

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГРИЩЕНКО СЕРГІЙ ІГОРОВИЧ

УДК 620.9

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА**

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

_____ С.І. Грищенко

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

Одеса – 2026

АНОТАЦІЯ

Грищенко С.І. Забезпечення енергоефективного теплопостачання об'єктів житлово-комунального господарства. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика. – Національний університет «Одеська політехніка», МОН України, Одеса, 2026.

В дисертаційній роботі проведено дослідження щодо підвищення енергоефективності теплозабезпечення об'єктів житлово-комунального сектору економіки різного функціонального призначення з використанням як традиційних джерел теплоти, що використовують первинні енергоресурси, так і застосуванням відновлювальних джерел енергії. Розроблені заходи та рекомендації сприятимуть зниженню споживання природного палива, скороченню витрат на енергоносії та покращенню екологічного стану навколишнього середовища.

У **вступі** наведено актуальність роботи, її зв'язок з науковими темами та програмами, мету дослідження, задачі дослідження, наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів. Також представлені результати публікаційної активності та апробація результатів наукових досліджень.

У **першому розділі** «Сучасні тенденції щодо підвищення енергоефективності в теплопостачанні об'єктів комунального господарства» проведено огляд сучасних тенденції щодо енергоефективності в житлово-комунальному секторі; аналіз стану централізованих систем теплозабезпечення; аналіз особливостей теплозабезпечення різних груп споживачів теплової енергії; огляд особливостей режимів роботи різних видів споживання об'єктів житлово-комунального господарства.

У **другому розділі** «Дослідження режимів роботи систем теплопостачання для об'єктів комунального господарства» надано класифікацію будівель комунального сектору за режимами експлуатації; представлено методику розрахунку теплових навантажень для різних видів теплового споживання будівель різного фу-

нкціонального призначення; на основі даних спостережень отримано графіки теплових навантажень (робоча доба, вихідний день) для житлового будинку та торгівельно-розважального комплексу; для оцінки ефективності роботи джерела теплоти та потенціалу зниження теплового навантаження за рахунок теплового акумулювання введено коефіцієнти оцінки використання максимуму теплової потужності джерела; на основі отриманих значень вказаних коефіцієнтів проведено дослідження щодо визначення раціонального об'єму акумуляторів теплоти.

В **третьому розділі** «Моделювання системи тепlopостачання із використанням акумуляторів теплоти» наведено методику оптимізації теплового навантаження системи тепlopостачання; проведено математичне моделювання роботи системи тепlopостачання при застосуванні переривчастого режиму тепlopостачання; отримано графічні залежності добового теплового навантаження, зміни температури в приміщенні, зміни температур теплоносіїв при застосуванні режиму переривчастого тепlopостачання; на основі отриманих результатів проведено оцінку ефективності застосування переривчастого режиму роботи системи тепlopостачання та режимів роботи акумулятора теплоти при змінних кліматичних чинників.

В **четвертому розділі** «Робота систем теплозабезпечення із застосуванням різних видів відновлювальних джерел в будівлях комунального сектору» для представленої структури джерела теплоти у житловій будівлі проведено аналіз надійності роботи при різних компоновках джерела теплоти; проведено натурні дослідження роботи теплового насоса із відведенням теплоти з ґрунту для потреб тепlopостачання житлового будинку протягом опалювального періоду; наведено дані щодо споживання теплоти для двох характерних періодів тижня; проведено аналіз ефективності роботи системи тепlopостачання протягом указаних періодів та запропоновано рекомендації щодо зниження споживання енергоресурсів за рахунок встановлення акумуляторів теплоти; проведено дослідження ефективності застосування геліосистем для потреб тепlopостачання за умовою роботи в літній та опалювальний періоди.

Ключові слова: теплота, енергетичне обладнання, альтернативні джерела енергії, відновлювальні джерела енергії, котел, моделювання, режими експлуатації будівель, добовий графік навантаження, енергоефективне теплопостачання, комбіновані системи енергозабезпечення, надійність систем теплопостачання, теплові насоси, геліосистеми, сонячна енергетика, накопичення теплової енергії, акумулятори теплоти, переривчасте опалення, режими експлуатації будівель, критерії енергоефективності, теплові мережі.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано наукові результати дисертації:

1. Ганна Вікторівна Лужанська, Марк Петрович Галацан, Микола Ігорович Сергеев, Сергій Ігорович Грищенко, Павло Олександрович Кандеєв (2024). Дослідження режимів генерації та споживання теплоти у комбінованих системах тепlopостачання з використанням альтернативних джерел енергії. № 1(69) (2024): Праці Одеського політехнічного університету. стор. 40-49.

<https://doi.org/10.15276/opu.1.69.2024.05>.

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

2. Рєпін, Ю., Грищенко, С., Климчук, Н., Сергеев, М., & Ткачов, О. (2024). Ефективність роботи теплових насосів із відбором теплоти від ґрунту та зовнішнього повітря в житлових будинках. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(2).

<https://doi.org/10.15673/ret.v60i2.2951>.

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

3. О.А. Климчук, Г.В. Лужанська, О.С. Жайворон, С.І. Грищенко, А.Ю. Каверін (2024). Аналіз ефективності застосування різних типів сонячних систем для сезонних споруд санаторного та рекреаційного типу. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(4).

<https://doi.org/10.15673/ret.v60i4.3074>.

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

4. V. Shevchuk, Y. Riepin, O. Palamarchuk, O. Furkalenko, S. Gryshchenko. Increasing the efficiency of ground-source heat pumps based on consumer operating mode data. *Proceedings OF ODESSA POLYTECHNIC UNIVERSITY Issue 1(71)*, 2025, p.104-110

<https://doi.org/10.15276/opu.1.71.2025.12>.

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

5. Ж.Ф. Дорошенко, В.Д. Станіславов, Ю.К. Бессат'ян, С.І. Грищенко, А.Ю. Каверін. Застосування відновлювальних джерел енергії в торгівельно-

розважальних центрах для потреб теплопостачання з урахуванням режимів експлуатації Refrigeration Engineering and Technology, 61(4).

<https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3331>.

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

6. Mazurenko, A., Pustovit, A., Doroshenko, Z. і Gryshchenko, S. 2025. Можливості підвищення надійності роботи тепло та електро генеруючих установок систем теплопостачання з урахуванням встановлення резервних потужностей. Праці Одеського політехнічного університету. 2(72) (Груд 2025), 55–64.

<https://doi.org/10.15276/opu.2.72.2025.06>.

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

7. С.І. Грищенко, О.А. Климчук. Підвищення ефективності роботи системи теплопостачання будівлі громадського призначення з урахуванням режимів експлуатації Refrigeration Engineering and Technology, 62(1).

<https://doi.org/10.15673/ret.v62i1.3441>

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

8. Олександр Вікторович Корольов, Михайло Юрійович Яценко, Дмитро Андрійович Климчук, Сергій Ігорович Грищенко (2023). Експериментальний стенд для дослідження властивостей сухого зберігання відпрацьованих тепловиділяючих збірок. № 2(68) (2023): Праці Одеського політехнічного університету. стор. 57-63

<https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.07>.

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

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Олександр Климчук, Олег Паламарчук, Павло Шилов, Олександр Фуркаленко, Сергій Грищенко. Підвищення ефективності систем теплопостачання медичних закладів за рахунок застосування геліосистем./III International Scientific and Technical Conference “MODERN TECHNOLOGIES OF BIOMEDICAL ENGINEERING” May 08-10, 2024, Odesa, Ukraine p. 257-259.

https://drive.google.com/file/d/1UaYopSBKke3sEvjUQhjn_h3M51Y2uWz1/view?usp=sharing

10. Климчук О.А., Рєпін Ю.С., Пустовіт А.В., Нягу Ю.Д., Грищенко С.І. Енергоефективні системи забезпечення клімату в готельних комплексах півдня України International Scientific and Practical Conference Stockholm, Sweden November 21-24, 2023 p. 507-510. p 499-502.

<https://doi.org/10.46299/ISG.2023.2.10>

11. Лужанська Г.В., Ігнатенко Д.С., Грищенко С.І., Сергєєв І.В. Муренко І.В. Принцип роботи комбінованої системи опалення XXIV International Scientific and Practical Conference Varna, Bulgaria June 20 – 23, 2023 p.368-372.

<https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.24>

12. Лужанська Г. В., Станіславов В. Д. Д., Фуркаленко О. Л. Л., Грищенко С. І. І., Рак О. В. Використання пінополіуретану в якості утеплювача будівельних огорожувальних конструкцій global trends in science and education Proceedings of III International Scientific and Practical Conference. Kyiv, Ukraine 7-9 April 2025.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2025/04/GLOBAL-TRENDS-IN-SCIENCE-AND-EDUCATION-7-9.04.25.pdf>

13. Лужанська Г. В., Грищенко С. І., Сорокопуд М. М., Ануфрієв С. С., Савілов А. О. Системи мікроклімату спортивних залів scientific development in a changing world Proceedings of I International Scientific and Practical Conference Lviv, Ukraine 20-22 January 2026. стор. 265-269.

<https://sci-conf.com.ua/i-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-development-in-a-changing-world-20-22-01-2026-lviv-ukrayina-arhiv/>

ABSTRACT

Gryshchenko S.I. Ensuring energy-efficient heat supply of housing and communal facilities. – 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, 2026.

The dissertation study was conducted to increase the energy efficiency of heat supply of housing and communal facilities of various functional purposes using both traditional heat sources that use primary energy resources and the use of renewable energy sources. The developed measures and recommendations will contribute to reducing the consumption of natural fuels, reducing energy costs and improving the ecological state of the environment.

The introduction presents the relevance of the work, its connection with scientific topics and programs, the purpose of the study, the tasks of the study, the scientific novelty and the practical significance of the results obtained. The results of publication activity and the testing of the results of scientific research are also presented.

The first section "Modern trends in increasing energy efficiency in heat supply of municipal facilities" provides a review of modern trends in energy efficiency in the housing and communal sector; analysis of the state of centralized heat supply systems; analysis of the features of heat supply of different groups of heat energy consumers; review of the features of the operating modes of different types of consumption of housing and communal facilities.

The second section "Study of operating modes of heat supply systems for municipal facilities" provides a classification of buildings in the municipal sector by operating modes; presents a methodology for calculating heat loads for different types of heat consumption of buildings of different functional purposes; based on the observation data, heat load schedules (working day, day off) for a residential building and a shopping and entertainment complex were obtained; to assess the efficiency of the heat source and the potential for reducing the heat load due to heat accumulation, coefficients for assessing the use of the maximum heat power of the source were introduced; based on

the obtained values of the indicated coefficients, a study was conducted to determine the rational volume of heat accumulators.

In the third section, "Modeling the heat supply system using heat accumulators", a methodology for optimizing the heat load of the heat supply system is presented; mathematical modeling of the heat supply system operation when using the intermittent heat supply mode was performed; graphical dependences of the daily heat load, changes in the temperature in the room, changes in the temperatures of the coolants when using the intermittent heat supply mode were obtained; based on the results obtained, an assessment of the efficiency of using the intermittent heat supply system operation and heat accumulator operation modes under variable climatic factors was performed.

In the fourth section "Operation of heat supply systems using various types of renewable sources in municipal sector buildings", for the presented structure of the heat source in a residential building, an analysis of the reliability of operation with different heat source layouts was conducted; field studies of the operation of a heat pump with heat removal from the ground for the needs of heat supply of a residential building during the heating period were conducted, heat consumption data for two characteristic periods of the week were given; an analysis of the efficiency of the heat supply system during the specified periods was conducted and recommendations were offered for reducing energy consumption by installing heat accumulators; a study of the efficiency of using solar systems for heat supply needs under the condition of operation in the summer and heating periods was conducted.

Keywords: heat, energy equipment, alternative energy sources, renewable energy sources, boiler, modeling, building operating modes, daily load schedule, energy-efficient heat supply, combined energy supply systems, reliability of heat supply systems, heat pumps, solar systems, solar energy, thermal energy storage, heat accumulators, intermittent heating, building operating modes, energy efficiency criteria, heat networks.

LIST OF PUBLICATIONS OF THE ACQUIRER

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

1. Luzhanska, G., Galatsan, M., Serheiev, M., Gryshchenko, S. i Kandieiev, P. 2024. Research of heat generation and consumption modes in combined heat supply systems using alternative energy sources. Proceedings of Odessa Polytechnic University, 2024. Issue 1(69). ISSN 2076-2429. pp. 40-49.

<https://doi.org/10.15276/opu.1.69.2024.05>.

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

2. Yurii Riepin, Sergii Gryshchenko, Nataliya Klymchuk, Mykola Serheiev, Oleksii Tkachov. Efficiency of heat pumps with heat extraction from the soil and outside air in residential buildings. Refrigeration Engineering and Technology, Volume 60 No. 2 (2024), 113-120.

<https://doi.org/10.15673/ret.v60i2.2951>.

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

3. Oleksandr Klymchuk, Ganna Luzhanska, Oksana Zhaivoron, Sergii Gryshchenko, Andrii Kaverin. Analysis of the effectiveness of sustanation of different types of sleeping systems for seasonal spords of sanatorium and recreational type. Refrigeration Engineering and Technology, Volume 60 No. 4 (2024), 309-316.

<https://doi.org/10.15673/ret.v60i4.3074>.

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

4. V. Shevchuk, Y. Riepin, O. Palamarchuk, O. Furkalenko, S. Gryshchenko. 2025. Increasing the efficiency of ground-source heat pumps based on consumer operating mode data. Proceedings of Odessa Polytechnic University Issue 1(71), 2025, p.104-110

<https://doi.org/10.15276/opu.1.71.2025.12>.

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

5. Zhanna Doroshenko, Volodymyr Stanislavov, Yuriy Bessatyan, Sergii Gryshchenko, Andrii Kaverin. Application of renewable energy sources in shopping

and entertainment centers for heat supply needs taking into account operation modes. Refrigeration Engineering and Technology, Volume 61 No. 4 (2025), 399-405.

<https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3331>.

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

6. Mazurenko, A., Pustovit, A., Doroshenko, Z. Gryshchenko, S. 2025. Possibilities for improving the reliability of heat and electricity generating facilities in heat supply systems, taking into account the installation of reserve capacities. Proceedings of Odessa Polytechnic University, 2025. Issue 2(72). ISSN 2076-2429. pp. 55-64 2(72). <https://doi.org/10.15276/opu.2.72.2025.06>.

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

7. Sergii Gryshchenko, Oleksandr Klymchuk. Increasing the efficiency of the heat supply system of public buildings taking into account the operation modes. Refrigeration Engineering and Technology Volume 62 No. 1 (2025), 399-405. <https://doi.org/10.15673/ret.v62i1.3441>

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

8. Koroliov, O., Yatsenko, M., Klymchuk, D. Gryshchenko, S. 2023. An experimental stand for researching the properties of spent fuel assembly dry storage. Proceedings of Odessa Polytechnic University, 2023. Issue 2(68). ISSN 2076-2429. pp. 57-63

<https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.07>.

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

Published works of approbation nature:

9. Oleksandr Klymchuk, Oleg Palamarchuk, Pavlo Shilov, Oleksandr Furkalenko, Serhiy Gryshchenko. Increasing the efficiency of heat supply systems in medical institutions through the use of solar systems. /III International Scientific and Technical Conference "MODERN TECHNOLOGIES OF BIOMEDICAL ENGINEERING" May 08-10, 2024, Odesa, Ukraine p. 257-259.

https://drive.google.com/file/d/1UaYopSBKke3sEvjUQhjn_h3M5lY2uWz1/view?usp=sharing

10. Klymchuk O.A., Repin Y.S., Pustovit A.V., Nyagu Y.D., Gryshchenko S.I. Energy-efficient climate control systems in hotel complexes in southern Ukraine. Inter-

national Scientific and Practical Conference Stockholm, Sweden November 21-24, 2023 p. 507-510. p 499-502.

