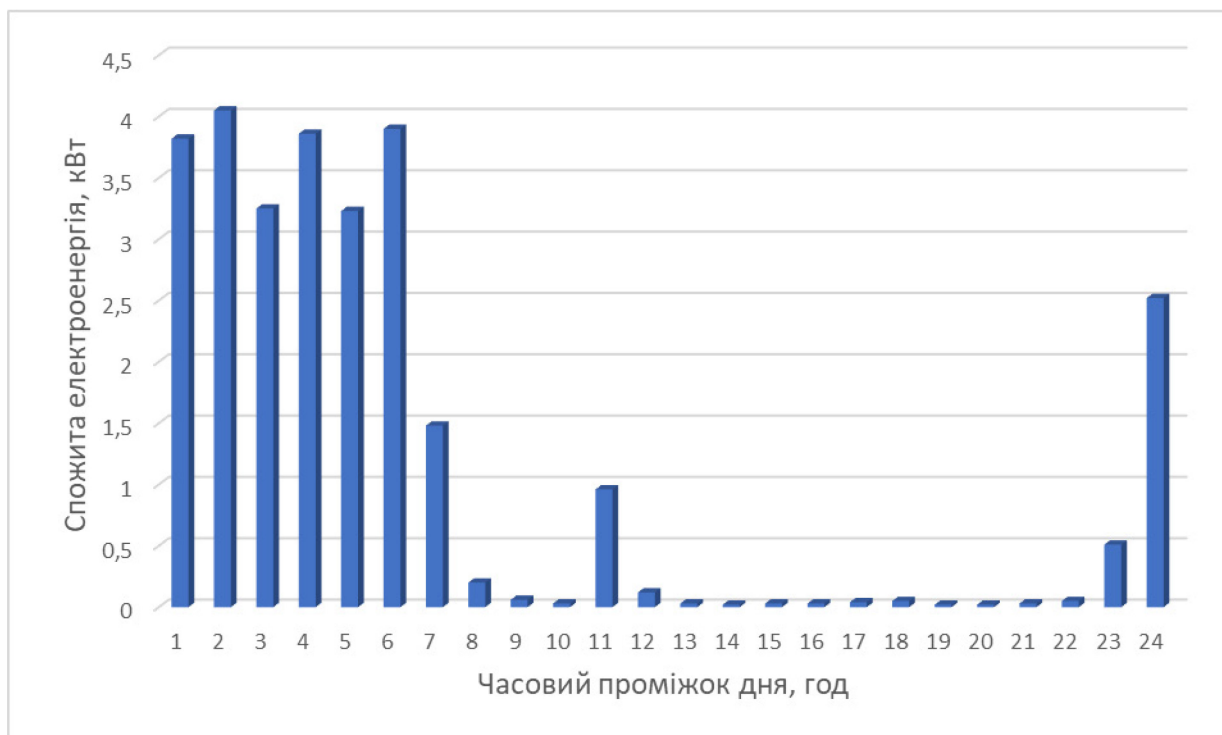


Рисунок 4.33 – Графік спожитої електроенергії при генерації тепла впродовж доби котеджа в м. Львів будній день температура зовнішнього повітря від -9 до -4 °С.



Рисунок 4.34 – Графік споживання газу котлом впродовж доби котедж в м. Львів будній день температура зовнішнього повітря від -9 до -4 °С.

Опрацювання отриманих результатів показує нерівномірність роботи комбінованої системи теплопостачання протягом доби. Тепловий насос більше задіяний у неробочі часи, коли електрична потужність побутових приладів значно нижча на відміну від ранкових та денних годин. При цьому газовий котел покриває більшу частину добового теплового навантаження.

Робота системи теплопостачання була організована по паралельній бівалентній комбінованій системі опалення з буферною ємністю. При цій схемі відсутня можливість роботи інженерних санітарно-технічних систем у змінному режимі з можливістю розділення споживачів на високотемпературні та низькотемпературні. Також немає технічної можливості накопичення теплоти у неробочі часи для форсованого нагріву перед робочим режимом.

Слід відмітити доволі суттєве навантаження на тепловий насос у нічний період. Робота теплових насосів у нічну пору доби менш ефективна внаслідок зниження температури вночі і відповідного зменшення COP.

Для підвищення ефективності роботи системи теплопостачання робочого котеджу було запропоновано схему комбінованого теплопостачання - послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю. Вказана схема дозволяє організувати роботу системи опалення в змінних умовах експлуатації з урахуванням як зовнішніх кліматичних так і внутрішніх чинників [94].

Окремо також слід відмітити можливість роботи у системі паралельно різних джерел енергії з двома типами опалювальних систем, що підвищує ефективність використання відновлювальних джерел енергії та збільшує частку заміщення традиційних джерел енергії [11].

Вказана система є доволі гнучкою у експлуатації та дозволяє приєднувати інші джерела теплоти для потреб теплопостачання, наприклад – сонячні колектори [95].

Модернізація системи теплопостачання котеджу зі схеми «паралельній бівалентній комбінованій» на «послідовно-паралельну модернізовану бівалентну комбіновану систему опалення з буферною ємністю» дозволила провести додаткові дослідження роботи енергоефективної системи із тепловим насосом при відповідних умовах (рис. 4.35, 4.36, 4.37).

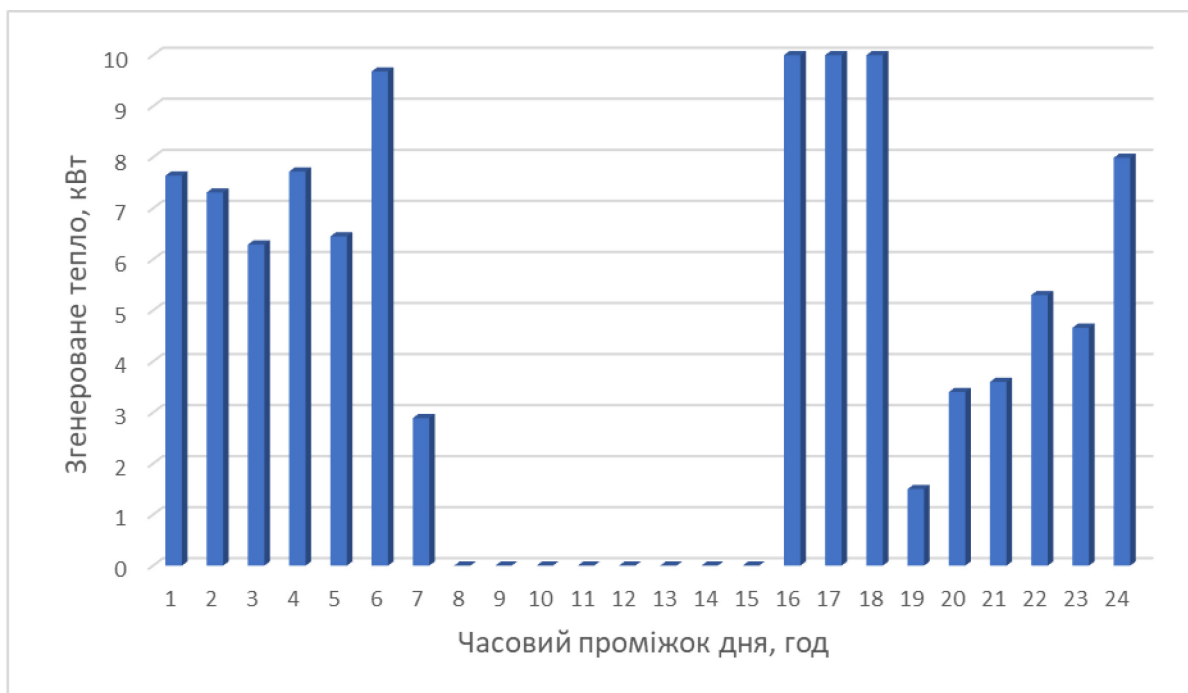


Рисунок 4.35 – Графік генерації тепла впродовж доби котедж в м. Львів будній день з урахуванням режимів експлуатації температура зовнішнього повітря від -9 до -4 °С. Черговий режим опалення з 8 до 15. Режим надтопу с 16-18.