<https://doi.org/10.46299/ISG.2023.2.10>

11. Luzhanska G.V., Ignatenko D.S., Gryshchenko S.I., Sergeev I.V. Murenko I.V. The principle of operation of a combined heating system xxiv International Scientific and Practical Conference Varna, Bulgaria June 20 – 23, 2023 p.368-372.

<https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.24>

12. Luzhanska G. V., Stanislavov V. D. D., Furkalenko O. L. L., Grishchenko S. I. I., Rak O. V. Using polyurethane foam as insulation for building envelopes. global trends in science and education Proceedings of III International Scientific and Practical Conference. Kyiv, Ukraine 7-9 April 2025.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2025/04/GLOBAL-TRENDS-IN-SCIENCE-AND-EDUCATION-7-9.04.25.pdf>

13. Luzhanska G. V., Grishchenko S. I., Sorokopud M. M., Anufriev S. S., Savilov A. O. Microclimate systems of sports halls. scientific development in a changing world Proceedings of I International Scientific and Practical Conference Lviv, Ukraine 20-22 January 2026. стор. 265-269.

<https://sci-conf.com.ua/i-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-development-in-a-changing-world-20-22-01-2026-lviv-ukrayina-arhiv/>

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	16
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ТЕПЛОПОСТАЧАННІ ОБ'ЄКТІВ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА.....	24
1.1 Сучасні тенденції щодо енергоефективності в житлово-комунальному секторі.....	24
1.2 Теплопостачання об'єктів комунального сектору: сучасний стан та перспективи розвитку.....	29
1.3 Особливості теплопостачання різних типів будівель комунального господарства.....	34
1.4 Основні споживачі теплоти в об'єктах комунального господарства.....	37
1.4.1 Системи опалення.....	38
1.4.2 Системи приготування гарячої води.....	39
1.4.3 Системи вентиляції.....	39
1.5 Основні фактори, що впливають на потужність систем теплопостачання.....	40
1.6 Висновки до розділу 1.....	42
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА.....	44
2.1 Опис особливостей теплопостачання об'єктів комунального господарства різного типу призначення.....	44
2.1.1 Класифікація будівель комунального господарства за режимами експлуатації.....	44
2.1.2 Основні споживачі системи теплопостачання будинків комунального господарства.....	45
2.2 Графіки теплових навантажень будівель різного типу призначення протягом доби та тижня.....	46
2.2.1 Житловий будинок.....	49

2.2.2 Коефіцієнти використання потужності.....	54
2.2.3 Торгівельно-розважальний комплекс.....	58
2.3 Застосування акумулювання теплоти в системах теплопостачання для узгодження режимів теплопостачання та споживання теплової енергії.....	62
2.3.1 Особливості застосування акумуляторів теплоти в системах теплопостачання.....	62
2.3.2 Математична модель розрахунку процесу акумулювання теплоти.....	64
2.3.3 Дослідження режимів роботи системи теплопостачання житлового будинку з акумулятором теплоти та ТРК протягом доби.....	66
2.3.4 Дослідження роботи систем теплопостачання з акумулюванням теплоти протягом року.....	69
2.4 Висновки до розділу 2.....	73
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ.....	75
3.1 Математичне моделювання системи теплопостачання.....	75
3.1.1 Вхідні параметри щодо моделювання системи теплопостачання.....	76
3.1.2 Методика оптимізації режимів теплового навантаження системи опалення.....	77
3.2 Результати математичного моделювання та оптимізації режимів навантаження системи теплопостачання будівлі громадського призначення.....	79
3.3. Математичне моделювання системи теплопостачання з акумулюванням тепла.....	90
3.4 Оптимізація потужності водогрійного котла в режимі переривчастого опалення з акумулятором тепла.....	95
3.5 Висновки по розділу 3.....	98
РОЗДІЛ 4. РОБОТА СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ В БУДІВЛЯХ КОМУНАЛЬНОГО СЕКТОРУ.....	99
4.1 Структура системи теплозабезпечення теплоти в будівлі комунального сектору.....	99

4.2 Аналіз надійності роботи джерела теплоти для будівлі комунального сектору.....	101
4.3 Дослідження роботи теплового насоса із відведенням теплоти з ґрунту для потреб теплопостачання житлового будинку.....	107
4.4 Застосування геліосистем в комбінованих системах теплопостачання для підвищення ефективності роботи.....	119
4.4.1 Сучасні технології геліосистем для комунального сектору.....	119
4.4.2. Дослідження ефективності роботи геліосистем у складі комбінованого теплопостачання індивідуального житлового будинку (котеджу).....	120
4.4.3 Частка заміщення теплового навантаження геліосистемами.....	125
4.5 Висновки до розділу 4.....	128
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	130
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	133
ДОДАТОК А.....	149
ДОДАТОК Б.....	152
ДОДАТОК В.....	153
ДОДАТОК Г.....	154
ДОДАТОК Д.....	155

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

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

Актуальність теми. Сучасний стан енергетичного сектору вимагає реалізації державної політики, спрямованої на забезпечення енергетичної безпеки країни, підвищення енергоефективності виробництва енергії, покращення екологічного стану та скорочення споживання викопних палив [1]. Особливої актуальності зазначені напрями політики набувають особливої важливості у сфері комунальної теплоенергетики, яка характеризується значними обсягами споживання енергетичних ресурсів, а також відчутним впливом на екологічний стан навколишнього середовища [2].

Досягнення основних цілей зазначених політик у теплоенергетичній сфері потребує розробки комплексної дорожньої карти модернізації систем теплопостачання, яка передбачає впровадження енергоефективних заходів на всіх рівнях енергозабезпечення: генерації, транспортування, розподілу та споживання теплової енергії [3]. Такий підхід повинен базуватися на поєднанні технічних, економічних та екологічних аспектів розвитку галузі, враховувати особливості режимів експлуатації будівель, функціонування інженерних систем теплопостачання та перспективи впровадження різних відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [4].

Наявні світові тенденції розвитку енергетичного сектору економіки протягом останніх десятиліть супроводжуються зростанням попиту на енергоресурси та нестабільністю їхньої вартості на міжнародних ринках. Вказані процеси суттєво впливають і на енергетичний сектор економіки України та обумовлюють необхідність модернізації, в тому числі, і систем теплопостачання, підвищення їхньої енергоефективності та забезпечення надійності. В той же час неухильно зростають вимоги щодо впровадження сучасних технічних рішень в теплоенергетичній галузі, які забезпечують раціональне використання первинних енергоресурсів з урахуванням особливостей режимів експлуатації будівель різного функціонального призначення та кліматичних умов регіону [5].

Враховуючі наведені умови, можна відмітити, що одним із пріоритетних напрямів розвитку теплоенергетичної галузі є широкомасштабне впровадження

енергозберігаючих технологій із використанням, в тому числі, і відновлюваних джерел енергії. Дослідження, спрямовані на підвищення ефективності використання первинних енергоносіїв, набувають особливої важливості в контексті реалізації відповідних ініціатив Європейського союзу, державної політики та досягнення цілей сталого розвитку в енергетичному секторі економіки. Незважаючи на позитивну динаміку впровадження сучасних технологій енергозбереження, рівень енергоефективності в Україні все ще поступається основним показникам провідних європейських держав, що обумовлює необхідність подальшого вдосконалення технічних та організаційно-правових рішень у теплоенергетичній сфері комунального господарства [6].

Нормативно-правова база України у сфері енергоефективності визначає одним із ключових напрямів розвитку теплоенергетичного сектору розширення використання різних видів відновлюваних джерел енергії. Особлива увага приділяється їх інтеграції в системи комунального теплопостачання, що дозволяє одночасно скоротити використання викопних видів палива, скоротити викиди парникових газів та підвищити енергетичну незалежність країни [7].

Ефективним шляхом вирішення зазначених завдань є комплексна модернізація існуючих систем теплопостачання та реалізація нових енергозабезпечувальних систем із комбінованим впровадженням різних видів джерел теплоти, в тому числі, із використанням ВДЕ та застосуванням акумулювання теплової енергії. При цьому необхідно враховувати нерівномірність теплового навантаження, яка визначається як внутрішніми чинниками (режимами експлуатації будівель), так і зовнішніми (сезонними, тижневими та добовими коливаннями споживання теплоти).

Реалізація державних програм модернізації систем теплопостачання значною мірою ґрунтується на європейському досвіді розвитку енергоефективних технологій. Одним із ключових напрямів таких програм є впровадження низьковуглецевих та відновлюваних джерел теплової енергії, а також використання систем акумулювання теплоти для компенсації нерівномірності теплового навантаження та підвищення ефективності функціонування енергетичних систем [8].

Результати досліджень вітчизняних і зарубіжних енергетичних та аудиторських організацій свідчать про значний потенціал скорочення споживання первинних енергоресурсів шляхом впровадження сучасних енергоефективних технологій із використанням ВДЕ. Застосування систем акумулювання теплоти додатково сприяє вирівнюванню графіків навантаження енергетичних систем та підвищенню ефективності їх експлуатації. Окремо слід відзначити суттєвий потенціал зменшення споживання первинних енергоресурсів та підвищення загального рівня енергоефективності в секторі комунального господарства за рахунок удосконалення теплопостачання будівель різного типу призначення з урахуванням режимів їх експлуатації.

Таким чином, сучасний розвиток енергоефективних систем теплопостачання потребує комплексного підходу до аналізу функціонування будівель різного призначення, особливостей роботи інженерних систем забезпечення мікроклімату та впливу зовнішніх кліматичних чинників. Особливої уваги потребують питання впровадження різних видів ВДЕ та систем акумулювання теплоти в існуючі схеми теплопостачання, що є одним із ключових напрямів підвищення енергетичної, економічної та екологічної ефективності комунального господарства України.

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); НДР № 266-41 за темою "Підвищення надійності систем теплопостачання об'єктів критичної інфраструктури." (№ 0125U003952).

Мета й завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності роботи комбінованих систем теплопостачання для будівель комунального господарства з використанням відновлювальних джерел енергії та урахуванням режимів експлуатації теоретичним та експериментальним шляхом.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

– провести аналіз сучасних тенденцій щодо підвищення ефективності роботи систем теплопостачання як в Україні, так і в ЄС, а також шляхів реалізації удосконалення режимів роботи основних видів теплоспоживання в залежності від функціонального призначення будівель;

– провести аналіз режимів роботи систем теплопостачання для будинків різного типу призначення з урахуванням режимів їх експлуатації, визначити підходи щодо оцінки ефективності використання джерел теплоти на основі отриманих результатів;

– провести чисельне моделювання для окремого об'єкта комунального господарства з урахуванням режимів роботи основних споживачів теплоти в залежності від внутрішніх та зовнішніх кліматичних чинників;

– визначити ефективність та надійність роботи комбінованої системи теплопостачання з використанням відновлювальних джерел енергії на основі теоретичних та експериментальних досліджень на пілотному об'єкті.

Об'єкт дослідження – комбіновані системи теплопостачання об'єктів комунального господарства із застосуванням відновлювальних джерел енергії.

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

Методи дослідження. Проведення досліджень базувалось на теоретичних методах, статистичних та експериментальних даних з подальшим використанням відомих методів обробки отриманих результатів із застосуванням програмних комплексів, як інструментарії для підвищення ефективності роботи систем теплопостачання із адаптацією до режимів експлуатації будинків та удосконалення графіків споживання теплоти.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Отримав подальший розвиток підхід до зниження пікових навантажень джерела теплопостачання на основі аналізу статистичних даних та визначених на їх основі режимів теплоспоживання будівель різного призначення з використанням акумуляції тепла.

2. Вперше запропоновано коефіцієнти використання максимальної потужності джерела теплоти та середньодобові коефіцієнти використання максимальної потужності джерела теплоти для визначення потенціалу зменшення максимального теплового навантаження та акумуляції теплоти.

3. Подальшого розвитку набув метод моделювання переривчастого теплопостачання для будівлі громадського призначення з нерегулярним графіком споживання теплоти впродовж доби.

4. Подальшого розвитку отримав метод дослідження ефективності роботи комбінованої системи теплопостачання з використанням теплових насосів та геліосистем на пілотному об'єкті житлово-комунального сектору, з урахуванням надійності роботи системи в цілому.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження дають змогу підвищити енергоефективність будівель різного типу призначення за рахунок впровадження відновлювальних джерел енергії та адаптації роботи внутрішніх інженерних систем забезпечення мікроклімату до режимів роботи абонентів теплоти та зовнішніх кліматичних чинників.

Основні положення дисертаційного дослідження впроваджено:

– у ТОВ «Технології комфорту плюс». Результати дослідження дозволили враховувати режими експлуатації будівлі громадського призначення під час розрахунку та підборі елементів теплонасосної системи теплозабезпечення об'єкта.

– у ТОВ "Енерготрейд Юг ". Результати дослідження дозволили оптимізувати теплову потужність та кількість теплових насосів в структурі теплозабезпечення типових індивідуальних житлових будинків при проєктуванні комбінованої системи теплопостачання.

– в навчальний процес підготовки здобувачів першого рівня вищої освіти (бакалавр) за освітньо-професійною програмою «Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження» спеціальність – «Теплоенергетика» на кафедрі теплових електростанцій та енергозберігаючих технологій Національного університету «Одеська політехніка» в курсах: «Теплопостачання підприємств», «Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря на підприємствах».

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, які викладені в дисертаційній роботі автором, отримано самостійно. Автором виконано наукові дослідження режимів теплоспоживання для двох характерних будівель житлово-комунального сектору, запропоновано методи підвищення ефективності використання теплоти від джерел енергопостачання за рахунок застосуванні акумуляторів теплоти та раціонального вибору їх об'єму (на основі аналізу роботи системи тепlopостачання протягом доби та опалювального періоду загалом).

У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: аналіз режимів роботи різних типів котлів, сонячних колекторів, різних видів теплових насосів у комбінованих системах тепlopостачання будівель громадського призначення [1]; на основі отриманих даних випробування теплових насосів на реальних об'єктах розраховано значення коефіцієнту трансформації теплоти та побудовано графіки зміни вказаного коефіцієнту протягом року для різних типів теплових насосів [2]; проведено математичне моделювання видобутку теплоти різними видами сонячних систем, побудовано відповідні графіки видобутку теплоти та аналіз отриманих результатів [3]; запропоновано використання акумуляторів теплоти здатних зменшити максимальне розрахункове теплове навантаження теплових насосів та загалом вирівняти режими роботи системи тепlopостачання, а також проведено моделювання нових режимів роботи джерела теплоти [4]; для кожного із видів теплового навантаження проведено аналіз впливу режимів експлуатації торгівельно-розважального комплексу на загальне навантаження, на основі отриманих даних проведено дослідження щодо зменшення розрахункових загальних потужностей системи комбінованого тепlopостачання за видами теплоспоживання [5]; проведення аналізу графічних залежностей ймовірності відмов основних джерел теплової енергії при зміні структури генераторів теплозабезпечення [6]; проведено моделювання переривчастого режиму тепlopостачання будівлі громадського призначення та аналіз отриманих результатів [7]; опрацювання отриманих результатів щодо тепловиділення досліджених елементів та розшифрування термограм [8]; аналіз результатів моделювання роботи геліосистеми розташованої на даху медичного корпусу [9]; аналіз сучасних тенденцій щодо мо-

дернізації існуючих систем забезпечення клімату [10]; аналіз ефективності роботи основних елементів комбінованих систем теплопостачання [11]; визначення основних показників теплоізоляційних матеріалів огорожувальних конструкцій [12]; аналіз існуючих вимог до формування мікроклімату у спортивних закладах [13].

Апробація результатів роботи.

Результати проведеного дисертаційного дослідження були представлені та обговорені на наступних конференціях: III International Scientific and Technical Conference “MODERN TECHNOLOGIES OF BIOMEDICAL ENGINEERING” May 08-10, 2024, Odesa, Ukraine; International Scientific and Practical Conference Stockholm, Sweden November 21-24, 2023 p.; XXIV International Scientific and Practical Conference Varna, Bulgaria June 20 – 23, 2023 p.; III International Scientific and Practical Conference. Kyiv, Ukraine 7-9 April 2025; I International Scientific and Practical Conference Lviv, Ukraine 20-22 January 2026.

Публікації. Результати наукових досліджень представлено в 13 друкованих працях, з яких 8 – у фахових виданнях, а також 5 – тез міжнародних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, основного змісту, що включає в себе 4 розділи, висновків, списку використаної літератури з 121 найменування та додатків А, Б, В, Г, Д. Загальний обсяг роботи становить 148 сторінки (з них 156– основного тексту). В роботу входять також 66 рисунків і 11 таблиць.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ТЕПЛОПОСТАЧАННІ ОБ'ЄКТІВ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

1.1 Сучасні тенденції щодо енергоефективності в житлово-комунальному секторі

Питання підвищення енергоефективності використання первинних енергоресурсів упродовж останніх років набуває особливої актуальності як у країнах Європейського Союзу, так і в Україні [9]. Зростання вартості енергоресурсів, посилення вимог до екологічної безпеки, необхідність скорочення викидів парникових газів, а також підвищення рівня енергетичної незалежності держав зумовлюють активізацію наукових досліджень і практичних розробок у сфері раціонального використання енергетичних ресурсів.

Значна кількість сучасних наукових праць присвячена дослідженню проблематики енергоефективності в комунальному секторі. До основних напрямів вирішення актуальних викликів у сфері енергозабезпечення належать:

- аналіз причин неефективного використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні [10] та розроблення нових механізмів стимулювання енергозбереження [2];
- обґрунтування доцільності впровадження інноваційних інструментів підвищення ефективності управління енергетичною системою України [11];
- дослідження впливу глобальних економічних криз на енергетичний сектор та визначення ролі енергетичної безпеки у процесах післявоєнного відновлення України [12];
- вирішення питань енергетичної незалежності та забезпечення екологічної безпеки держави [13];

- фінансування проєктів у сфері відновлюваної енергетики [14] як одного з ключових інструментів декарбонізації економіки та виконання міжнародних кліматичних зобов'язань [15];

- формування ефективних механізмів реалізації політики енергоефективності в країнах Європи [16].

Аналіз діючих інструментів, політик Європейського Союзу у сфері енергоефективності свідчить про формування комплексної багаторівневої стратегії, спрямованої на досягнення максимального зниження впливу на навколишнє середовище до 2050 року [17]. Одним із ключових нормативно-правових документів у цій сфері є Директива ЄС 2023/1791 про енергоефективність, яка встановлює обов'язкові вимоги для держав-членів щодо розроблення національних планів з підвищення енергоефективності та скорочення енергоспоживання кожного року [18].

Зазначена директива спрямована на стимулювання модернізації енергоспоживання в різних секторах економіки, зокрема у промисловості, транспорті, житлово-комунальному господарстві та будівництві [7].

Стратегічні цілі Європейського Союзу до 2030 року передбачають зменшення загального споживання енергії на 11,7%. Досягнення цих показників забезпечується шляхом структурних реформ енергетичного сектору, стимулювання інвестицій у відновлювані джерела енергії, підвищення рівня електрифікації та впровадження енергоощадних технологій в усіх галузях економіки.

Європейська Комісія також запропонувала сценарії прогнозування траєкторій зміни цін на енергоресурси з метою оцінювання впливу високих цін на функціонування енергетичної системи ЄС [19]. Зростання цін на паливо у короткостроковій перспективі сприяє скороченню енергоспоживання, а в середньо- та довгостроковому періодах стимулює інвестиції в енергоефективні технології за рахунок зменшення терміну окупності відповідних проєктів.

У межах сценарних прогнозів передбачається суттєве зростання вартості природного газу порівняно з попередніми оцінками, використаними у пакетах енергетичного планування до 2030 року [20]. Це формує необхідність прискорен-

ня заходів із диверсифікації джерел енергії, підвищення рівня енергоефективності та зниження залежності від імпортованого викопного палива.

У 2021 році в межах реалізації положень Європейської зеленої угоди було визначено стратегічні цілі сталого розвитку до 2030 року, серед яких особливе значення мають [21]:

- забезпечення для всіх громадян рівного доступу до джерел енергії;
- зниження рівня енергетичної бідності;
- підвищення енергоефективності шляхом скорочення енергоспоживання;
- розвиток зеленої енергетики та впровадження екологічно чистих технологій.

У рамках досягнення зазначених цілей Європейська Комісія запропонувала додаткове підвищення цільового показника енергоефективності до скорочення споживання первинної та кінцевої енергії до 2030 року порівняно з базовим сценарієм 2020 року [22].

Реалізація таких заходів забезпечує низку стратегічних переваг:

- зменшення споживання вуглецевих палив;
- підвищення енергонезалежності;
- скорочення обсягів забруднення атмосферного повітря;
- зменшення темпів виснаження природних ресурсів.

Таким чином, підвищення енергоефективності є важливим інструментом для досягнення екологічних і економічних цілей ЄС та України. Адже, в 2019 р. ЄС та Україна почали реалізовувати «Європейську Зелену угоду», метою якої є перехід до вуглецево-нейтральної моделі розвитку національної економіки та підвищення її енергоефективності [23].

Аналіз динаміки енергоспоживання показує, що скорочення первинного споживання енергії відбувається повільніше, ніж зниження кінцевого споживання. Це пояснюється, зокрема, високими цінами на енергоносії, що в окремих випадках стимулюють використання менш ефективних технологій виробництва електроенергії.

Додатковим стримуючим фактором є недостатньо швидке впровадження водневих технологій та відновлюваних видів палива небіологічного походження, що обмежує темпи відмови від викопних ресурсів.

Досягнення цільових показників кінцевого енергоспоживання забезпечується комплексними заходами в усіх секторах економіки: промислового, транспортного, житлового, та секторі послуг (рис. 1.1).

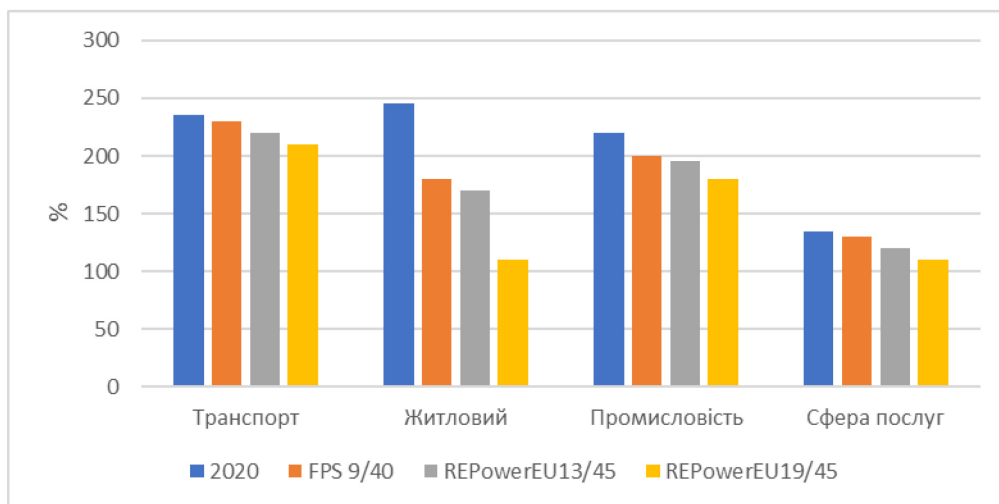


Рисунок 1.1 – Споживання енергії по секторах в 2030 році. [19, 20, 22, 24]

Найбільше скорочення кінцевого споживання енергії прогнозується у житловому секторі порівняно з історичними показниками 2020 року. Така тенденція пояснюється зростанням темпів термомодернізації будівель, підвищенням рівня електрифікації систем опалення, гарячого водопостачання та приготування їжі.

Аналіз структури кінцевого енергоспоживання за видами палива (рис. 1.2) демонструє поступове зменшення використання викопного палива, насамперед природного газу, а також збільшення частки електроенергії, відновлюваних джерел енергії та водню.

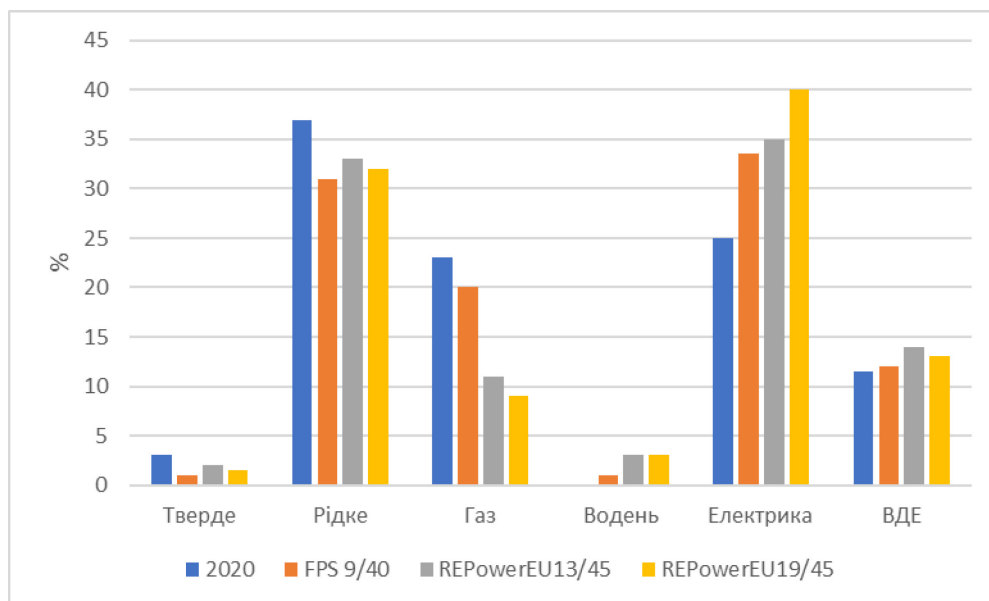


Рисунок 1.2 – Споживання енергії за видами палива в 2030 році. [19, 20, 22, 24].

Процеси електрифікації продовжують посилюватися, в той же час частка відновлюваної енергії в структурі виробництва електроенергії зростає. Найбільший внесок у структуру генерації здійснює вітрова енергетика.

Водночас використання біомаси скорочується повільніше, ніж загальне кінцеве споживання енергії, що зумовлює незначне зростання її відносної частки в енергобалансі. Аналогічна тенденція спостерігається для нафти та нафтопродуктів.

За всіма розглянутими сценаріями до 2030 року прогнозується суттєве скорочення споживання всіх видів викопного палива порівняно з 2020 роком.

Відповідно до сценаріїв REPowerEU прогнозується [25]:

– за сценарієм REPowerEU 13/45 скорочення споживання природного газу на 47 %, при одночасному зростанні використання вугілля на 30 % та нафтопродуктів на 3 %;

– за сценарієм REPowerEU 19/45 зменшення споживання природного газу на 59 %, скорочення використання вугілля на 10 % та нафтопродуктів на 7 %.

Ці показники свідчать про загальну тенденцію до зниження споживання первинної енергії та поступовий перехід до низьковуглецевої моделі розвитку.

Відновлювана енергетика є стратегічно важливою сферою господарювання, науки та техніки, що охоплює процеси виробництва, передачі, перетворення, накопичення та споживання електричної, теплової й механічної енергії з використанням відновлюваних джерел енергії.

Для України зростання частки ВДЕ в загальному енергетичному балансі є одним із пріоритетних напрямів забезпечення енергетичної та екологічної безпеки держави [26, 27].

Основними передумовами розвитку ВДЕ в Україні є:

- значний ресурсний потенціал відновлюваних джерел енергії [28];
- сформована нормативно-правова база;
- державна підтримка галузі;
- наявність науково-технічного потенціалу;
- зацікавленість вітчизняних та міжнародних інвесторів [12].

Останніми роками в Україні ухвалено низку стратегічних документів, що визначають напрями розвитку енергетичного сектору відповідно до євроінтеграційного курсу держави. Так в свій час Кабінетом Міністрів України було затверджено Енергетичну стратегію України до 2050 року [29, 30].

Відповідно до Національного плану дій з розвитку ВДЕ до 2030 року, використання відновлюваних джерел енергії визначено одним із ключових напрямів державної енергетичної політики, спрямованої на скорочення споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів, покращення екологічного стану довкілля, а також зміцнення енергетичної незалежності та безпеки України [8, 31].

1.2 Теплопостачання об'єктів комунального сектору: сучасний стан та перспективи розвитку

Одним із ключових напрямів реалізації стратегій підвищення енергоефективності систем теплопостачання комунального та житлового секторів є модернізація існуючих систем теплозабезпечення та впровадження нових технічних рішень,

орієнтованих на зниження енергоспоживання, підвищення надійності функціонування та покращення якості надання послуг [16].

Теплопостачання є невід'ємною складовою функціонування об'єктів комунального сектору, забезпечуючи належні умови проживання населення, організацію виробничих процесів, а також надання соціальних, адміністративних та комунальних послуг [32]. Стан теплозабезпечуючих систем та рівень їхньої технологічної досконалості безпосередньо впливають на якість життя населення, економічну ефективність роботи підприємств та рівень енергетичної безпеки держави [33].

Незважаючи на збереження традиційних систем теплопостачання за обсягами використання, їх технічні можливості та якість обслуговування споживачів у багатьох випадках не відповідають сучасним вимогам [34]. Водночас стандарти щодо енергоефективності, екологічності, надійності та комфорту безперервно зростають і поступово наближаються до вимог країн Європейського Союзу.

Посилення невідповідності між сучасними вимогами до систем теплозабезпечення та технічними можливостями існуючої інфраструктури зумовлює необхідність комплексного вдосконалення систем теплопостачання на всіх рівнях їх функціонування [35].

Процес модернізації систем теплопостачання повинен відповідати низці базових вимог [36]:

- забезпечення раціонального та ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів;
- підвищення надійності функціонування систем;
- покращення якості теплопостачання споживачів;
- забезпечення гнучкості роботи при зміні режимів експлуатації;
- скорочення тривалості ремонтних робіт та спрощення процесів модернізації.

Одним із перспективних напрямів вирішення зазначених завдань є створення локальних систем централізованого теплопостачання малої та середньої по-

тужності з використанням окремих елементів існуючої інфраструктури централізованого теплопостачання [37].

Локальні системи централізованого теплопостачання (ЛСЦТ) забезпечують можливість адаптації режимів теплозабезпечення до особливостей функціонування конкретних будівель, а також створюють сприятливі умови для інтеграції відновлюваних джерел енергії, теплових насосів, сонячних колекторів, акумуляторів теплоти та когенераційних установок.

Модернізація існуючих систем теплозабезпечення та реалізація нових проєктів локальних систем теплопостачання мають значний потенціал розвитку в умовах ринкової економіки та доступу до міжнародних фінансових інструментів, грантових програм і програм технічної допомоги [38].