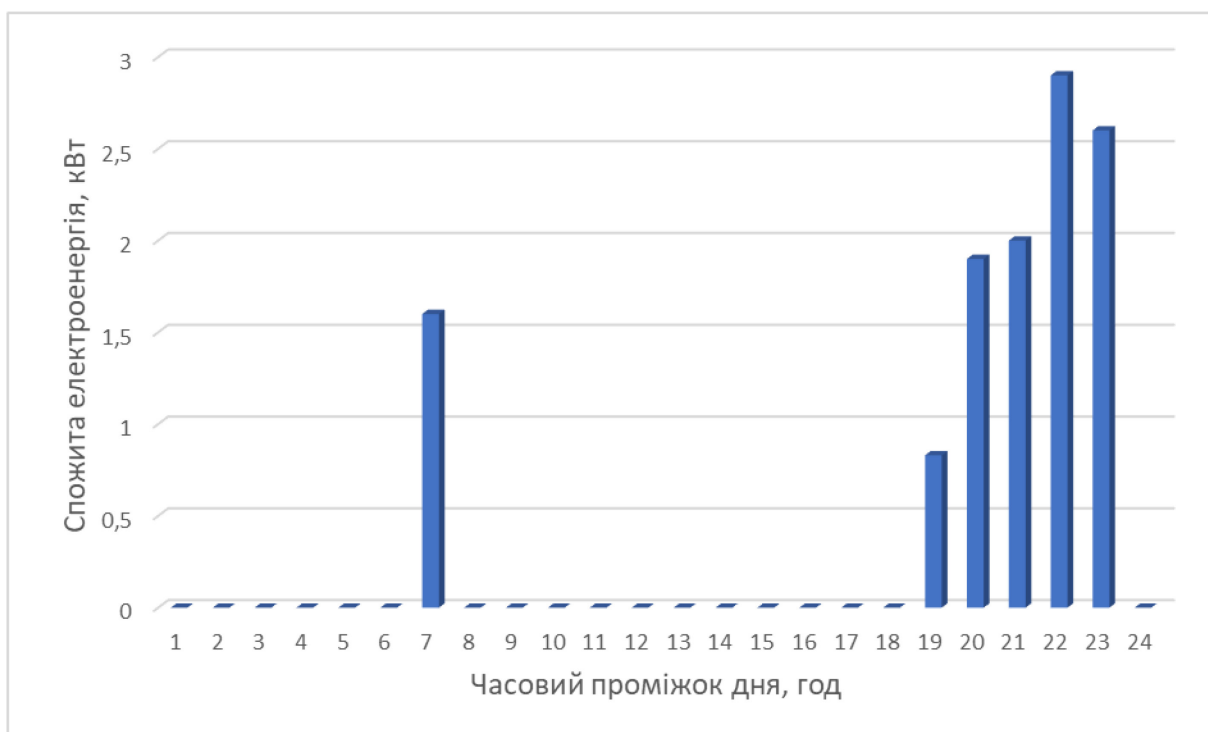


Рисунок 4.36 – Графік споживання електроенергії ТН впродовж доби котедж в м. Львів будній день температура зовнішнього повітря від -9 до -4 °С. Черговий режим опалення з 8 до 15. Режим надтопу с 16-18.

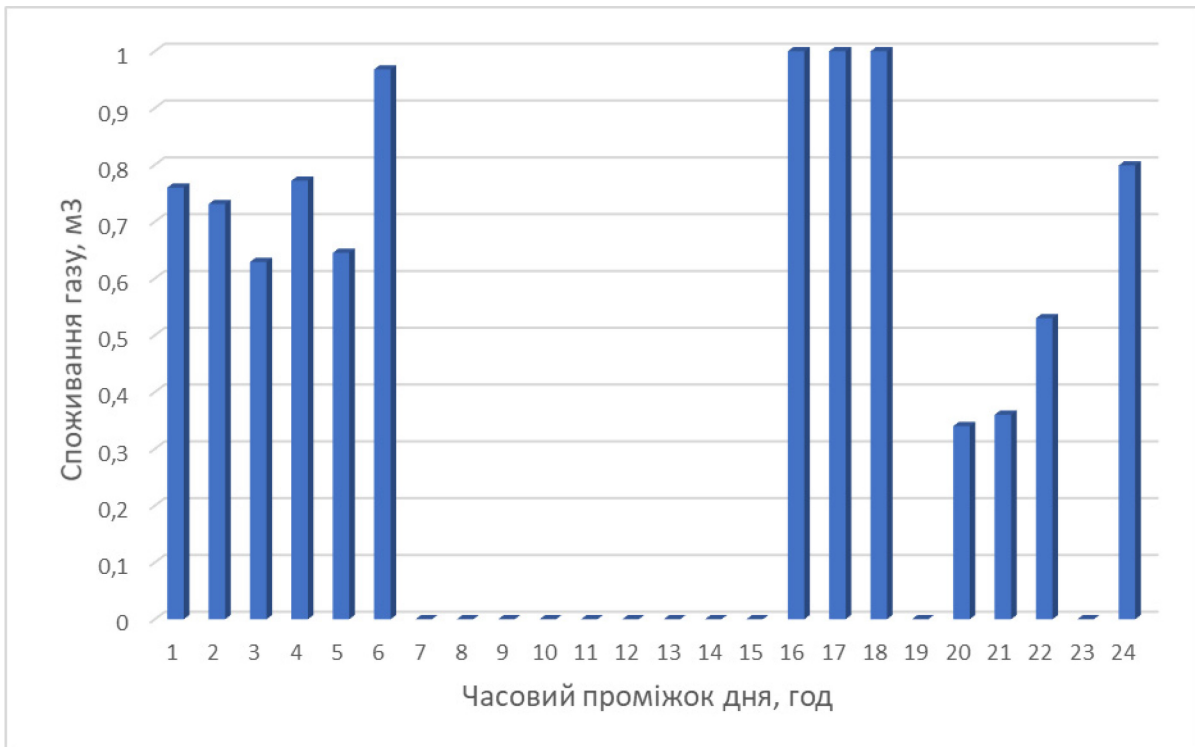


Рисунок 4.37 – Графік споживання газу котлом впродовж доби котедж в м. Львів будній день температура зовнішнього повітря від -9 до -4 °С. Черговий режим опалення з 8 до 15. Режим надтопу с 16-18.

Переведення роботи системи теплопостачання на двоперіодний режим експлуатації житлового котеджу «робочий» режим з 19 години вечора до 6 години ранку; «черговий» режим опалення з 8 до 15; режим надтопу с 16-18) за схемою «послідовно-паралельну модернізовану бівалентну комбіновану систему опалення з буферною ємністю» дало змогу вирівняти навантаження на джерела теплоти впродовж «робочого» режиму (рис. 4.35, 4.36, 4.37). Вказане підвищує ефективність використання застосованих джерел енергії (газовий котел та тепловий насос). Також відбулось переведення роботи теплового насосу впродовж доби на більш високі температури зовнішнього середовища, що в свою чергу призвело до підвищення COP ТН, внаслідок чого зменшилося споживання електроенергії котеджу.

Також слід відмітити, що запропонований комплекс заходів (переведення роботи системи теплопостачання на двоперіодний режим із використанням акумулятора теплоти та зміна графіку роботи ТН) привів до зменшення споживання теплоти котеджем протягом доби до 25 %.

Для вказаного(зазначеного) об'єкта дослідження протягом місяця (лютий 2025 року) велись спостереження споживання енергоресурсів системою комбінованого теплопостачання (рис. 4.38-4.40).

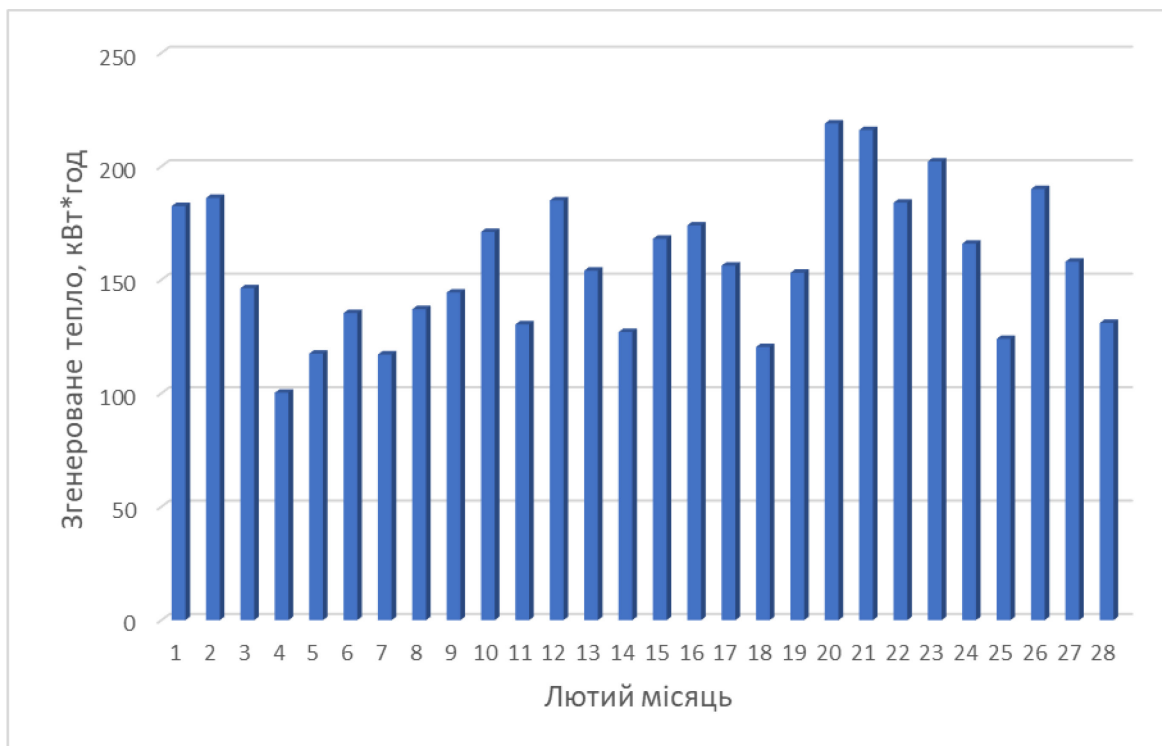


Рисунок 4.38 – Графік генерації тепла впродовж лютого 2025 р. котедж в м. Львів.