Зазначені підходи є актуальними як для великих міст, так і для малих населених пунктів, селищ та сільських територій. Винятком можуть бути лише нові житлові комплекси, у яких передбачено децентралізовані системи теплопостачання на базі відновлюваних джерел енергії та автономних теплогенеруючих установок [39].

Залежно від рівня централізації системи теплозабезпечення прийнято поділяти на [40]:

- централізовані системи міського рівня;
- централізовані системи районного рівня;
- децентралізовані системи;
- індивідуальні системи теплопостачання.

Незважаючи на єдину функціональну мету – забезпечення споживачів тепловою енергією – кожен із зазначених типів систем характеризується специфічними технічними, економічними та експлуатаційними особливостями, що визначають доцільність їх застосування залежно від умов експлуатації [41].

У результаті тривалих досліджень та практичного досвіду експлуатації сформувався обґрунтоване бачення доцільності розвитку систем теплозабезпечення середньої та малої потужності, орієнтованих на обслуговування мікрорайонів, груп будівель або окремих споруд.

Такі системи залишаються різновидом централізованого теплопостачання, оскільки джерелами теплоти можуть бути районні котельні або теплоелектроцентралі, а розподіл теплоти здійснюється через локальні теплові пункти, розташовані в окремих будівлях або їхніх групах [42].

Особливий інтерес до локальних систем централізованого теплопостачання в Україні пояснюється можливістю поєднання переваг централізованих та індивідуальних систем теплозабезпечення. При цьому необхідно:

1) зберегти в них переваги систем централізованого ТЗ:

- зосередженість джерел теплоти;
- підвищену надійність енергозабезпечення за рахунок встановлення додаткових електрогенеруючих агрегатів;
- можливість модернізації джерела теплоти;
- наявність розвинених теплових мереж;

2) надати ЛЦСТ позитивні риси, властиві індивідуальним засобам ТЗ:

- незалежність від стороннього джерела теплоти;
- доступність керування режимами роботи системи ТЗ з урахуванням режимів експлуатації будівель;
- автономність у графіку роботи системи та графіку її відключення для ремонтного обслуговування;
- економія коштів на систему;
- високий ступінь відповідальності та зацікавленості власника будівлі у підтриманні високої технологічної ефективності системи ТЗ.

Аналіз показує, що успішне поєднання зазначених характеристик дозволяє створити високоефективні системи теплозабезпечення, адаптовані до сучасних умов функціонування комунального сектору.

Локальні системи централізованого теплопостачання характеризуються спрощеною структурою, меншою довжиною теплових мереж, нижчими втратами теплоти та вищою гнучкістю управління.

Мала протяжність теплотрас дозволяє більш ефективно реалізовувати як якісне, так і кількісне регулювання теплової потужності, зменшуючи інерційність системи та підвищуючи точність підтримання заданих параметрів.

У локальних системах також доцільним є використання відносно простих та економічно доступних автоматизованих систем керування, що забезпечують високий рівень контролю та оптимізації режимів роботи.

Практичний досвід експлуатації ЛСЦТ свідчить, що управління режимами роботи в таких системах може здійснюватися оперативніше з вищою якістю та меншими питомими експлуатаційними витратами порівняно з великими централізованими системами.

Важливим елементом функціонування локальних систем є впровадження автоматизованих систем диспетчеризації, які дозволяють здійснювати:

- моніторинг режимів роботи обладнання;
- технологічний контроль;
- технічну діагностику;
- аварійну сигналізацію;
- автоматичне регулювання параметрів роботи.

Інтеграція зазначених функцій забезпечує принципово новий рівень управління системами теплопостачання, який у більшості випадків складно реалізувати в межах великих традиційних систем.

Додатково важливими залишаються питання підвищення надійності локальних систем, резервування джерел теплоти, а також організації аварійних зв'язків між сусідніми системами.

Перехід від традиційних великих систем централізованого теплопостачання до локальних систем дозволяє суттєво знизити аварійність, підвищити оперативність локалізації пошкоджень та скоротити час ліквідації аварійних ситуацій.

У випадку аварійного відключення невеликої локальної системи негативний вплив обмежується окремим об'єктом або невеликою групою будівель, що значно спрощує технічне обслуговування та підвищує загальну надійність функціонування системи.

Таким чином, розвиток локальних систем централізованого теплопостачання є перспективним напрямом модернізації комунального сектору України, що дозволяє забезпечити підвищення енергоефективності, надійності, екологічності та адаптивності систем теплозабезпечення в сучасних умовах.

1.3 Особливості теплопостачання різних типів будівель комунального господарства

Як уже зазначалося, енергоефективність відіграє надзвичайно важливу роль у державній політиці в контексті сталого розвитку. Вказане насамперед стосується комунального сектору економіки [43]. В першу чергу слід звернути увагу на будівлі громадського призначення із змінним режимом експлуатації протягом доби та тижня, в яких здатність точно регулювати споживання енергії є має надзвичайно важливе значення [44]. За таких умов можливість точного регулювання споживання енергетичних ресурсів набуває особливого значення, оскільки дозволяє оптимізувати використання енергії та підвищити ефективність управління ресурсами. Відомо, що на будівельний сектор припадає понад 30 % загального світового первинного енергоспоживання [45].

Одним із визначальних чинників формування енергоспоживання будівель є режими перебування людей, які разом із конструктивними, кліматичними та експлуатаційними параметрами впливають на рівень споживання енергії [46]. Дослідження цих закономірностей є основою для розробки прогнозних моделей теплоспоживання та оцінки потенціалу підвищення енергоефективності.

На сьогодні застосовуються дві основні методології оцінювання енергоспоживання будівель: фізичне моделювання та моделювання на основі статистичних даних [47]. Фізичний підхід передбачає детальний опис усіх параметрів інженерних систем та конструктивних характеристик будівлі, що ускладнює його масштабування та практичне впровадження. Натомість статистичні методи є менш ресурсоємними та більш придатними для аналізу великих масивів даних, хоча потребують наявності достовірної інформаційної бази.

Особливої актуальності набувають дослідження енергоспоживання в умовах помірною клімату, оскільки значна частина населення світу проживає саме в таких кліматичних зонах. Аналіз енергетичних характеристик будівель у цих умовах дозволяє врахувати вплив температурних коливань, сезонності та режимів експлуатації на потреби у тепловій енергії [48].

Комплексний аналіз споживання енергії передбачає врахування таких параметрів [49], як витрати електричної енергії, теплоти та води, а також зовнішніх чинників: кліматичних умов, графіків роботи, функціонального призначення будівель і характеристик інженерних систем. Це дає змогу встановити закономірності зміни навантажень, визначити сезонні коливання та обґрунтувати вибір ключових параметрів прогнозних моделей.

Для оцінювання рівня енергоспоживання доцільно використовувати бази даних [50], що охоплюють різні типи будівель: заклади громадського харчування, медичні установи, готелі, житлові будинки, адміністративні та офісні будівлі, навчальні заклади, магазини й торговельно-розважальні комплекси. Як показник питомого енергоспоживання зазвичай застосовують значення кВт·год на одиницю площі.

Проведений аналіз свідчить про наявність суттєвих відмінностей у структурі та величині споживання енергії залежно від функціонального призначення будівлі.

Для адміністративних та офісних будівель характерними є значні коливання питомого споживання енергії залежно від масштабу об'єкта [51]. Великі офісні комплекси, як правило, характеризуються вищим рівнем питомого споживання енергії порівняно із середніми та малими будівлями, що пояснюється більшою площею, вищою щільністю персоналу та складністю інженерних систем.

Медичні заклади демонструють високі показники енергоспоживання, особливо лікарні стаціонарного типу [52]. Це зумовлено цілодобовим режимом функціонування, значним навантаженням на системи вентиляції, опалення, гарячого водопостачання та медичне обладнання. Амбулаторні установи мають нижчі показники через обмежений графік роботи.

Навчальні заклади характеризуються диференційованим споживанням енергії залежно від типу [53, 54]. Заклади вищої освіти та середні школи мають вищі показники енергоспоживання порівняно з дитячими садками та початковими школами, що пов'язано з більшими площами, наявністю спеціалізованих приміщень та більш тривалим режимом використання.

Порівняння споживання енергії для торгівельно-розважальних комплексів та магазинів виявляє контрастні моделі споживання енергії, на які впливають спільні та індивідуальні енергетичні системи [55]. ТРК та магазини можуть мати менші значення питомого споживання енергії порівняно з окремими торговими будівлями завдяки спільним енергетичним системам, освітленню загальних приміщень та централізованим системам опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, однак з іншого боку, розвинена інфраструктура може впливати на збільшення вказаного споживання енергоресурсів. Навпаки, окремі торговельні будівлі зазвичай можуть мати вищі значення питомого споживання енергії, оскільки вони працюють незалежно з окремими системами опалення, вентиляції та гарячого водопостачання та керуванням освітленням відповідно до їхніх конкретних потреб [56]. Окремі роздрібні заклади зазвичай демонструють дещо вищу середню питому споживання енергії порівняно з роздрібними торговими центрами, приблизно на 5,0%. Навіть коли значення споживання енергії не показують суттєвої різниці в значеннях питомого споживання, закономірності залишаються чіткими.

Житлові будинки, гуртожитки відрізняються рівномірним споживанням теплоти впродовж доби та тижня, з невеликим піком у вихідні дні [57, 58]. Відсутність систем вентиляції з примусовою циркуляцією зменшує питоме споживання енергії. Однак нерівномірний графік перебування мешканців у будинку в робочі години у будні дні та невизначна наявність кількості мешканців в цей період ускладнюють заходи щодо підвищення енергоефективності за рахунок режимів експлуатації.

Загалом аналіз показує, що ключовими факторами формування енергоспоживання є функціональне призначення будівлі, її площа, режими експлуатації та рівень оснащення інженерними системами. Будівлі з безперервним циклом робо-

ти, зокрема лікарні, готелі та житлові будинки, характеризуються найвищими показниками споживання енергії та потребують впровадження спеціалізованих заходів з підвищення енергоефективності.

До основних параметрів, які необхідно враховувати під час моделювання енергоспоживання, належать:

- функціональне призначення будівлі;
- геометричні характеристики та площа;
- кліматичні умови розташування;
- архівні дані споживання енергії;
- характеристики систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання;
- рівень термомодернізації;
- режими роботи об'єкта;
- конструктивні характеристики зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Таким чином, встановлено наявність чіткої залежності між функціональними характеристиками будівлі, режимами її експлуатації, рівнем термомодернізації та рівнем споживання енергетичних ресурсів [59]. Отримані результати підтверджують необхідність застосування індивідуалізованих підходів до модернізації систем теплопостачання залежно від типу об'єкта.

1.4 Основні споживачі теплоти в об'єктах комунального господарства

Ефективність функціонування локальних систем централізованого теплопостачання значною мірою визначається режимами роботи основних споживачів теплової енергії [60].

Для житлових будівель та малих громадських споруд основними споживачами теплоти є [61]:

- системи опалення;
- системи гарячого водопостачання.

Для більшості будівель громадського призначення структура теплоспоживання є більш складною та включає:

- системи опалення;
- системи тепlopостачання вентиляції;
- системи гарячого водopостачання;
- технологічні споживачі теплоти.

1.4.1 Системи опалення

Сучасні системи опалення характеризуються широким спектром технічних рішень і можуть класифікуватися:

- за видом джерела енергії: газові, твердопаливні, електричні, теплові насоси;
- за способом передачі теплоти: конвективні, радіаційні, повітряні;
- за схемою водяних систем: однотрубні, двотрубні, променеві;
- за видом опалювальних елементів: конвектори, радіатори, фанкойли, тепла підлога, радіаційні панелі, тепловентилятори.

Важливими характеристиками систем опалення при не різних режимах роботи вважається інерційність та максимальна потужність джерела теплоти.

За вказаними характеристиками доцільно провести аналіз роботи систем опалення різних видів опалювальних елементів.

Для житлових будівель, гуртожитків, медичних закладів із стаціонарним лікуванням важливою характеристикою систем опалення є підтримання практично постійної температури в приміщеннях. Для більшості споруд громадського призначення, в яких реалізується змінний режим експлуатації опалювальних систем, важливу роль відіграє швидке досягнення робочого режиму температури всередині приміщень. Тобто інерційність систем повинна бути меншою.

Найменшу інерційність мають повітряні системи опалення та кондиціонування, однак їх застосування потребує значних обсягів повітропроводів. Найбільш універсальними залишаються водяні системи опалення, що забезпечують широкий діапазон регулювання та сумісність із різними джерелами теплоти.

Системи «тепла підлога» та «тепла стіна» забезпечують високий рівень теплового комфорту, однак характеризуються значною інерційністю, що обмежує їх використання у будівлях зі змінним режимом роботи.

Важливим фактором підвищення ефективності систем опалення є можливість автоматизованого зонального регулювання температури. Найбільш придатними для цього є системи з променевим розподілом теплоносія.

1.4.2 Системи приготування гарячої води

Системи приготування гарячої води можуть реалізовуватись за такими схемами:

- одноступеневі проточні;
- двоступеневі проточні;
- із застосуванням водонагрівачів-акумуляторів;
- із використанням баків-акумуляторів.

Проточні схеми є простими, однак потребують значної встановленої потужності джерела теплоти через нерівномірність добового споживання гарячої води.

Більш ефективними є двоступеневі системи, що дозволяють використовувати низькопотенційні джерела теплоти, зокрема скидне тепло.

Застосування водонагрівачів-акумуляторів дозволяє знизити пікові навантаження на джерело теплоти та забезпечити більш рівномірний режим його роботи. Особливо ефективними такі рішення є при інтеграції відновлюваних джерел енергії, зокрема теплових насосів і сонячних колекторів.

1.4.3 Системи вентиляції

Для систем вентиляції з механічним спонуканням обов'язковим є підігрів припливного повітря, що формує додаткове теплове навантаження.

Системи вентиляції класифікуються:

- за масштабом застосування: локальні, групові, центральні;
- за типом теплоносія: водяні, електричні, газові, фреонові;
- за способом утилізації теплоти: роторні утилізатори, рекуператори, проміжні теплообмінники.

Центральні вентиляційні системи, як правило, поєднують у собі функції вентиляції та кондиціонування і використовуються в будівлях громадського призначення. Їх режим роботи зазвичай передбачає робочий і черговий періоди, що дозволяє оптимізувати теплоспоживання.

1.5 Основні фактори, що впливають на потужність систем теплопостачання

Рівень споживання теплової енергії в комунальному секторі характеризується вираженою нерівномірністю як упродовж опалювального сезону, так і в межах добових і тижневих циклів. Формування теплового навантаження залежить від комплексу зовнішніх і внутрішніх чинників, що визначають режим функціонування систем теплозабезпечення. До основних факторів, які впливають на величину та зміну теплового навантаження, належать:

- кліматичні умови зовнішнього середовища (температура зовнішнього повітря, абсолютна та відносна вологість);
- функціональне призначення будівлі;
- режими експлуатації об'єкта;
- тип і конструктивні особливості інженерних систем;
- види та режими роботи джерел теплоти;
- рівень термомодернізації будівлі та її теплоакумулювальні властивості.

Одним із ключових зовнішніх факторів, що визначає величину теплового навантаження, є температура зовнішнього повітря. Саме цей параметр використовується як базовий при розрахунку систем опалення, вентиляції та кондиціонування. Залежно від типу будівлі та призначення системи застосовують різні розрахункові температурні параметри зовнішнього повітря, зокрема:

- середню температуру найбільш холодних 30 діб (параметр А);
- середню температуру найбільш холодних 5 діб (параметр Б);
- температуру найбільш холодної доби (параметр В).

Вибір розрахункового параметра визначається нормативними вимогами та функціональним призначенням об'єкта. Наприклад, для житлових будівель при визначенні теплового навантаження систем опалення зазвичай використовують температуру зовнішнього повітря за параметром Б. Для розрахунку систем вентиляції торговельно-розважальних комплексів приймають параметр А, тоді як для

об'єктів із підвищеними вимогами до мікроклімату, зокрема пологових будинків, застосовується параметр В.

Температура зовнішнього повітря змінюється не лише впродовж року, а й у межах добового циклу. Добова динаміка температури характеризується мінімальними значеннями у передранкові години, безпосередньо перед сходом сонця. Після сходу сонця температура починає зростати, досягаючи максимуму орієнтовно о 14 – 15 годині, після чого поступово знижується. Амплітуда добових температурних коливань залежить від географічного положення, пори року, характеру підстильної поверхні та метеорологічних умов. Зокрема, над водною поверхнею добові температурні коливання зазвичай на 2 – 3 °С менші, ніж над суходолом.

Зміна температури зовнішнього повітря по різному впливає на окремі системи теплоспоживання будівель. Найбільш чутливими до зовнішніх температурних коливань є системи вентиляції, оскільки необхідність нагрівання припливного повітря безпосередньо залежить від поточної температури зовнішнього середовища. Відповідно, зміна температури майже миттєво впливає на теплове навантаження калориферів та вентиляційних установок.

Системи опалення характеризуються значно більшою інерційністю. Реакція на зміну температури зовнішнього повітря залежить від теплоакумуючої здатності огорожувальних конструкцій, масивності будівлі, рівня теплоізоляції та типу системи регулювання. Для масивних енергоефективних будівель із високими показниками термічного опору огорожувальних конструкцій і незначною площею скління зміна температури зовнішнього повітря на 5 °С може суттєво позначитися на внутрішньому тепловому балансі лише через 12 – 24 години. Натомість для адміністративних та офісних будівель із фасадним склінням і малою тепловою інерцією аналогічна зміна температури впливає на тепловий режим уже через кілька годин.

Найменш залежними від температури зовнішнього повітря є системи гарячого водопостачання та технологічні споживачі теплоти. Для розрахунку теплового навантаження систем гарячого водопостачання зазвичай використовують два нормативні значення температури холодної води:

- для холодного періоду року;
- для теплого періоду року.

Технологічні процеси, що потребують теплоти, здебільшого орієнтовані на підтримання заданих параметрів теплоносія або температури води, тому їхнє теплове навантаження практично не залежить від короткострокових змін погодних умов.

Таким чином, потужність систем тепlopостачання формується під впливом сукупності зовнішніх кліматичних умов, конструктивних характеристик будівель, режимів експлуатації та особливостей роботи окремих інженерних систем. Урахування зазначених факторів є необхідною передумовою для обґрунтованого вибору теплової потужності джерел теплоти, схемних рішень систем теплозабезпечення та засобів автоматизованого регулювання теплових навантажень.

Локальні та групові системи вентиляції характеризуються меншою потужністю та більш гнучким режимом експлуатації, що дозволяє адаптувати їх до особливостей конкретних приміщень.

Такий підхід до аналізу споживачів теплоти дозволяє обґрунтувати вибір раціональних схем тепlopостачання для будівель різного функціонального призначення та підвищити загальну енергоефективність об'єктів комунального сектору.

1.6 Висновки до розділу 1

1. Сучасні світові тенденції підвищення енергоефективності показують траєкторію розвитку систем енергозабезпечення об'єктів комунального господарства у напрямку скорочення споживання викопного палива та широкого впровадження відновлювальної енергетики у централізовані та локальні системи тепlopостачання.

2. Аналіз стану централізованих систем теплозабезпечення дають змогу оцінити перспективи подальшого розвитку новітніх систем та модернізації існуючих систем тепlopостачання. Одним із напрямків підвищення ефективності робо-

ти систем централізованого теплопостачання є перехід до локальних систем із впровадженням відновлювальних систем. Вказане дає змогу використовувати переваги як центрального теплопостачання (надійність), так і локального на рівні окремого будинку (гнучкість та екологічність)

3. Дослідження особливостей теплопостачання об'єктів комунального господарства різного функціонального призначення дає змогу оцінити режими експлуатації та намітити шляхи підвищення енергоефективності з урахуванням особливостей кожного з представлених типів будівель.

4. Проведений аналіз факторів (внутрішніх та зовнішніх кліматичних), що впливають на основні види теплоспоживання об'єктів комунального господарства, дозволяє з урахуванням режимів експлуатації будівлі виявити потенціал скорочення енергоспоживання системами теплопостачання в цілому.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

2.1 Опис особливостей тепlopостачання об'єктів комунального господарства різного типу призначення

2.1.1 Класифікація будівель комунального господарства за режимами експлуатації

Об'єкти комунального господарства за режимами експлуатації в основному можна поділити на два типи:

- житлові будинки;
- будинки громадського призначення.

До житлових будинків зазвичай відносяться багатоквартирні житлові будинки, індивідуальні житлові будинки, гуртожитки, готелі рангом не більше «три зірки» (готелі рангом «4» та «5 зірок» потребують наявність додаткової інфраструктури та примусової вентиляції номерів) [62].

До будівель громадського призначення відносяться адміністративні будівлі, офісні центри, навчальні заклади (дитячі садки, школи, навчальні корпуси коледжів та університетів), медичні заклади, спортивні заклади та заклади харчування, торговельно - розважальні центри, готельні комплекси 4 та 5 зірок. Кожен із перелічених типів будівель має свої власні режими експлуатації, що, в свою чергу, відображається на режимах роботи систем забезпечення мікроклімату [63]. При цьому є подібні будівлі, тому, в принципі, їх можна поділити на групи за режимами експлуатації:

1. з регулярним режимом експлуатації.
2. з нерегулярним режимом експлуатації.

До групи будівель з регулярним режимом експлуатації можна віднести:

- адміністративні будівлі;
- офісні центри;
- навчальні заклади;

- готелі без додаткової інфраструктури до 3 зірок включно;
- медичні заклади.

Для зазначеної групи будівель характерна двохперіодна зміна режиму експлуатації, тобто протягом робочого періоду кількість людей в будівлі майже не змінюється, внаслідок чого системи теплозабезпечення мають два режими: робочий та черговий із незмінними параметрами протягом даного режиму (залежить лише від зовнішніх кліматичних чинників) [64].

До групи будівель з нерегулярним режимом експлуатації можна віднести:

- заклади харчування;
- спортивні заклади;
- готелі 4 та 5 зірок;
- торговельно-розважальні комплекси.

Вказана група будівель з нерегулярним режимом експлуатації характеризується нерівномірною кількістю людей протягом робочого періоду. При цьому черговий режим експлуатації є рівномірним протягом його тривалості. В залежності від періоду доби та днів тижня кількість відвідувачів змінюється. Кожен тип закладів має свої характерні піки відвідуваності клієнтами, в залежності від днів тижня та особливостей роботи. Так, наприклад, у звичайних кафе пік припадає на обідню перерву, у ресторанів – на вечірній час доби, а торговельно-розважальні комплекси мають два характерні максимуми – під час обідньої перерви та у вечірні години. Вказане пояснюється наявністю як магазинів, так і ресторанів та кінозалів. Готелі 4 та 5 зірок мають внутрішній максимум, який може змінюватись протягом доби: мешканці номерів, а також відвідувачі ресторанів і клубів. Окремо також впливає на режим експлуатації вказаної будівлі наявність конференц-залів, в яких можуть відбуватися різноманітні заходи.

2.1.2 Основні споживачі системи теплопостачання будинків комунального господарства

Для групи будівель з регулярним режимом експлуатації основними споживачами теплозабезпечення є системи опалення та приготування гарячої води, і як

виняток можуть бути системи вентиляції для невеликих приміщень спеціального призначення.

Для групи будівель з нерегулярним режимом експлуатації основними споживачами теплоти є системи опалення, гарячого водопостачання, вентиляції, додатково технологічні потреби, наприклад – тепlopостачання басейнів у спортивних закладах.

Вказані вище споживачі теплоти напряду залежать від кількості відвідувачів та мешканців, а також рівня термомодернізації будівлі [65,66]. Їх кількість впливає на:

- системи опалення – теплонадходження від людей;
- системи гарячого водопостачання – необхідна кількість гарячої води;
- системи вентиляції – необхідна кількість свіжого повітря для відвідувачів.

Вказані фактори впливають на режими експлуатації систем опалення, гарячого водопостачання та вентиляції. Тому є сенс провести дослідження впливу режимів експлуатації будівель на потужність систем тепlopостачання протягом доби та тижня.

Для аналізу ефективності режимів теплоспоживання було обрано два типи будівель з характерними графіками тепlopостачання для своїх груп:

- житловий будинок;
- торгівельно-розважальний комплекс.

2.2 Графіки теплових навантажень будівель різного типу призначення протягом доби та тижня

Теплова потужність систем тепlopостачання об'єкту комунального господарства визначається тепловими навантаженнями споживачів різного виду [67], а саме:

- опалення;
- вентиляція;
- гаряче водопостачання.

Максимальне розрахункове значення кожного із зазначених видів споживачів теплоти залежить від внутрішніх та зовнішніх кліматичних чинників та визначається відповідно до нормативних методик .

В загальному вигляді рівняння теплового балансу відображає значення теплової потужності систем опалення [68]:

$$Q_{оп} = Q_{огор} + Q_{инф} + Q_{ох} - \Sigma Q_{тв}, \quad (2.1)$$

де $Q_{оп}$ – теплота, що подається системою опалення, кВт;

$Q_{огор}$ – тепловтрати теплопередачею через зовнішні огороження, кВт;

$Q_{инф}$ – тепловтрати інфільтрацією через надходження в приміщення холодного повітря в наслідок нещільності зовнішніх огорожень, кВт;

$Q_{ох}$ – витрата теплоти на підігрів холодних предметів, кВт;

$\Sigma Q_{тв}$ – внутрішні тепловиділення в приміщенні, кВт.

Кількість теплоти що надходить в приміщення від людей $Q_{люд}$ (кВт) визначають за формулою:

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

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

n – чисельна максимальна кількість людей, ос.;

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

Витрати теплоти на вентиляцію будівель громадського призначення визначаються окремо за умови наявності в інженерних системах забезпечення клімату зазначених будівель припливної вентиляції з механічним приводом [68].

Розрахунок витрати теплоти на вентиляцію зазвичай визначають за формулою:

$$Q_в = m \cdot V_в \cdot c_в (t_{вн} - t_{зв}), \quad (2.3)$$

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 системи гарячого водопостачання виконується відповідно до чинних норм та правил на основі встановлених норм витрати гарячої води на 1 людину за добу, л/люд. (кг/люд.), а також техніко-економічних показників споруди. Зазвичай визначають витрату гарячої води за секунду, годину максимального споживання та середню за добу. Остання визначається відповідно до чинних нормативних документів. Також при розрахунках враховують тижневу та добову нерівномірність споживання гарячої води.

Секундні витрати гарячої води, що припадають на один прилад, слід визначати за формулою [69]:

$$q_0 = \frac{\sum_1^i N_i P_i q_{0i}}{\sum_1^i N_i P_i}, \quad (2.4)$$

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 будівлях комунального сектору, по яких відсутні дані про витрату 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), визначають за формулою

$$q = 5q_0\alpha, \quad (2.6)$$

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 Житловий будинок

Для дослідження режимів теплопостачання було обрано типовий багатоквартирний житловий будинок в м. Одеса з наступними характеристиками:

- кількість поверхів – 16;
- кількість квартир на поверсі – 8;
- кількість мешканців – 320;
- площа поверху – 574 м².
- розрахункова потужність систем опалення – 481 кВт;
- основне джерело теплоти – опалювальна газова котельня.

Для проведення дослідження режимів теплопостачання будівлі [70] було проведено спостереження за режимами експлуатації та отримано узагальненні дані протягом доби (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Режими знаходження мешканців у житловій будівлі протягом доби (у відсотковому представленні)

Доба	0-7 год	7-8 год	8-9 год	9-16 год	16-19 год	19-24 год
	%	%	%	%	%	%
Понеділок-П'ятниця	100	70	50	10	40	100
Субота	100	90	70	60	80	90
Неділя	100	100	100	80	90	100

При складанні таблиці були означені наступні часові режими:

- 0 - 7 год – нічні та ранкові часи – мешканці всі вдома;
- 7 - 8 год – ранкові часи – перша хвиля мешканців виходить на роботу та до навчальних закладів (дитячі садки, школи, університети, тощо);
- 8 - 9 год – ранкові часи – друга хвиля мешканців виходить на роботу та до навчальних закладів (дитячі садки, школи, університети, тощо);
- 9 - 16 – робоча пора доби;
- 16 - 19 – мешканці повертаються з роботи та з навчальних закладів;
- 19 - 24 – вечірній та нічний періоди доби – мешканці вдома.

За наведеними даними було проведено дослідження режимів теплопостачання житлового будинку протягом доби робочих та вихідних днів з урахуванням кількості мешканців у різні години доби, за певних температур навколишнього середовища. Для робочих днів (рис.2.1) та вихідних днів (рис.2.2, 2.3).