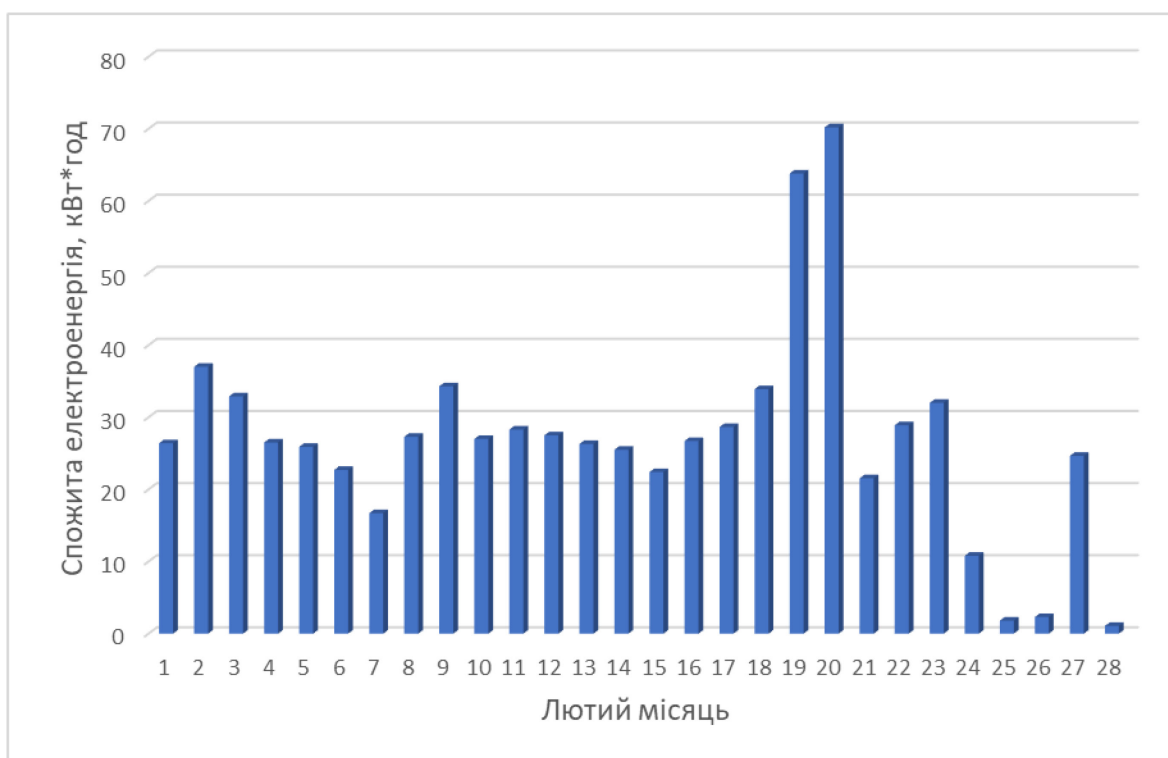


Рисунок 4.39 – Графік спожитої електроенергії при генерації тепла впродовж лютого 2025 р. котедж в м. Львів.

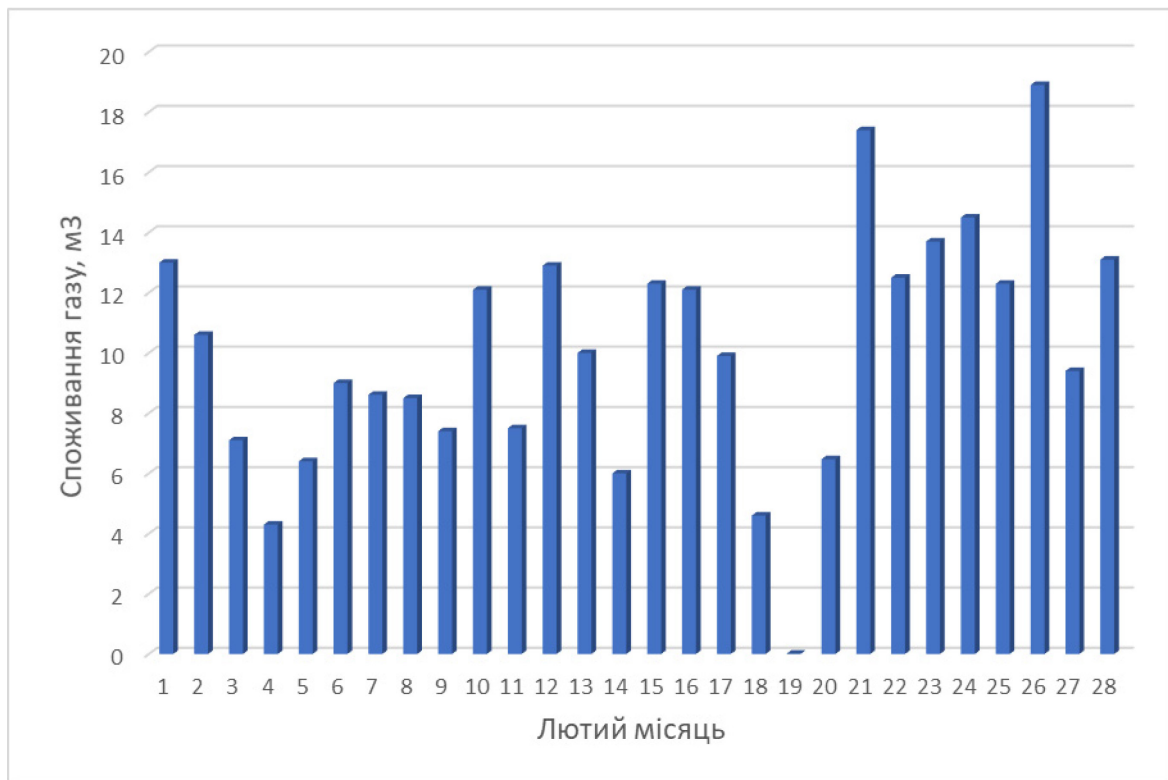


Рисунок 4.40 – Графік кількості спожитого природного газу при генерації тепла впродовж лютого 2025 р. котедж в м. Львів.

Система теплопостачання у комплексі із внутрішніми санітарно-технічними системами працювала відповідно до наведеної схеми та з урахуванням зовнішніх та внутрішніх кліматичних чинників.

Спостереження велись та архівувались системою автоматизації та диспетчеризації топкової котеджу.

Завдяки впровадженню комплексу заходів вдалось(я) вирівняти навантаження джерел енергії, ввести паралельну роботу джерел енергії із високотемпературними та низькотемпературними споживачами опалювальних систем відповідно (до) кліматичних умов та режимів експлуатації будинку.

В цілому економію енергетичних ресурсів завдяки впровадженню зазначених систем та підходів до експлуатаційних режимів упродовж лютого оцінюється в межах 20%-26 % залежно від температури зовнішнього повітря та дня тижня.

4.4. Застосування геліосистем в комбінованих системах теплопостачання

Сонячні колектори доволі часто застосовуються в системах теплопостачання як житлових будівель) так і в готельних комплексах [96]. Для будівель громадського призначення інших видів застосування геліосистем зустрічається значно

менше [16]. Вказане пояснюється незначною часткою заміщення теплоти в цих будівлях та режимах використання теплоти споживачами (насамперед це стосується гарячого водопостачання).

В житлових будівлях та готельних комплексах унаслідок широкого використання теплоти у літній період геліосистеми вносять доволі суттєвий внесок у споживання теплоти протягом всього року.

При виборі конструкції інсталяції геліосистеми, орієнтації та кута нахилу необхідно враховувати пріоритет використання теплоти сонячними колекторами у системах теплопостачання: літній період; демісезонний період; опалювальний період [97].

Також період використання впливає на вибір конструкції сонячних колекторів. Найбільш розповсюджені плоскі та вакуумні колектори [98].

Вакуумні сонячні колектори мають низькі тепловтрати та можуть працювати при досить низькій температурі зовнішнього повітря, можуть генерувати високі температури, зручні в монтажі, низька парусність, значно проста ремонт здатність. На відміну від вакуумних плоскі колектори легше очищаються від снігу, висока продуктивність влітку, менша вартість.

Ще одним із важливих факторів є методики та програми розрахунку і підбору основного обладнання. Цій проблемі присвячено доволі багато робіт, результати яких увійшли до програмних комплексів розрахунків та підбору основного, а також допоміжного обладнання.

Більшість сучасних методик, наведених у стандартах та рекомендаціях для розрахунку сонячних систем, засновані на табличних значеннях. У такого підходу достатньо недоліків, головні з яких:

- велика складність використання емпіричних таблиць при автоматизованих розрахунках;
- неможливість визначення теплонадходжень від сонячної радіації в довільний момент часу на довільно орієнтовану поверхню.

Проблема полягає у тому, що часто сонячні колектори розміщуються не в спеціально обладнаних місцях і не під точно вивіреним кутом нахилу до горизонту, а прямо на дахах будівель. Це означає, що кут між площиною колектора та горизонтом, а також і відхилення положення колектора відносно напрямку на південь можуть бути будь-якими. У такій ситуації табличні дані про надходження

сонячної радіації для певного регіону є неприйнятними для інженерного розрахунку [99].

Для моделювання процесів генерації теплоти геліосистемами було обрано програмний продукт EPS (Eco Power Simulation) адаптований для умов України. Особливістю даного пакету програм є можливість складати розрахункові схеми комбінованого теплопостачання з використанням поновлювальних джерел енергії та моделювати процес теплопостачання впродовж року. Програмний продукт EPS має досить велику базу інформації щодо поновлювальних джерел енергії в різних куточках світу, а також дозволяє моделювати власноруч умови, які відхиляються від стандартних. Для визначення частки заміщення теплоти сонячними колекторами в комбінованій системі теплопостачання використано розроблену схему Послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю та доповнено системою генерації теплоти від сонячних колекторів (рис. 4.41).

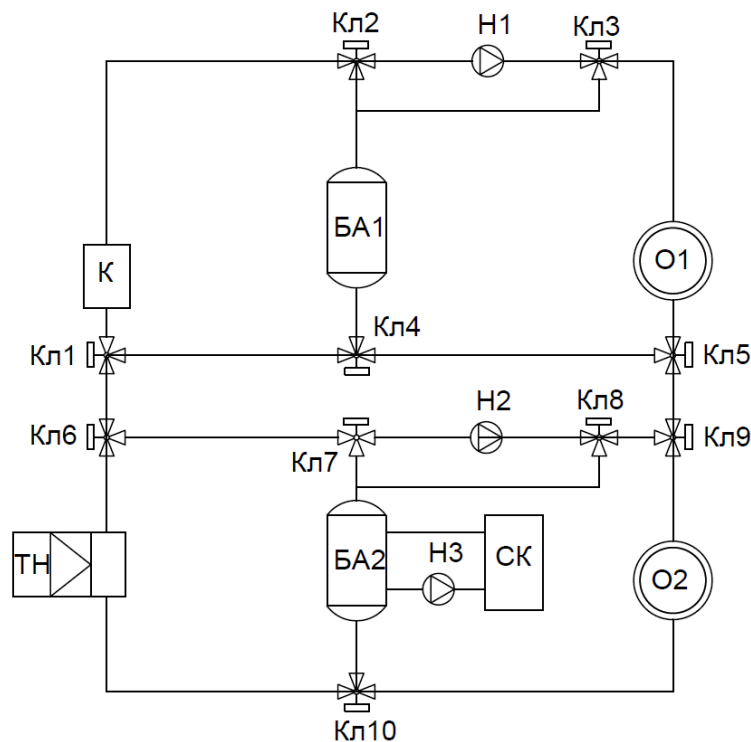


Рисунок 4.41 – Послідовно-паралельна модернізована бівалентна комбінована система опалення з буферною ємністю з доповненням геліосистеми. ТН - тепловий насос, К – котел, БА1 – бак-акумулятор високотемпературного теплоносія, БА2 – бак-акумулятор низькотемпературного теплоносія, О1 – система опалення високотемпературна, О2 – система опалення низькотемпературна, Н1 – циркуляційний насос високотемпературного контуру, Н2 – циркуляційний насос низькотемпера-

турного контуру, Кл1....Кл 10 – триходові клапани. СК-сонячні колектори. НЗ – циркуляційний насос геліосистеми.

Представлена схема дозволяє реалізувати процес накопичення теплової енергії від сонячних колекторів (СК) протягом дня. Накопичення відбувається у акумуляторі (БА2) низькотемпературного контуру. Накопичену енергію можна використовувати після досягнення необхідної температури теплоносія в подавальній магістралі.

У літній період теплота накопичена в БА2 може спрямовуватись на потреби гарячого водопостачання.

Для раніше дослідженої будівлі за допомогою програмного продукту EPS було проведено моделювання процесів генерації теплоти від геліосистеми. Для цього на даху будівлі пропонується розташувати 16 колекторів вакуумного типу. Кількість колекторів обумовлена конструктивними особливостями даху. Тип колекторів обумовлено необхідністю збільшення генерації теплоти в опалювальний період (рис. 4.42).

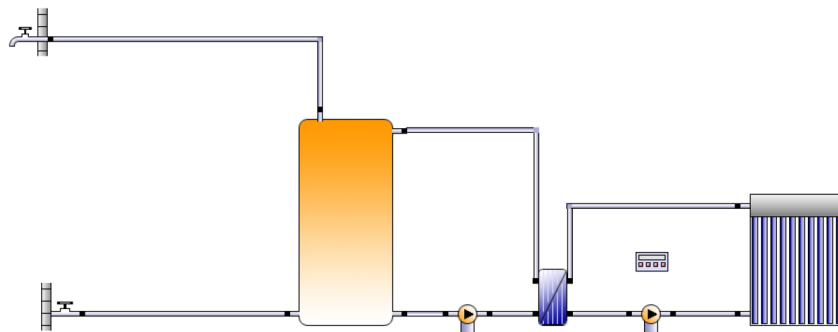


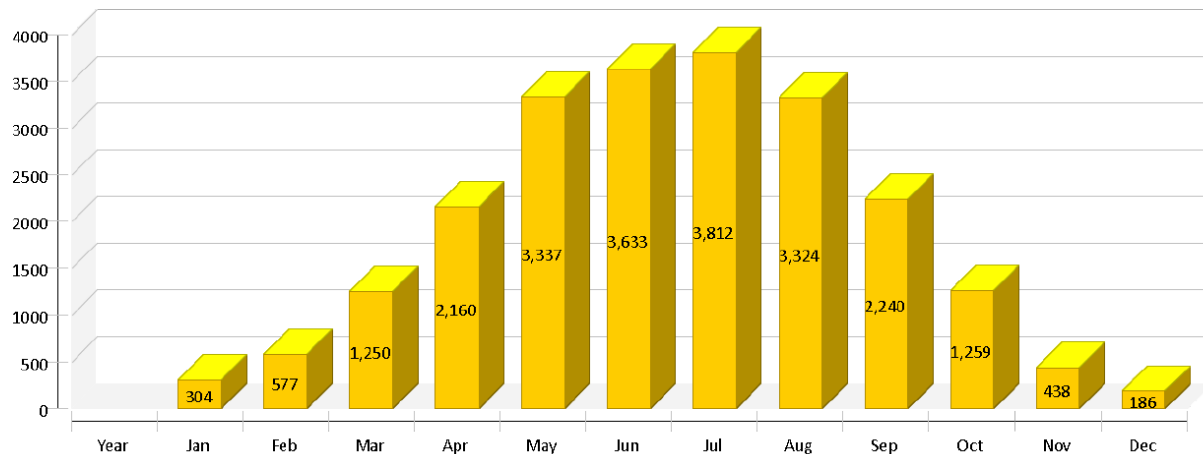
Рисунок - 4.42. Розрахункова схема програмного продукту EPS.

Collector 2	EP-20/58-1800	
Data Source		SPF
Number of collectors		16
Number of arrays		4
Total area	m ²	45.65
Total aperture area	m ²	29.904
Tilt angle	°	0
Orientation	°	45
Collector field yield [Qsol]	kWh	22,520.4
Irradiance onto collector area [Esol]	kWh	37,251.8
CollectorEfficiency [Qsol / Esol]	%	60.5
Direct irradiance after IAM	kWh	21,799.6
Diffuse irradiance after IAM	kWh	19,147.7

Рисунок 4.43 – Основні характеристики вакуумного сонячного колектора.

Solar thermal energy to the system [Qsol]

kWh



Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Solar thermal energy to the system [Qsol]

kWh	22520	304	577	1250	2160	3337	3633	3812	3324	2240	1259	438	186
-----	-------	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----

Irradiance onto collector area [Esol]

kWh	37252	911	1321	2399	3635	5205	5552	5651	4981	3615	2243	1031	709
-----	-------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

Electrical energy consumption of pumps [Epar]

kWh	5169	130	200	371	510	645	707	765	680	494	381	189	97
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

Рисунок 4.44 – Результати моделювання генерації теплоти геліосистемою впродовж року.

Аналіз результатів моделювання генерації теплоти геліосистемою котеджу впродовж року дає уявлення про частку заміщення теплоспоживання генераторів теплоти системи теплопостачання відновлювальним джерелами енергії протягом року. Внаслідок природніх умов в опалювальний сезон частка заміщення теплової енергії сонячною коливається у діапазоні 8-14 %, при цьому температурний потенціал теплоносія не перевищує як правило 45 °C, що також зменшує діапазон застосування сонячних колекторів у комбінованій системі теплопостачання в опалювальний період.

У весняний та осінній періоди частка заміщення традиційних джерел енергії сонячними системами сягає майже 100 %. В літню пору року кількість теплоти, що була згенерована геліосистемою значно перевищує потреби у теплопостачанні.