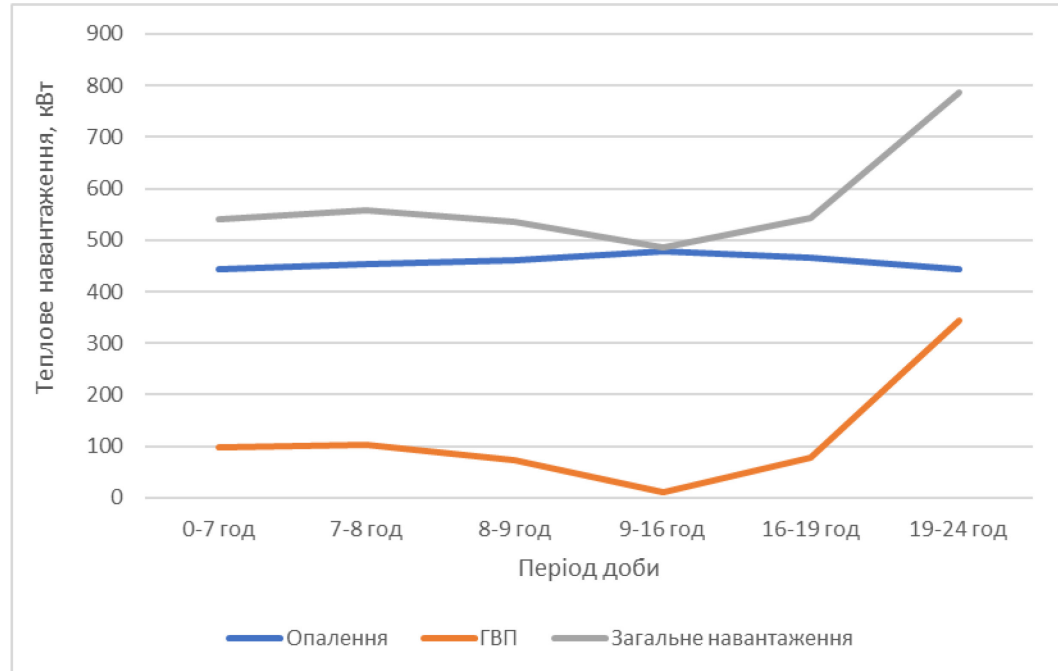


Рисунок 2.1 – Графік зміни теплового навантаження протягом доби за видами споживачів у будній день для житлового будинку

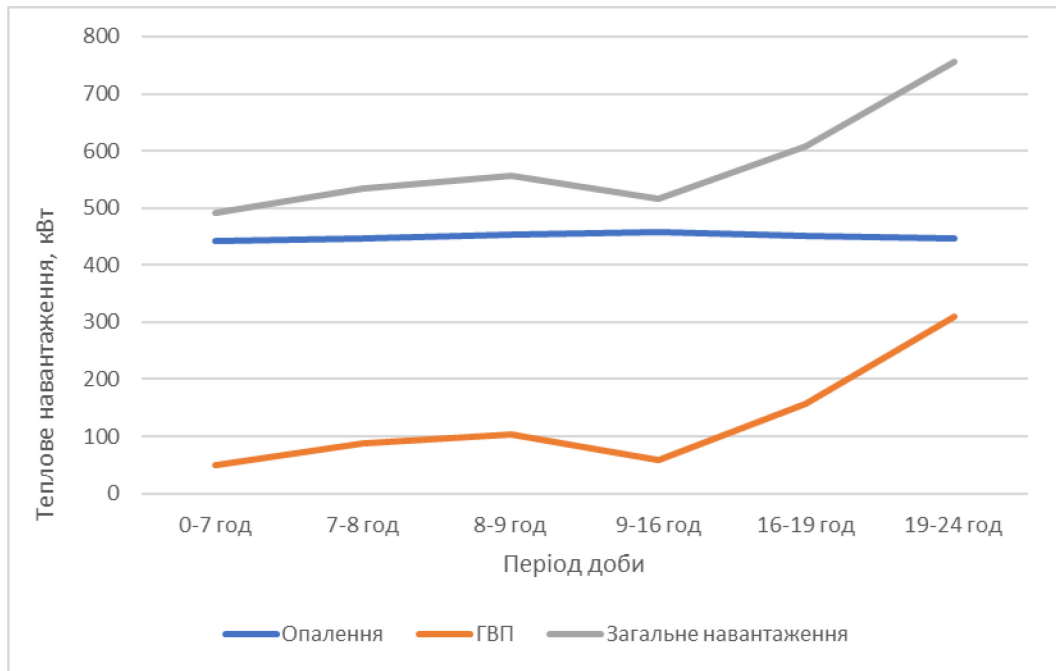


Рисунок 2.2 – Графік зміни теплового навантаження протягом доби за видами споживачів у вихідний день (субота) для житлового будинку

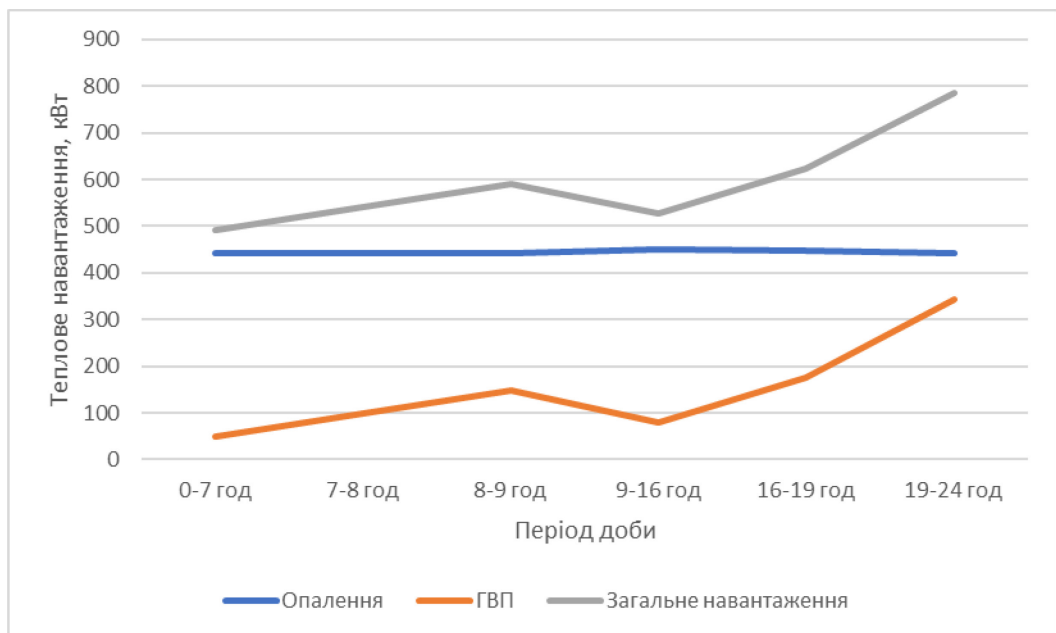


Рисунок 2.3 – Графік зміни теплового навантаження протягом доби за видами споживачів у вихідний день (неділя) для житлового будинку

Аналіз результатів моделювання режимів теплоспоживання житлового будинку протягом тижня (рис.2.1–2.3) дозволяє оцінити навантаження на системи опалення та гарячого водопостачання протягом доби в різні дні [71]. Так, в робочі

дні спостерігається суттєве зменшення в робочі години доби як систем опалення, так і систем гарячого водопостачання. У вихідні дні в цей період також спостерігається зниження, але вже менше за абсолютними показниками. Вказане пояснюється відсутністю більшості мешканців у будівлі в цей проміжок часу. Максимальне навантаження на системи теплопостачання спостерігається у вечірні години, що пов'язано із підвищеною витратою гарячої води.

Враховуючи, що в робочий період буднього дня переважна більшість мешканців відсутня у квартирах, але при цьому системи опалення підтримують робочу температуру у всіх приміщеннях (навіть коли в них немає людей), постає питання зменшення теплового навантаження в цей період, а саме щодо переходу до підтримання чергової температури ($10\text{ }^{\circ}\text{C} - 12\text{ }^{\circ}\text{C}$) в приміщеннях (рис. 2.4).

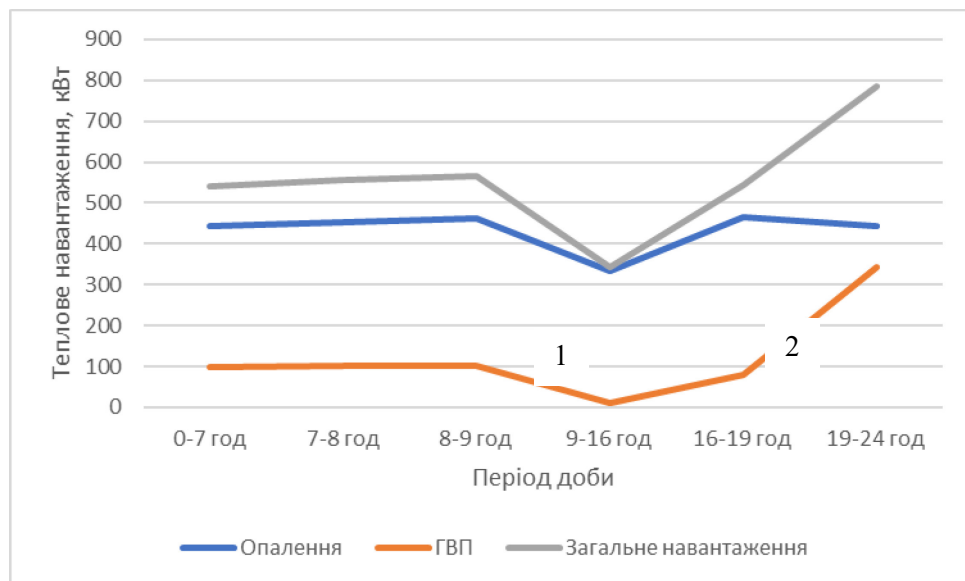


Рисунок 2.4 – Графік зміни теплового навантаження протягом доби за видами споживачів протягом робочої доби у будній день із переходом у період з 9-16 год. до чергового режиму опалення для житлового будинку

Вказане дозволило зменшити загальне теплове навантаження в цей період і, як наслідок, скоротити споживання енергоресурсів (у тому числі і природного вихопного палива) [60]. Однак максимальна теплова потужність системи теплопостачання залишилася незмінною. Це пояснюється наявністю піку споживання га-

рячої води ввечері (поз.2 на рис.2.4). Однак слід відмітити, що зазначеному зростанню передуює провал в навантаженні на систему ГВП (поз.1 на рис.2.4).

Для зменшення максимальної потужності джерела тепlopостачання пропонується встановлення акумуляторів гарячої води, які будуть підігрівати воду у години провалу навантаження та використовувати цю гарячу воду в години максимального її споживання (рис.2.5).

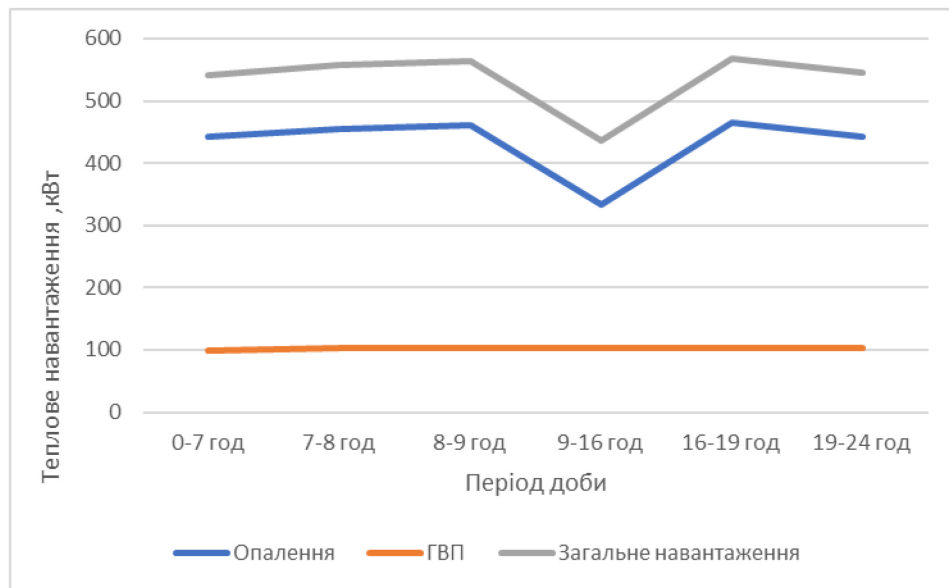


Рисунок 2.5 – Графік зміни теплового навантаження протягом доби за видами споживачів протягом робочої доби із переходом у період з 9-16 год. до чергового режиму опалення та із застосуванням акумуляторів для потреб ГВП для житлового будинку

При застосуванні акумуляторів теплоти графік теплової потужності для потреб ГВП вирівнюється (рис.2.5). При цьому максимальне навантаження джерела теплоти зменшилося на 27 %. Однак спостерігається провал у тепловому споживанні для потреб опалення з піком у період 9-16 год.

Одним із напрямів зменшення максимального теплового навантаження, а також вирівнювання графіка потужності джерела теплоти є робота системи централізованого тепlopостачання на підтримку температури в приміщеннях на рівні 10 °C – 12 °C (чергову температуру). При цьому доведення до робочої тем-

ператури в приміщенні відбувається за рахунок місцевих джерел: центральних або локальних (як правило, це системи кондиціювання з вбудованою функцією теплового насоса (рис.2.6)).

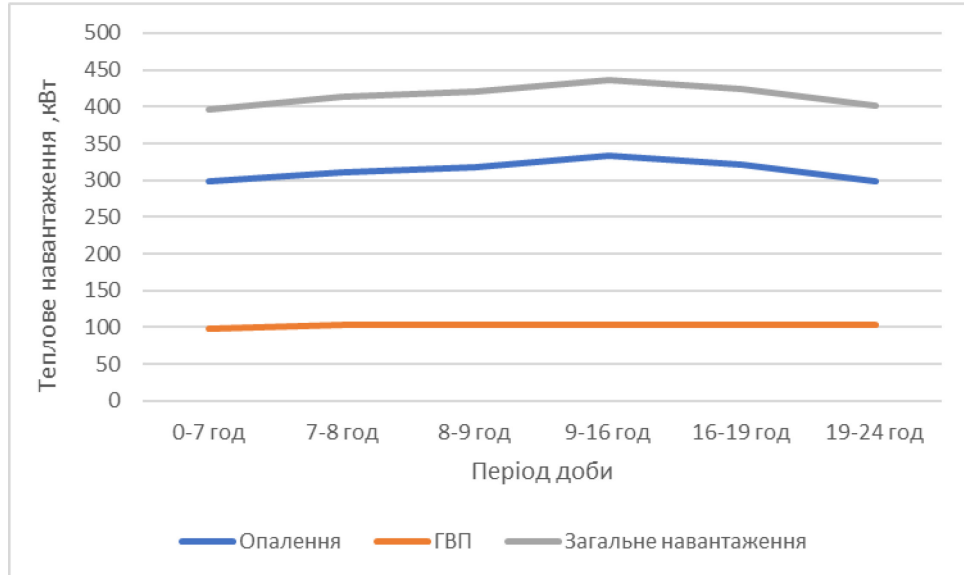


Рисунок 2.6 – Графік зміни теплового навантаження протягом доби за видами споживачів протягом робочої доби із переходом до чергового режиму опалення із застосуванням акумуляторів для потреб ГВП для житлового будинку

Як видно з результатів дослідження (рис.2.6) графік загального теплового навантаження джерела теплоти значно вирівнявся. При цьому спостерігається зменшення максимального теплового навантаження. Переведення централізованого теплопостачання на забезпечення чергового режиму дозволяє забезпечити додатково знизити максимальну теплову потужність джерела ще на 20 % [72].

2.2.2 Коефіцієнти використання потужності

Для оцінки ефективності використання теплової потужності джерела теплопостачання було застосовано коефіцієнт використання максимальної теплової потужності джерела теплоти:

$$k_{max} = Q_i / Q_{max}$$

де Q_i – теплова потужність споживача в певний проміжок часу доби, кВт;

Q_{\max} – максимальна теплова потужність джерела теплоти, кВт.

Дослідження ефективності роботи системи тепlopостачання було проведено для різних часових періодів доби та тижня (табл.2.2.)

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта використання максимальної теплової потужності джерела теплоти для звичайних режимів роботи системи тепlopостачання житлового будинку

Доба	0-7 год	7-8год	8-9 год	9-16 год	16-19 год	19-24 год
Понеділок - П'ятниця	0,68	0,70	0,67	0,61	0,68	0,98
Субота	0,61	0,67	0,70	0,65	0,76	0,94
Неділя	0,61	0,68	0,74	0,66	0,78	0,98

Як видно, найбільший коефіцієнт використання максимальної теплової потужності для житлового будинку спостерігається у вечірні години у всі дні тижня, що пов'язано, насамперед, із навантаженням на системи приготування гарячої води. Найменші значення вказаного коефіцієнта припадають на нічні години вихідних днів та на години з 9 до 16 у робочі дні.

При застосуванні чергового режиму в робочий період у будні дні значення коефіцієнта використання максимальної теплової потужності джерела теплоти в період з 9 до 16 значно знижується за рахунок зниження теплової потужності на системи опалення (табл.2.3) .

Таблиця 2.3 – Значення коефіцієнта використання максимальної теплової потужності джерела теплоти із застосуванням чергового режиму

Доба	0-7 год	7-8год	8-9 год	9-16 год	16-19 год	19-24 год
Понеділок-П'ятниця	0,68	0,70	0,71	0,43	0,68	0,98

При використанні акумуляторів для систем ГВП значення коефіцієнта використання максимальної теплової потужності джерела теплоти значно знижується, насамперед у вечірні години робочого дня (табл.2.4).