Враховуючі отримані результати доцільним є встановлення комбінованої сонячної системи для видобутку теплоти та електроенергії [100]. Вказане забезпечить потреби у теплоті протягом весняно-літньо-осіннього періоду, та дасть змогу

отримувати електроенергію для забезпечення базових потреб у комунальному господарстві.

4.5. Висновки до розділу

1. Аналіз схем застосування теплових насосів у комбінованих системах теплопостачання показав необхідність роботи різних генераторів теплоти по паралельних та послідовних схемах руху теплоносіїв із врахуванням режимів роботи систем та зовнішніх кліматичних чинників.

2. Застосування баків акумуляторів теплоти у комбінованих схемах теплопостачання дозволяє реалізувати двоперіодний режим роботи систем з урахуванням умов експлуатації будівлі та зменшити розрахункові потужності генераторів теплоти.

3. Впровадження «послідовно-паралельної модернізованої бівалентної комбінованої системи опалення з буферною ємністю» з двома різними споживачами теплоти дозволяє значно підвищити ефективність використання теплових насосів та розширити кліматичні умови застосування теплових насосів.

4. Проведені експериментальні дослідження показали ефективність впровадження рекомендованих комбінованих систем теплопостачання із двоперіодним режимом експлуатації опалювальних систем та дають змогу оцінити зменшення теплоспоживання системами комбінованого теплопостачання на базі теплового насосу, що складає від 20 до 26 % початкового споживання енергоресурсів.

5. Застосування геліосистем у розробленій комбінованій системі теплопостачання показує незначну частку заміщення теплової енергії у холодну пору року (8-14%) при цьому спостерігається значне перебільшення згенерованої теплоти сонячних систем у літню пору року, що вказує на доцільність комбінованого видобутку теплоти та електроенергії за рахунок сонячних систем.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором нові науково обґрунтовані результати, що дозволили розробити методи модернізації систем теплопостачання будівель різного типу призначення з використанням відновлювальних джерел енергії та урахуванням режимів експлуатації внутрішніх санітарно-технічних систем. При моделюванні процесів теплопостачання за різними видами теплоспоживання було враховано дійсні режими внутрішніх теплонадходжень з урахуванням відвідувачів будівель громадського призначення.

Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

1. Сучасний стан систем теплопостачання дозволяє виявити дійсний потенціал зменшення витрат на основне обладнання та матеріали при модернізації основних її елементів з урахуванням режимів роботи споживачів теплоти за різними видами теплоспоживання.

2. Для сучасних кліматичних умов як України, так і центральної частини Європи доцільним є використання теплонасосних систем (насамперед із відбором теплоти від зовнішнього повітря) в комбінації із резервним джерелом енергії: водогрійні котли, або централізовані системи теплопостачання.

3. На основі результатів моделювання режимів роботи будівель громадського призначення, а саме торгівельно-розважального комплексу, офісного центру та навчального закладу протягом робочої доби, з урахуванням кількості відвідувачів дня показали залежності зміни потужності кожного виду теплоспоживання (опалення, вентиляції та гарячого водопостачання), виявили потенціали зниження загальної теплової потужності та можливість перерозподілу потужності між різними генераторами теплоти, що дало можливість оцінити ефективність роботи системи теплопостачання в цілому.

4. На прикладі ТРЦ за допомогою використання статистичних функцій для аналізу емпіричних даних отримано накопичувальні середні послідовності та накопичувальна дисперсія послідовності для різних видів теплового навантаження, а також для загального теплоспоживання.

5. За результатами чисельного моделювання комбінованої системи теплопостачання змінної конфігурації визначено залежності основних показників системи та її складових частин від зовнішніх умов, виконано аналіз енергетичної

ефективності системи в режимі переривчастого опалення та в порівнянні з цілодобовим опаленням.

6. Наведені результати моделювання режимів системи теплопостачання підтверджують можливість створення високоефективних систем опалення з застосуванням сучасних енергетичних технологій та альтернативних джерел енергії.

7. Проведені експериментальні дослідження показали ефективність впровадження рекомендованих комбінованих систем теплопостачання із двоперіодним режимом експлуатації опалювальних систем та дають змогу оцінити зменшення теплоспоживання системами комбінованого теплопостачання на базі теплового насосу, що складає від 20 до 26 % початкового споживання енергоресурсів.

8. Застосування геліосистем у розробленій комбінованій системі теплопостачання показує незначну частку заміщення теплової енергії у холодну пору року (8-14%) при цьому спостерігається значне перебільшення згенерованої теплоти сонячних систем у літню пору року, що вказує на доцільність комбінованого видобутку теплоти та електроенергії за рахунок сонячних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року, Мінекоенерго, 2020 <https://bit.ly/2tR0P7n>
2. Енергоефективність будівель в Україні. URL: <https://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivlua.html>
3. Директива 2012/27/EU Європейського парламенту та Ради від 25 жовтня 2012 р. про енергоефективність. URL: https://sace.gov.ua/sites/default/files/UKR_Directive_27_2012_2.doc
4. Yakovleva, O., Ostapenko, O., & Trandafilov, V. (2021). EN Ефективна продуктивність енергетичної системи та енергетична політика. Refrigeration Engineering and Technology, 56(3-4), 156-167. <https://doi.org/10.15673/ret.v56i3-4.1952>
5. S. Paardekooper, R.S. Lund, B.V. Mathiesen et al. Quantifying the Impact of Low-carbon Heating and Cooling Roadmaps. Heat Roadmap Europe project, Deliverable 6.4, 2018 <http://www.heatroadmap.eu/>
6. Долінський А.А., Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Регіональні програми модернізації комунальної теплоенергетики – інноваційна основа технологічного оновлення теплозабезпечення населених пунктів України. Частина 2. // Комунальна та промислова теплоенергетика. – К.: Інститут технічної теплофізики НАН України.– 2012.– Том 34, №3.– С. 52-61. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/59496>
7. European Green Deal. Striving to be the first climate- neutral continent https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
8. Honcharuk, I., Babyna, O. (2020) Dominant trends of innovation and investment activities in the development of alternative energy source. Eastern European Scientific Journal, 2 (54), 6-13. https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA_2_54_feb_2020_part_6-3.pdf
9. О. Климчук, О. Вудвуд, Є. Бабаєв, М. Сергєєв, І. Аксьонова. Підвищення ефективності використання централізованих систем теплопостачання при реконструкції теплових мереж. Праці Одеського політехнічного університету, 2022. Вип.

2(66). ISSN 2076-2429. с.44-51. <https://old-pratsi.op.edu.ua/app/webroot/articles/1682507778.pdf>

10. Г.І. Позднякова, Є.С. Бабаєв. Шляхи підвищення енергоефективності теплопостачання районів міст за рахунок комплексної модернізації інженерних систем будівель. Refrigeration Engineering and Technology. Том 60 № 1 (2024), 45-52. <https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/2735/3156>

11. Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating Balasanian, G., Klymchuk, O., Babaiev, Y., Semenii, A. Lecture Notes in Civil Engineering, 2023, 290 LNCE, стр. 162–170

DOI: [10.1007/978-3-031-14141-6_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_16)

12. Баласанян Г.А., Климчук О.А., Семеній А.А., Бабаєв Є.С., Саченко Л.В. Моделювання режиму переривчастого опалення будівлі навчального корпусу. Праці Одеського політехнічного університету, 2021. Вип. 2(64). ISSN 2076-2429.с.22-27

<https://doi.org/10.15276/opu.2.64.2021.03>

13. О.А. Климчук. Н.В. Климчук. Є.С. Бабаєв. О.М. Вудвуд. Є.О. Кравченко. Теплообмін щільного шару сипучого матеріалу з зануреними поверхнями. Refrigeration Engineering and Technology. Том 59 № 4 (2024) , 269-277.

<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/2728/2967>

14. Переведення теплопостачання районів міст на електроенергію з використанням існуючих теплових мереж. Климчук О.А., Андрющенко А.М., Бабаєв Є.С., Сергєєв М.І. Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективне місто. XXI століття». С. 74-76. 10-11 листопада 2022 року. Одеса ОДАБА.

URL: https://odaba.edu.ua/upload/files/Zbirnik_Energoefektivne_misto_2022_1.pdf

15. Климчук Олександр Андрійович, Лужанська Ганна Вікторівна, Шевчук Володимир Іванович, Бабаєв Євген Сергійович, Котяш Дмитро Ігорович. Порівняльний аналіз роботи акумуляторів теплоти при різних схемах включення. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «SCIENCE,

INNOVATIONS AND EDUCATION: PROBLEMS AND PROSPECTS» 15-17 вересня 2021 года Токіо, Японія.

URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/09/SCIENCE-INNOVATIONS-AND-EDUCATION-PROBLEMS-AND-PROSPECTS-15-17.09.2021.pdf>

16. Є.С. Бабаєв, Г.І. Позднякова. Аналіз ефективності застосування геліосистем в централізованих системах теплопостачання університету. № 2(68) (2023): Праці Одеського політехнічного університету. стор. 64-71.

<https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.08>

17. Г.В. Лужанська, Є.С. Бабаєв, М.І. Сергєєв, О.О. Паламарчук, О.Л. Фуркаленко (2024). Підвищення ефективності роботи автономних систем теплопостачання для індивідуального опалення з застосуванням теплових насосів. Refrigeration Engineering and Technology, 60(3), 197-204.