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнта використання максимальної теплової потужності джерела теплоти із застосуванням акумуляторів теплоти та чергового режиму

Доба	0-7 год	7-8год	8-9 год	9-16 год	16-19 год	19-24 год
Понеділок- П'ятниця	0,68	0,70	0,71	0,55	0,71	0,68

Подальше зниження значення коефіцієнта використання максимальної теплової потужності джерела теплоти відбувається при комбінованому використанні акумуляторів для систем ГВП та переході систем опалення в черговий режим (табл.2.5).

Таблиця 2.5 – Значення коефіцієнта використання максимальної теплової потужності джерела теплоти із застосуванням чергового режиму та акумуляторів теплоти

Доба	0-7 год	7-8год	8-9 год	9-16 год	16-19 год	19-24 год
Понеділок- П'ятниця	0,50	0,52	0,53	0,55	0,53	0,50

Як видно з результатів дослідження, застосування чергового режиму опалення та акумуляторів для систем ГВП дозволяє не тільки значно знизити коефіцієнт використання максимальної теплової потужності джерела теплоти, а й і вирівняти його значення протягом доби.

Коефіцієнт використання теплової потужності джерела теплоти не в повній мірі відображає дійсну картину роботи системи теплопостачання. Він відображає якісну оцінку роботи системи теплопостачання, але не кількісну. Кожний часовий проміжок доби має свою тривалість, яка не враховується вказаним коефіцієнтом. Для більш коректного визначення використання теплоти джерела теплопостачання було введено середньодобовий коефіцієнт використання максимальної потужності системи теплозабезпечення $k_{c,d}$:

$$k_{c.d} = \sum Q_i \cdot \tau_i / (24 \cdot Q_{max})$$

де Q_i – теплова потужність споживача в певний проміжок часу доби, кВт/год;
 τ_i – тривалість відповідного періоду доби, год.

Дослідження середньодобового коефіцієнту використання максимальної потужності системи теплозабезпечення було проведено для всіх раніше розглянутих варіантів роботи систем теплозабезпечення (табл.2.6.)

Таблиця 2.6 – Значення середньодобового коефіцієнта використання максимальної потужності системи теплозабезпечення

Режим роботи	$k_{c.d}$
Звичайний режим будній день (Понеділок - П'ятниця)	0,72
Звичайний режим вихідний (Субота)	0,72
Звичайний режим вихідний (Неділя)	0,73
Черговий режим будній день у робочі години (Понеділок - П'ятниця)	0,67
Режим будній день з акумуляцією теплоти для потреб ГВП (Понеділок - П'ятниця)	0,65
Режим будній день з акумуляцією теплоти для потреб ГВП та черговим режимом опалення (Понеділок - П'ятниця)	0,52

Як видно із результатів дослідження найменше значення середньодобового коефіцієнта використання максимальної потужності системи теплозабезпечення відповідає режиму буденного дня з акумуляцією теплоти для потреб ГВП та черговим режимом опалення (0,52), найбільше – у вихідний день за звичайного режиму (0,73). Отримані показники дають змогу оцінити потенціал модернізації роботи систем теплопостачання з метою зниження максимального теплового навантаження джерела теплоти.

2.2.3 Торгівельно-розважальний комплекс

Торгівельно розважальний комплекс (ТРК) на відміну від житлових будівель (та будинків подібних житловим будівлям: готелі, гуртожитки, санаторії інше) мають більш різноманітний графік теплового навантаження [56]. Окрім споживачів опалення та гарячого водопостачання, велику роль у режимах теплопостачання відіграють системи вентиляції. Системи вентиляції ще більше залежать від кількості відвідувачів і тому їх режими ефективної роботи, як зазначалось, безпосередньо визначаються кількістю людей, що знаходяться в ТРК

Для дослідження режимів теплопостачання було обрано торговельно-розважальний комплекс розташований в м. Одеса з наступними техніко-економічними показниками:

- кількість поверхів – 2;
- загальна площа – 4380 м²;
- загальна кількість відвідувачів – 1910 осіб;
- розрахункова потужність систем теплопостачання – 1100 кВт.

Призначення приміщень:

- магазини;
- підприємства харчування;
- кінотеатр;
- адміністративні приміщення;
- допоміжні приміщення.

Для проведення дослідження режимів теплопостачання споруди було проведено спостереження за режимами експлуатації та отримані узагальненні данні протягом доби (табл.2.7).

Таблиця 2.7 – Режими знаходження відвідувачів у ТРК протягом доби (у відсотковому значенні)

Доба	0-10 год	10-13 год	13-18 год	18-22 год	22-24 год
	%	%	%	%	%
Понеділок -П'ятниця	1	39	69	92	1
Субота - Неділя	1	44	87	98	1

При складанні таблиці були означені наступні часові режими:

- 0-10 год – нічні години, початок доби;
- 10-13 год – перша половина доби;
- 13-18 год – друга половина доби;
- 18-22 год – вечірні години;
- 22-24 год – нічні години, кінець доби;

За наведеними даними було проведено дослідження режимів теплопостачання протягом робочої доби та вихідних днів з урахуванням кількості відвідувачів у різний час доби, при визначних температурах навколишнього середовища (рис.2.7, 2.8)

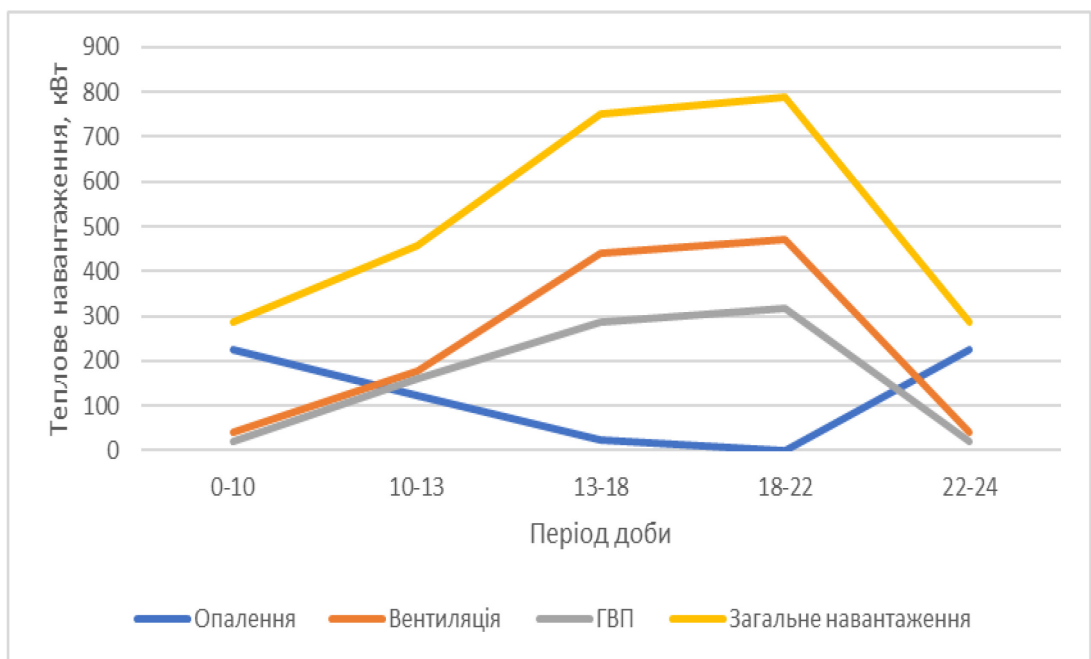


Рисунок 2.7 – Графік зміни теплового навантаження протягом доби за видами споживачів протягом робочої доби для ТРК

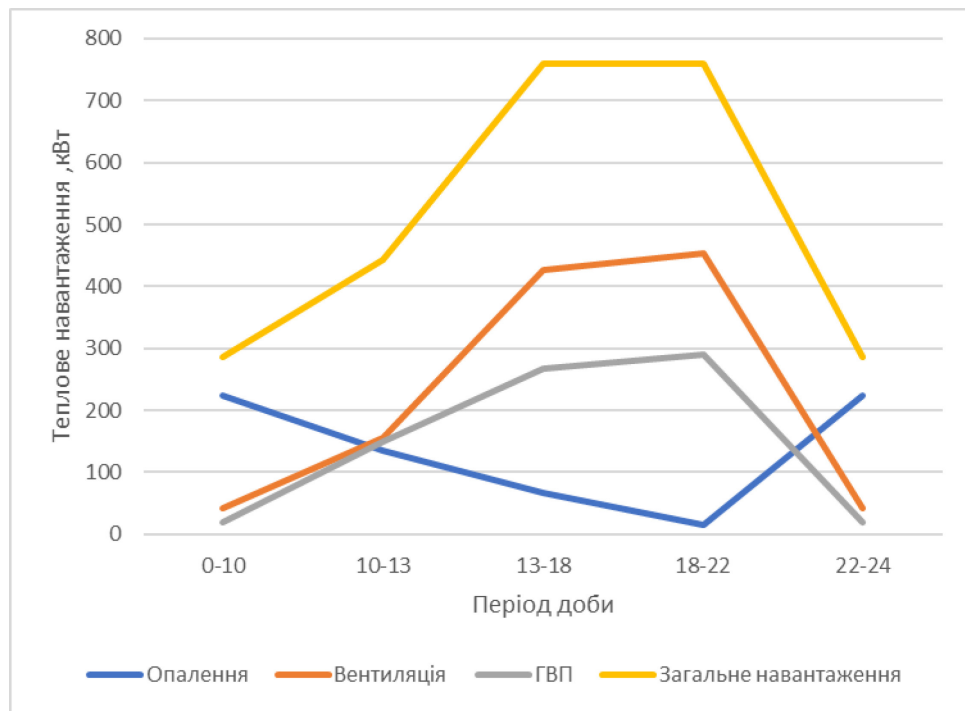


Рисунок 2.8 – Графік зміни теплового навантаження протягом доби за видами споживачів протягом вихідного дня для ТРК

Моделювання було проведено з урахуванням кількості відвідувачів у вказані періоди роботи [73]. Як видно з результатів моделювання (рис.2.7, 2.8) пікове навантаження спостерігається у вечірні години як у робочі, так і у вихідні дні. Зазначене пояснюється максимальним відвідуванням ТРК починаючи з 18 години у робочі дні – внаслідок збільшення кількості відвідувачів після роботи, у вихідні дні – відвідуванням розважального блоку ТРК. Також слід відмітити обернену залежність теплового навантаження систем опалення від кількості людей та пряму залежність систем ГВП та вентиляції. Вказане пояснюється в першому випадку збільшенням внутрішніх теплонадходжень, а в другому випадку – збільшенням витрати гарячої води та підвищенням кратності роботи вентиляційних систем. Нічні періоди характеризуються роботою чергового режиму вентиляції та незначним теплонадходженням від обслуговуючого персоналу (охорона, прибиральниці, тощо) [74].

Для аналізу ефективності використання джерела теплопостачання при максимальному значенні було розраховано коефіцієнти використання максимальної

теплової потужності джерела теплоти для періодів робочих днів та вихідних днів (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Значення коефіцієнта використання максимальної теплової потужності джерела теплоти

Доба	0-10 год	10-13 год	13-18 год	18-22 год	22-24 год
Понеділок- П'ятниця	0,26	0,40	0,69	0,69	0,26
Субота -Неділя	0,26	0,42	0,68	0,72	0,26

Дослідження середньодобового коефіцієнта використання максимальної потужності системи теплозабезпечення ТРК було проведено для всіх раніше розглянутих варіантів роботи систем теплозабезпечення (табл.2.9).

Таблиця 2.9 – Значення середньодобового коефіцієнта використання максимальної потужності системи теплозабезпечення для ТРК

Режим роботи	$k_{с.д}$
Будній день (Понеділок - П'ятниця)	0,439
Вихідні дні (Субота -Неділя)	0,443

Результати дослідження дають змогу оцінити завантаженість інженерних систем ТРК: піки припадають на вечірні години як у робочий день, так і у вихідний (відповідно $k_{max} = 0,69$ та $k_{max} = 0,72$), при цьому значення середньодобового коефіцієнту використання максимальної потужності системи теплозабезпечення для ТРК у робочий та вихідний дні майже не відрізняється ($k_{с.д} = 0,44$).

2.3 Застосування акумулювання теплоти в системах тепlopостачання для узгодження режимів тепlopостачання та споживання теплової енергії

2.3.1 Особливості застосування акумуляторів теплоти в системах тепlopостачання

Отримані значення середньодобових коефіцієнтів використання максимальної потужності системи теплозабезпечення дозволяють зробити висновки не лише про ефективність використання максимальної потужності джерел енергії для розглянутих будинків, а й визначити потенціал зниження розрахункової потужності системи теплозабезпечення за рахунок акумулювання теплоти.

Застосуванню акумуляторів теплоти в сучасних системах тепlopостачання присвячено значну кількість наукових досліджень, у яких розглядаються питання підвищення енергоефективності, оптимізації режимів генерації теплової енергії та забезпечення надійності функціонування теплотехнічних систем [75–79]. Зростання частки децентралізованих джерел теплоти, використання відновлюваних джерел енергії, а також підвищення вимог до енергетичної ефективності будівель обумовлюють необхідність ширшого впровадження акумулюючих ємностей у системах тепlopостачання різного призначення.

Теплові акумулятори можуть виконувати низку функціональних завдань залежно від конфігурації системи тепlopостачання, режимів експлуатації та типу споживачів. Основними функціями акумуляторів теплоти є:

- узгодження режимів генерації та споживання теплової енергії;
- забезпечення спільної роботи декількох джерел теплоти з різними технічними характеристиками;
- виконання функції буферної ємності в системах із тепловими насосами;
- гідравлічне та температурне розділення контурів споживачів з різними температурними рівнями теплоносія;
- накопичення теплової енергії протягом визначених часових інтервалів (добове, тижневе або сезонне акумулювання теплоти);

– підвищення стабільності роботи теплогенеруючого обладнання та зменшення кількості циклів його вмикання і вимикання.

Вибір доцільної схеми включення акумулятора теплоти та визначення його раціонального об'єму повинні здійснюватися з урахуванням комплексу зовнішніх і внутрішніх факторів. До основних чинників належать кліматичні умови регіону, температурний режим зовнішнього повітря, функціональне призначення будівлі, графік експлуатації об'єкта, структура теплових навантажень, а також технічні характеристики джерела теплоти та умови підключення будівлі до електричних мереж [68].

Для більшості споживачів теплової енергії характерна суттєва нерівномірність теплоспоживання як упродовж доби, так і протягом року. Одним із найбільш нерівномірних видів навантаження є система гарячого водопостачання, для якої типовими є виражені ранкові та вечірні піки споживання. За відсутності акумуляюючих ємностей такі пікові навантаження призводять до необхідності збільшення встановленої потужності джерела теплоти.

На відміну від гарячого водопостачання, система опалення характеризується переважно сезонною зміною навантаження. Основним фактором, що визначає величину теплового навантаження на опалення, є температура зовнішнього повітря. Протягом доби значні коливання навантаження спостерігаються переважно у випадку застосування періодичних або двоперіодних режимів опалення, які передбачають зниження температури внутрішнього повітря у неробочий час.

Системи вентиляції також характеризуються змінним режимом теплоспоживання. Їх навантаження визначається як температурою зовнішнього повітря, так і режимом експлуатації будівлі, кількістю людей у приміщеннях та необхідною кратністю повітрообміну. Таким чином, для вентиляційних систем характерні як сезонні, так і добові коливання теплового навантаження.