<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/3000/3236>

18. XI Наукова конференція. Наукові підсумки 2022 року. Збірник тез. Підвищення ефективності використання теплових насосів у комбінованих системах теплопостачання при змінних режимах експлуатації будівель Климчук О. А. , Бабаєв Є. С. , Сергєєв М. І. с. 24. Харків 2022.

URL:https://entc.com.ua/download/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D1%82%D0%B5%D0%B7_11_%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%96%CC%88%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%96%CC%88_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%9E%D0%92%D0%86%20%D0%9F%D0%86%D0%94%D0%A1%D0%A3%D0%9C%D0%9A%D0%98%202022%20%D0%A0%D0%9E%D0%9A%D0%A3_.pdf

19. Бабаєв Є.С. Модернізація бівалентної комбінованої системи опалення будівлі. Collection of Scientific Papers / 1st International Scientific and Practical Conference «Innovative Approaches in Modern Science and Technology» March 2025 Lisbon, Portugal. стор. 309-311

[URL:https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/03/Lisbon_Portugal_26.03.25.pdf](https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2025/03/Lisbon_Portugal_26.03.25.pdf)

20. О.А. Климчук, Є.С. Бабаєв (2025) Аналіз режимів роботи систем теплопостачання для торгівельно-розважальних комплексів. Refrigeration Engineering and Technology, 61(1).
<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/3094/3309>

21 Аналіз стану розвитку теплогенеруючих джерел систем теплопостачання в Україні за 2000–2007 роки / Г. О. Куц // Проблеми загальної енергетики. - 2010. - Вип. 2. - С. 31-38. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2010_2_8

22 Стратегія теплозабезпечення населених пунктів України (до обговорення проекту Енергетичної стратегії України на період до 2020, 2030 та 2035 року) / А. А. Долінський, Б. І. Басок, Є. Т. Базєєв // Вісник Національної академії наук України. - 2015. - № 4. - С. 98-105. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2015_4_14

23 В. Р. Сердюк, Т. В. Сердюк, і К. В. Бауман, «Актуальність реновації застарілих внутріквартальних теплових мереж», СучТехнБудів, вип. 32, вип. 1, с. 63–72, Чер 2022.

<https://doi.org/10.31649/2311-1429-2022-1-63-72>

24 Джеджула В. В. Управління альтернативними джерелами енергії у системі інноваційного розвитку підприємств [Текст] / [В. В. Джеджула] // Процесне та соціально-компетентне управління інноваційним розвитком підприємницьких систем : монографія / за наук. ред. О. М. Полінкевич. – Луцьк: Вежа-Друк, 2017. – Розд. 5.1. – С. 146-155. https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-03/Polinkevych_mon.pdf

25 Куц Г.О., Малярєнко О.Є., Станішина В.В., Богославська О.Ю. Оцінка стану та прогноз структури палива та енергії для систем теплопостачання України з урахуванням регіональних особливостей. Проблеми загальної енергетики. 2017. № 4 (51). С. 23-32. doi: <https://doi.org/10.15407/pge2017.04.023>

26 Фактичний стан та напрями зниження втрат палива і енергії у загальному енергоспоживанні країни/ О. Є. Маляренко, Т. О. Євтухова // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – No2(33). – С. 5-14.

<https://systemre.org/index.php/journal/issue/view/45>

27 Міжнародна мережа централізованого теплопостачання, що сприяє сталому опаленню та охолодженню в Європі та за її межами. Режим доступу:

<https://www.euroheat.org>

28 B.V. Mathiesen, N. Bertelsen, Schneider et al. Towards a decarbonised heating and cooling sector in Europe, 2019 <https://scispace.com/papers/towards-a-decarbonised-heating-and-cooling-sector-in-europe-2cj2n5fgz2>

29 Комплексний підхід до модернізації теплових джерел, теплових мереж та приєднаних до них будівель / Є. Є. Нікітін, О. В. Дутка // Енерготехнологии и ресурсосбережение. - 2019. - № 2. - С. 16-23. - Режим доступу:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2019_2_4

30 І.М. Карп, Є.Є. Нікітін, К.Є. П'яних, О.І. Сігал, С.В. Дубовський, Г.Г. Гелетука, М.В. Тарновський, О.В. Дутка, В.І. Зубенко, І.С. Комков, Є.М. Олійник, Д.Ю. Падерно, К.К. П'яних, О.Е. Силикін, М.В. Степанов, В.М. Федоренко. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні. Книга 1. Національна академія наук України. Інститут технічної теплофізики. Київ «Наукова думка» 2021 р. с.264. ISBN 978-966-00-1760-3

https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/02/Stan_ta_shlyakhy_rozvytku_tsentralizovanoho_teplopostachannya.pdf

31 Росковшенко Ю. К., Штиленко В. П. Індивідуальне автоматичне регулювання та облік теплової енергії в системах водяного опалення / Ю. К. Росковшенко, В. П. Штиленко // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2013. – No. 4. – С. 238-243.

<https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/fcc2c624-fe75-4483-a861-391eb4ef6cd3/content>

32 Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» [Електронний ресурс] URL: <https://ukc.gov.ua/knowledge/dozvil-na-vstanovlennya-lichylnyky-tepla-nakvartyru/> Дата звернення: 10.02.2025 р.

33 Т. В. Сердюк, С. Ю. Франішина, В. Р. Сердюк, і Д. Г. Рудченко, «Вплив енерго-екологічних складових на будівництво житла і виробництво стінових будівельних матеріалів», Вісник ВПІ, вип. 3, с. 7–17, Черв. 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-156-3-7-17>

34 Дорошенко О. В. Оцінка стану, обґрунтування актуальності оптимізації систем теплопостачання /Комунальне господарство міст. – 2013. – №110. – С. 159-167. <http://eprints.kname.edu.ua/34972/1/159-167%20%D0%94%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9E%D0%92.pdf>

35 Нікітін Є.Є. Концептуальні положення планування у сфері централізованого теплопостачання. Вентиляція, освітлення та теплопостачання 2018. №25. С.67-72.

http://nbuv.gov.ua/UJRN/votp_2018_25_15

36 Закон України від 02.06.2005 р. № 2633-IV «Про теплопостачання» / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15>.

37 Теплозабезпечення великих міст України: поточний стан і напрями модернізації : кол. моногр. / за ред. М. О. Кизима, Є. І. Котлярова; авт. кол. : Кизим М. О., Котляров Є. І., Хаустова В. Є., Салашенко Т. І., Красноносова О. М., Костенко Д. М., Крячко Є. М., Пономаренко Є. В., Рудика О. В., Хаустов М. М. Харків : ФОП Лібуркіна Л. М., 2021. 340 с.

https://ndc-ipr.org/media/publications/files/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%BE.pdf

38 Taraday O., Gvozdetskiy O., Fomich S. Urban renovation of the hot water supply system. MATEC Web Conf. Volume 116, 2017. 6th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and

- Buildings” (Transbud-2017) .Kharkov.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602034>
- 39 Коваленко Ю.Л., Тарасенко М.О., Тарасенко О.М. Дослідження еколого-економічних показників систем комунального теплопостачання//Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит.-2022. №11-12(177-178). – С.42-49 <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2022.11.04>
- 40 Панасюк, П., & Воронін, А. (2022). EN Стан та перспективні напрями розвитку відновлюваної енергетики в Україні. *Refrigeration Engineering and Technology*, 58(3), 126-137. <https://doi.org/10.15673/ret.v58i3.2490>
- 41 IRENA. Tripling renewable power by 2030: The role of the G7 in turning targets into action, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2024. URL: www.irena.org/publications
- 42 В. В. . Джеджула, «Інтеграція альтернативних джерел енергії в системи теплопостачання громадських будівель», СучТехнБудів, вип. 36, вип. 1, с. 134–138, Сер 2024. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-134-138>
<https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-134-138>
- 43 Аналіз ефективності теплонасосної схеми опалення з використанням теплоти атмосферного повітря і сонячної енергії / М. К. Безродний, Н. О. Притула, Т. О. Місюра // Енергетика: економіка, технології, екологія. - 2017. - № 4. - С. 47-57. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2017_4_5
- 44 Відновлювані джерела енергії: монографія / Барило А. А., Кудря С. О., Шинкаренко Н. Я. [та ін.]; за ред. С. Кудрі. Київ, Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с. ISBN 978-966-999-077-8. Том 35 № 2 (2023)
https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Monografia_final_21.12.2020.pdf
- 45 Закон України «Про альтернативні джерела енергії» [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> Дата звернення: 10.02.2025 р.
- 46 Енергетична стратегія України на період до 2030 р. [Електронний ресурс] URL: https://ips.ligazakon.net/document/view/fn002747?ed=2013_07_24

Дата звернення: 10.02.2025 р.

47 В. Г. Петрук, А. П. Полив'янчук, Р. В. Петрук, С. М. Кватернюк, і С. В. Гавадза, «Аналіз інноваційних технологій сонячної генерації в контексті декарбонізації повоєнної економіки України», Вісник ВПІ, вип. 3, с. 27–31, Черв. 2024.

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-174-3-27-31>

48 Інтеграція теплоенергетичної установки на поновлюваних джерелах енергії / Селіхов Ю.А., Коцаренко В.О., Горбунов К.О., Россіхін В.В.// Інтегровані технології та енергозбереження: науково-практичний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020.-№1.-с.58-66. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2020.1.07>

49 Meggers, F., & Leibundgut, H. (2011). The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump. *Energy and Buildings*, 43, p. 897–886.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.008>

50 Postri-
oti,L., Baldinelli,G., Bianchi,F., Buitoni,G., Maria,F.D., &Asdrubali,F. (2016). An experimental setup for the analysis of an energy recovery system from wastewater for heat pumps in civil buildings. *Applied Thermal Engineering*. 102, Pp. 961-971.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.04.016>

51 Aleksahin, A., Boblovskey, A., Zhariy, K., Sidorenko, J., & Skorik, M. (2020). Теплові режими опалювальної мережі при утепленні будівель. *Комунальне господарство міст*, 1(154), 159–164.
<https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5548>

52 Oleksandr Klymchuk, Lidiia Ivanova, & Olena Bodiul. (2020). Implementation of a hybrid intermittent heat supply system for educational institutions. *Proceedings of the 4 th Annual Conference “Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions”*. Physical Sciences and Engineering. Tallinn, Estonia pp. 29–32. 26 November 2020.

<http://journal.eu-jr.eu/ttfpits/issue/view/150>

53 С. С. Титар, О. А. Климчук, і Б. Є. Молчанський, «Теплопостачання та кондиціонування громадських будинків з використанням поновлювальних джерел

- енергії», Вісник ВПІ, вип. 5, с. 64–68, Листоп. 2010.
<https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1523/1523>
- 54 Chwieduk, D. (2012). 3.15-Solar-Assisted Heat Pumps. Comprehensive renewable energy, **Volume 3**, 2012, p. 495–528. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00321-8>
- 55 M. Masiukiewicz, M. Tanczuk, S. Anweiler, G. Streckiene, and S. Boldyryev, “Long-term climate-based sizing and economic assessment of air-water heat pumps for residential heating,” Applied Thermal Engineering, **Volume 258, Part A**, 1 January 2025, 124627
<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.124627>
- 56 Мазуренко А.С. Порівняльний аналіз систем децентралізованого тепlopостачання житлових будівель із використанням електроенергії [Текст] / А.С. Мазуренко, О.А. Климчук, О.М. Шраменко, О.А. Сичова // Східно-Європейський журнал передових технологій, том 5 №8 (71).– 2014. – С. 21–25.
<https://journals.uran.ua/eejet/article/view/28012/25453>
- 57 Офіційний сайт Державного комітету статистики України // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua/>
- 58 Порівняння варіантів виконання розподільної теплової мережі мікрорайону / Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П., Новіков В.В., Цемох Д.О.// Інтегровані технології та енергозбереження: науково-практичний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021.-№3.-с.17-25. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2021.3.02>
- 59 M. Galindo Fernández et al. Efficient district heating and cooling systems in the EU – Case studies analysis, replicable key success factors and potential policy implications, 2016. <https://doi.org/10.2760/371045>
- 60 O. Klymchuk, G. Pozdnyakova. Improving the reliability of heat supply systems in the conditions of power outage. Proceedings OF ODESSA POLYTECHNIC UNIVERSITY Issue 2(70), 2025, p.48-55
<https://pratsi.op.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/471/462>
- 61 Джеджула В. В., Єпіфанова І. Ю. Енергозбереження як напрям підвищення безпеки критичних систем житлових будинків. Вісник Хмельницького на-

ціонального університету. №2, Том 1, 2022 (304). С. 72-76.
[https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-304-2\(1\)-9](https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-304-2(1)-9)

62 Перспективи використання теплових насосів у системах централізованого теплопостачання країн світу та України / В. О. Дерій, І. С. Соколовська, О. І. Тесленко // *Проблеми загальної енергетики*. - 2021. - Вип. 3. - С. 43-52. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2021_3_8

63 Куницький, М. (2022). Теоретичні засади економічної привабливості використання теплових насосів в міській інфраструктурі. Комунальне господарство міст, 6(173), 76–80. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-76-80>

64 ДБН.В 2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ: Мінбуд України, 2022. 27 с.

<https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-13>

65 Klymchuk, O., Balasanian, H., Luzhanska, G., Serheiev, M. i Aksyonova, I. 2022. Застосування САПР технологій у дослідженні теплообмінних установок систем мікроклімату на основі альтернативних джерел енергії. *Праці Одеського політехнічного університету*. 1(65) (Лют 2022), 47–55. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.1.65.2022.05>

66 James E. Brumbaugh. (2011) Audel HVAC Fundamentals: Air Conditioning, heat pumps, and distribution systems, 3, 696. <https://hvacvn.com/wp-content/uploads/2015/10/audel-hvac-fundamentals-volume-3.pdf>

67 Баласанян, Г. А., Климчук, А. А., Кирилова, Е. В., & . (2016). Дослідження роботи системи комбінованого теплопостачання навчального корпусу із застосуванням ексергоекономічного аналізу. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, (12), 156–158. <http://etpo.khpi.edu.ua/article/view/56573>

68 Klymchuk, O., Denysova, A., Balasanian, G., Ivanova, L., & Bodiul, O. (2020). Enhancing efficiency of using energy resources in heat supply systems of buildings with variable operation mode. *Eureka: Physics and Engineering*, (3), 59-68. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001252>

- 69 Zaitsev, D. V., Klimchuk, A. A., & Balasanian, G. A. (2015). Аналіз основних способів термомодернізації будівель та методика їх впровадження. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, 1(17), 156–160. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2015.17.24>
- 70 Zaitsev, D. V., Balasanian, G. A., & Klimchuk, A. A. (2016). Вплив теплової ізоляції на акумулюючі властивості будівель. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, (10), 171–174. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2016.10.26>
- 71 Quetelet L.A.J. Essai de physique sociale. Paris, 1835, 2-d ed. 1869 <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k81570d.pdf>
- 72 Дешко, В. І. Вплив переривчастих режимів опалення на динаміку енергопотреби та умови комфортності будівель із різним рівнем теплового захисту / В. І. Дешко, І. Ю. Білоус, Н. А. Буяк // Наукові вісті КПІ : міжнародний науково-технічний журнал. – 2019. – № 4(126). – С. 7–16. <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2019.4.180731>
- 73 Research on Energy-Saving Performance of Intermittent Heating for Rooms in Hot Summer & Cold Winter Zone / Guoqing Yu, Nan Fang, Dingke Hu, Wei Zhao / Energy Engineering, Vol.120, No.7, pp. 1563-1582, 2023. <https://doi.org/10.32604/ee.2023.026951>
- 74 Климчук, А.А. Комплексний підхід до впровадження переривчастого теплопостачання в будівлях громадського призначення / О.А.Климчук, А.Є.Денисова, Г. А. Баласанян // Вісник НТУ «ХПІ». Серія "Моделювання як інструмент інноваційного розвитку". - 2017. № 41. - С. 52-57. <https://doi.org/10.20998/%25x>
- 75 Дешко, В. І., Буяк, Н. А., Білоус, І. Ю., Гурєєв, М. В., & Голубенко, О. О. (2019). Вплив теплоінерційних особливостей огорожень на умови комфортності при впровадженні енергоощадних режимів опалення в будівлях. Комунальне господарство міст, 3(149), 44–50. <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5415>

- 76 Баласанян, Г., & Семеній, А. (2024). Потужність генератора тепла автономної системи опалення у переривчастому режимі. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(2), 121-127. <https://doi.org/10.15673/ret.v60i2.2823>
- 77 Klymchuk, O., Denysova, A., Balasanian, G., Alhemiri, S. A., & Borysenko, K. (2018). Implementation of an integrated system of intermittent heat supply for educational institutions. *Eureka: Physics and Engineering*, (1), 3-11. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00557>
- 78 Крапива Н. В., Баласанян Г. А. Математичне моделювання режиму переривчастого опалення будівлі//Dynamics of the development of world science. Abstracts of the 6th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2020. Pp. 366-372
https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/02/dynamics-of-the-development-of-world-science_19-21.02.2020.pdf
- 79 Методи оптимізації та дослідження операцій : навчальний посібник / Укладачі: Я. Б. Сікора, А.Й. Щехорський, Б.Л. Якимчук. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. – 148 с.
http://eprints.zu.edu.ua/33082/1/%D0%9C%D0%9E%D0%94%D0%9E_%D0%BF%D0%BE%D1%81.pdf
- 80 Климчук, О., & Сергеев, М. (2024). Аналіз режимів роботи систем теплозабезпечення з акумуляторами теплоти в будівлях громадського призначення. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(4), 317-323. <https://doi.org/10.15673/ret.v60i4.3075>
- 81 Omer A.: Ground-source heat pumps systems and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 12, Issue 2, 2008, p 344–371. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.003>
- 82 О.М. Болотських, М.М. Болотських. Вибір системи опалення заміського будинку// Науковий вісник будівництва Харків: ХОТВ АБУ. – ХНУБА, 2021 No1(103). – С. 255-263 <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/58/58>
- 83 Фіник, І. (2022). Особливості використання теплових насосів в системах теплопостачання приватних будинків. *Herald of Khmelnytskyi National Univer-*

sity. Technical Sciences, 311(4), 14-17. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-14-17>

84 Д. В. Степанов, Д. М. Резидент, і В. В. Мартиненко, «Аналіз заходів для підвищення енергоефективності житлового будинку», Вісник ВПІ, вип. 6, с. 62–67, Груд. 2024.

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-62-67>

85 H. Liang, X. Xie, M Liu, S. Niu, and H. Su, “Research on Strategies for Air-Source Heat Pump Load Aggregation to Participate in Multi-Scenario Demand Response,” Energies, no. 17(11):2471, 2024. <https://doi.org/10.3390/en17112471>

86 N. Serey, D. Ahmad, and H. Jouhara, “Air-to-air heat pump: review of recent advances and future potential,” E3S Web of Conferences, no. 116, 00074 (2019) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911600074>

87 Bezrodny, M. K., & Oslovskiy, S. O. (2022). Energy efficiency of using a con-ditioning system based on a ground heat pump. Теплофізика та Теплоенергетика, 44(1), 45-54. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2022.6>

88 American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2001 ASHRAE Handbook fundamentals Atlanta, GA 30329

<https://sovathrothsama.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/ashrae-hvac-2001-fundamentals-handbook.pdf>

89 Гребенюк А. Н. Способи акумуляції енергії нетрадиційних джерел // Гірнича електромеханіка та автоматика. 2014. Вип. 93. С. 131-136. Режим доступу:

<https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/ffaf98b7-61f8-4ad8-b473-1b3df97a1a03>

90 Демченко, В., & Коник, А. (2020). Основні аспекти процесів теплоакумулювання. Scientific Works, 84(1), 48-53.

<https://doi.org/10.15673/swonaft.v84i1.1868>

91 Demchenko V.G., Konyk A.V. (2020) Research of heat accumulation capacity binary water systems. IOSR Journal of Applied Chemistry 13 (1), 1-07.

<http://dx.doi.org/10.9790/5736-1306010107>

- 92 Дем'яненко, Ю., & Дуднік, Т. (2021). Сезонні акумулятори тепла в схемах теплопостачання приватних житлових будинків. *Refrigeration Engineering and Technology*, 57(2), 81-88. <https://doi.org/10.15673/ret.v57i2.2026>
- 93 G. Naumanna, E. Schroppa, and M. Gaderera, “Life Cycle Assessment of an Air-Source Heat Pump and a Con-densing Gas Boiler Using an Attributional and a Consequential Approach,” in 29th CIRP Life Cycle Engineering Conference, *Volume 105*, 2022, pp. 351-356. 2022
<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.058>
- 94 Luzhanska, G., Galatsan, M., Serheiev, M., Gryshchenko, S. і Kandieiev, P. 2024. Дослідження режимів генерації та споживання теплоти у комбінованих системах теплопостачання з використанням альтернативних джерел енергії. *Праці Одеського політехнічного університету*. 1(69) (Трав 2024), 40–49. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.1.69.2024.05>
- 95 Дорошенко, О., Халак, В., & Дем'яненко, Ю. (2020). Оптимізація й прогнозування ефективності рідинних сонячних колекторів у складі систем гарячого водопостачання. *Refrigeration Engineering and Technology*, 56(1-2), 37-43.
<https://doi.org/10.15673/ret.v56i1-2.1827>
- 96 Возняк О.Т., Янів М.Є. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Львів, 2010. № 664. С. 7–10
<https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/c7efd0ad-530f-4cfe-a418-23c3d423c947/content>
- 97 Шаповал, С. П., Возняк. О. Т. «Математичне моделювання Надходження сонячної енергії на потрійно-орієнтовану систему сонячних колекторів.» *Науковий вісник НЛТУ України* 2010 с. 313-316. chrome-
https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_10/313_Szap.pdf
- 98 Юрченко Є. Л. «Вибір оптимальних параметрів орієнтації сонячних панелей.» *Український журнал будівництва та архітектури* № 4 (022) 2024 с. 155-160.
<https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.300824.155.1086>

99 Hussain, F., et al. "Design development and performance evaluation of photovoltaic/thermal (PV/T) air base solar collector." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25 (2013): p 431-441.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.014>

100 Alzaabi, Amna A., et al. "Electrical/thermal performance of hybrid PV/T system in Sharjah, UAE." *International Journal of Smart Grid and Clean Energy* 3.4 (2014): p 385-389.

<http://dx.doi.org/10.12720/sgce.3.4.385-389>

Акт впровадження 1.



ДОВІДКА

про виконання результатів дисертаційної роботи

Бабасва Євгена Сергійовича

представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю

144 – Теплоенергетика

Надана довідка затверджує, що дисертаційне дослідження Бабасва Є.С. «Енергоефективне теплопостачання будівель різного типу призначення ме-гаполісів» використовується Національним університетом «Одеська політехніка» при підготовці бакалаврів та магістрів за освітніми програмами «Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження» та «Теплові електричні станції та інноваційні енергетичні технології» в Навчально-науковому інституті енергетики на кафедрі теплових електростанцій та енергозберігаючих технологій при викладанні наступних дисциплін: «Теплопостачання підприємств», «Технічні системи та обладнання галузі».

Довідка надана у зв'язку з захистом дисертації.

Проректор

Кандесва Віра 705-85-07



Сергій НЕСТЕРЕНКО

Акт впровадження 2.



ДОВІДКА

про виконання результатів дисертаційної роботи

Бабасва Свєгена Сергійовича

представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю

144 – Теплоенергетика

Надана довідка затверджує, що дисертаційне дослідження Бабасва Є.С. «Енергоефективне теплопостачання будівель різного типу призначення мегаполісів» виконано відповідно до планів, затверджених Міністерством освіти і науки України, і є складовою частиною держбюджетної НДР за темою «Забезпечення ефективного функціонування систем теплопостачання будівель громадського призначення, теоретико-методологічні та практичні аспекти» НДР № 179-41 (№ ДР 0119U003518).

Довідка надана у зв'язку з захистом дисертації.

Проректор



Дмитро ДМИТРИШИН

Кандєєва Віра 705-85-07

Акт впровадження 3.

Код за ЄДРПОУ 39675273 ІПН 396752726542

UA 49 300346 0000026005014318103 в АТ "СЕНС-БАНК"

м. Київ, МФО 300346

тел. (048) 788 85 08, +38 067 404 51 21

УКРАЇНА, 65033, М.ОДЕСА, ХАДЖИБЕЙСЬКИЙ Р-Н,

ВУЛ. ВАСИЛЯ СТУСА, БУД. 2Д



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ЕНЕРГОТРЕЙД ЮГ»

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта
Національного університету «Одеська політехніка»
Бабаєва Євгена Сергійовича
представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
144 – Теплоенергетика

Довідка видана про те, що результати, отримані у дисертаційній роботі, застосовані у діяльності ТОВ "Енерготрейд Юг" аспірантом кафедри теплових електростанцій та енергозберігаючих технологій Національного університету «Одеська політехніка» МОН України Бабаєвим Євгеном Сергійовичем «Енергоефективне теплопостачання будівель різного типу призначення мегаполісів» прийнято до впровадження, а саме враховувати в розрахунок теплових навантажень за різними видами споживання та подальшою реалізацією режими експлуатації будівель з урахуванням як зовнішніх, так і внутрішніх кліматичних чинників.

Відзначено нові результати, щодо впровадження вказаних рекомендацій, а саме зниження розрахункових потужностей генераторів теплоти у комбінованих системах теплопостачання будівель громадського призначення.

Директор



Михайло Сорокопуд

Акт впровадження 4.



ТОВ «ОБЛТЕПЛО»
код ЄДРПОУ 38295616,
п/р UA473071230000026005010309447
в ПАТ «БАНК ВОСТОК», МФО 307123

65026, м.Одеса, вул. Приморська,3
тел.: (048) 706 36 34
e-mail: info@oblteplo.com
ПІН 382956115536

№16-05/Вих-2025 від «16» травня 2025 року

За місцем вимоги

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, виконаних в Національному університеті «Одеська політехніка», а саме дисертаційна робота аспіранта Бабаєва Є.С. «Енергоефективне теплопостачання будівель різного типу призначення мегаполісів» були впроваджені на ряді об'єктів, що дозволило значно зменшити споживання теплової енергії за рахунок узгодження генерації теплоти із режимами експлуатації інженерних систем забезпечення мікроклімату та урахуванням зовнішніх кліматичних чинників.

В результаті впровадження зниження витрат теплової енергії на низці об'єктів склало від 15 до 20 %.

Директор ТОВ «ОБЛТЕПЛО»



Сергій ЛЄЙВІКОВ

Графік відвідування ТРЦ протягом тижня.

Відвідування ТРЦ впродовж тижня середнє за годину

[illegible]

Графік теплового навантаження ТРЦ протягом тижня за видами теплоспоживання

[illegible]