Узгодження роботи систем вентиляції з джерелом теплоти може здійснюватися шляхом модуляції теплової потужності обладнання, однак у випадку значної нерівномірності навантаження застосування акумуляторів теплоти дозволяє дода-

тково стабілізувати роботу системи та зменшити динамічні навантаження на джерело тепла.

Отже, аналіз режимів теплоспоживання систем гарячого водопостачання, опалення та вентиляції свідчить про доцільність застосування акумуляторів теплоти або буферних ємностей як інструменту підвищення ефективності функціонування систем тепlopостачання. Їх використання забезпечує вирівнювання графіків навантаження, зниження встановленої потужності джерела теплоти, підвищення надійності роботи обладнання та покращення умов інтеграції альтернативних джерел енергії.

Наведені положення формують науково-практичне підґрунтя для постановки задачі визначення раціонального об'єму акумуляторів теплоти в системах тепlopостачання будівель громадського призначення з урахуванням режимів експлуатації, структури теплових навантажень та кліматичних чинників [76].

2.3.2 Математична модель розрахунку процесу акумулювання теплоти

Тепловий баланс рідинного акумулятора в загальному вигляді [78, 79]:

$$Q_{\text{підв}} - Q_{\text{відв}} = Q_{\text{ак}}$$

де $Q_{\text{підв}}$ – підведена теплота, Дж;
 $Q_{\text{відв}}$ – відведена теплота, Дж;
 $Q_{\text{ак}}$ – акумульована теплота, Дж.

Рівняння теплового балансу рідинного акумулятора [79]:

$$V_v \cdot c_p \cdot \rho_v \cdot (dT_v(t)/dt) = Q_{\text{ex}}(t) - Q_{\text{вих}}(t) - Q_n(t),$$

де $Q_{\text{ex}}(t)$, $Q_{\text{вих}}(t)$ – відповідно, тепловий потік на вході та виході акумулятора теплоти, Вт;
 $Q_n(t)$ – втрати теплоти у навколишнє середовище, Вт.

Згідно першому закону термодинаміки для підведеної і відведеної енергії відкритої системи, основне рівняння акумулювання енергії в диференціальній формі має вигляд:

$$\begin{aligned} \left(u + pv + gH + \frac{c^2}{2} \right)_{\text{підв}} \cdot dm_{\text{відв}} + dQ - \left(u + pv + gH + \frac{c^2}{2} \right)_{\text{відв}} \cdot dm_{\text{підв}} - dW = \\ = d \left(u + gH + \frac{c^2}{2} \right)_{\text{ак}} \cdot dm_{\text{ак}} \end{aligned}$$

де $m_{\text{ак}}$ – маса робочого середовища, кг;

u – внутрішня енергія, Дж/кг;

p – тиск, Па;

v – питомий об'єм, м³/кг;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

H – висота, м;

gH – питома потенційна енергія, Дж/кг;

c – швидкість течії, м/с;

$c^2/2$ – питома кінетична енергія, Дж/кг;

dQ – підведена до системи теплота, Дж;

dW – робота системи, Дж.

До акумулювання теплоти належить такий випадок: зміна питомої внутрішньої енергії. Якщо питома внутрішня енергія робочої рідини АК вища ніж у навколишнього середовища, має місце такий випадок: – зміна питомої потенційної енергії.

Накопичення кінетичної і потенційної енергії не відбувається, якщо, члени рівняння, які характеризують кінетичну і потенційну енергію підводу і відводу, дуже малі:

$$dW = p_{\text{ак}} dV_{\text{ак}}$$

тоді рівняння акумулювання енергії в диференціальній формі набуває вигляду:

$$(u + pv)_{\epsilon x} dm_{\epsilon x} + dQ - (u + pv)_{\epsilon ix} dm_{\epsilon ix} = d(um)_{ак} + p_{ак} dV_{ак}$$

де $V_{ак}$ – об'єм рідинного АК, м³;

$p_{ак}$ – тиск рідини АК, Па,

Використовуючи поняття ентальпії:

$$h = u + pv$$

одержуємо рівняння енергобалансу АК:

$$h_{\epsilon x} dm_{\epsilon x} + dQ - h_{\epsilon ix} dm_{\epsilon ix} = d(um)_{ак} + p_{ак} dV_{ак}$$

Теплові втрати акумулятора теплоти в довкілля становлять [73]:

$$Q_n(t) = k_{ак} \cdot V^{2/3} \cdot \Phi \cdot [T_s(t) - T_{oc}]$$

Зазвичай в системах теплопостачання застосовуються рідинні акумулятори теплоти з теплоакумулюючим матеріалом – водою. Вода є дешевим, але ефективним акумулюючим матеріалом.

2.3.3 Дослідження режимів роботи системи теплопостачання житлового будинку з акумулятором теплоти та ТРК протягом доби

Для житлового будинку з основними характеристиками, наведеними в п. 2.2, було проведено дослідження роботи системи теплопостачання з акумуляцією теплоти. Враховуючи найбільше значення середньодобового коефіцієнта використання максимальної потужності системи теплозабезпечення (звичайний режим у

неділю), можна визначити мінімально достатнє значення системи теплопостачання:

$$Q_{min} = Q_{max} \cdot k_{c.d}$$

де Q_{max} – максимальна теплова потужність джерела теплоти, кВт;
 $k_{c.d}$ – середньодобовий коефіцієнт використання максимальної потужності системи теплозабезпечення.

$$Q_{min} = 800 \cdot 0,73 = 584 \text{ кВт.}$$

Як видно, мінімальне розрахункове значення суттєво нижче максимальної теплової потужності джерела теплоти. Застосувавши отримане нове значення теплової потужності системи теплозабезпечення до графіка теплового навантаження споживачів протягом доби (рис.2.3.) отримано графік роботи системи теплопостачання з акумулятором теплоти (рис 2.9).

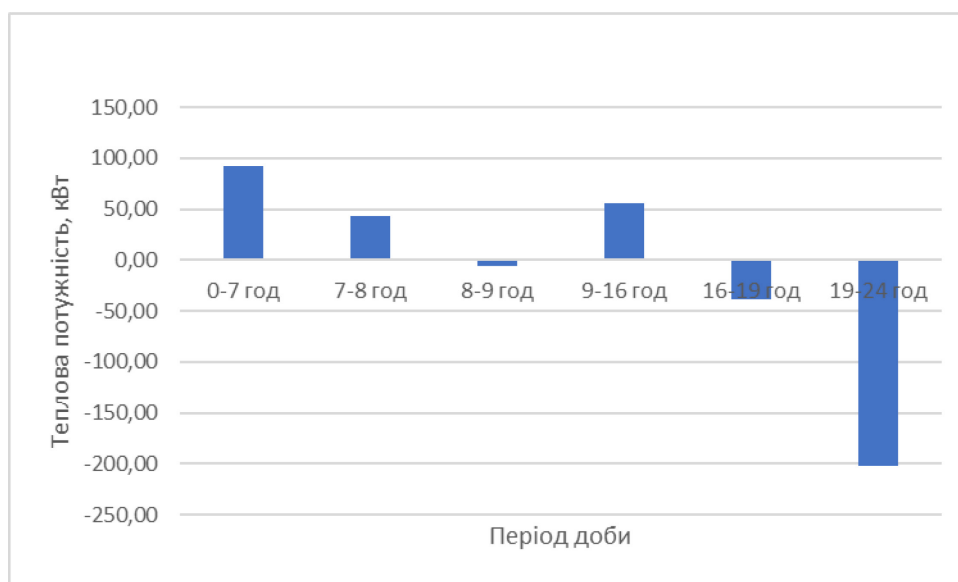


Рисунок 2.9 – Графік потенціалу акумуляції існуючого джерела теплоти протягом доби для житлового будинку

Як видно з результатів дослідження (рис.2.9), піки акумулювання припадають на нічні години початку доби (93,4 кВт) та період з 9 до 16 години(55,32 кВт). Максимум витрати накопиченої теплоти приходить на вечірні години (201,6 кВт).

Аналогічно проведено дослідження потенціалу акумуляції для умов роботи споживачів теплоти ТРК. При цьому мінімально достатнє значення системи тепlopостачання складе:

$$Q_{min} = 1100 \cdot 0,443 = 487 \text{ кВт.}$$

Застосувавши отримане нове значення теплової потужності системи теплозабезпечення до графіка теплового навантаження споживачів протягом доби (рис.2.8.) отримано графік роботи системи тепlopостачання з акумулятором теплоти (рис.2.10.)

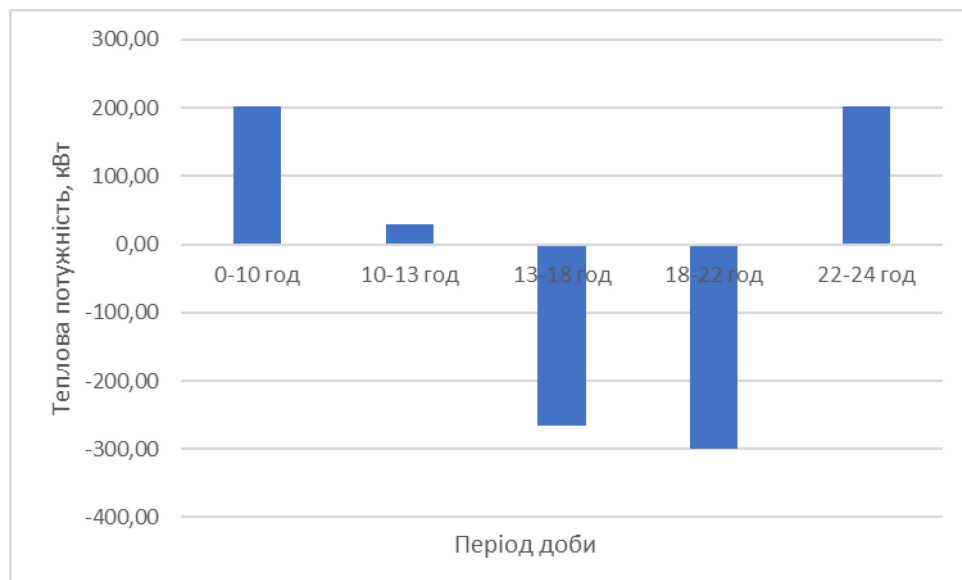


Рисунок 2.10 – Графік потенціалу акумуляції існуючого джерела теплоти протягом доби для ТРК.

Як видно з результатів дослідження (рис.2.10) піки акумулювання припадають на нічні години на початку та наприкінці доби (201,7 кВт). Максимум витрати

накопиченої теплоти приходиться на денні (265,0 кВт), та вечірні години (300,5 кВт).

2.3.4 Дослідження роботи систем тепlopостачання з акумулюванням теплоти протягом року

Отримані дані відповідають розрахунковій температурі зовнішнього повітря « $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ». Однак при підвищенні температури зовнішнього повітря потрібна теплова потужність зменшується у міру зниження потреби в опаленні, а акумулююча здатність систем тепlopостачання збільшується. Це дозволяє визначити оптимальний об'єм акумуляторного бака. Так, при значенні середньодобового коефіцієнт використання максимальної потужності системи теплозабезпечення $k_{c,d}=1$ при температурі зовнішнього повітря « $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ », графік зміни потенціалу акумуляції буде мати вигляд (рис. 2.11) [49].

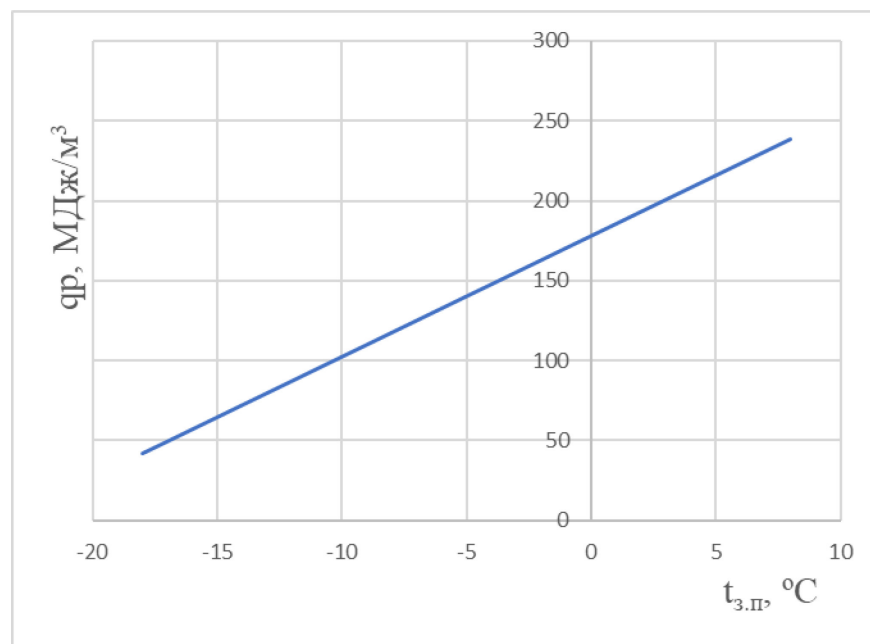


Рисунок 2.11 – Графік зміни питомого потенціалу акумуляції існуючого джерела теплоти протягом року

Для житлового будинку з урахуванням початкового потенціалу акумулювання 216 кВт та максимальної необхідної потужності для акумулювання 93,4 кВт (рис. 2.9) було побудовано графік зміни необхідного об'єму акумулятора для забезпечення потреб систем тепlopостачання (рис. 2.12).

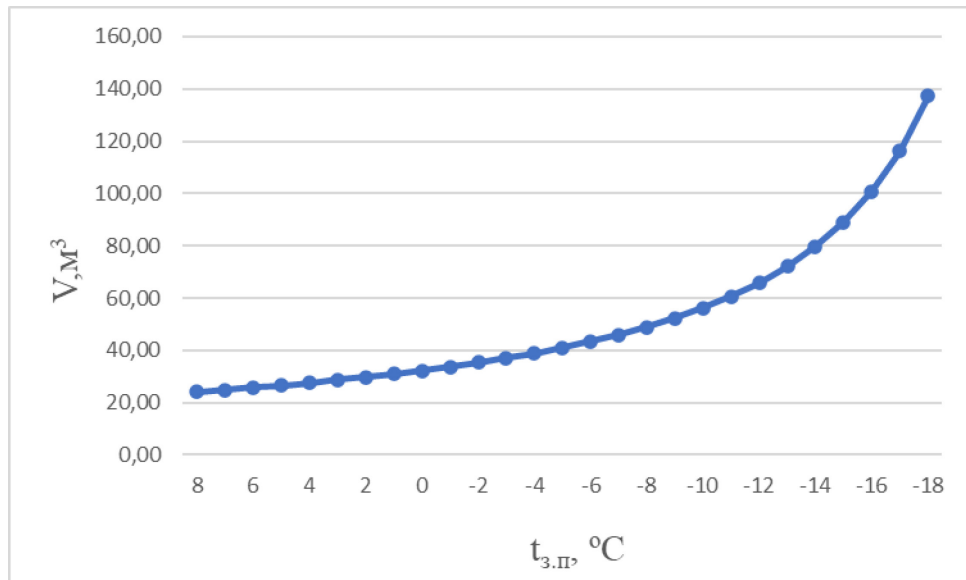


Рисунок 2.12 – Графік зміни об'єму акумулятора теплоти в залежності від температури навколишнього середовища для житлового будинку.

Аналогічним шляхом було проведено дослідження для ТРК: початковий потенціал акумуляції – 613 кВт, а максимальна необхідна потужність для акумуляції – 201,7 кВт (рис. 2.10). Отримано графік зміни необхідного об'єму акумулятора для забезпечення потреб систем теплопостачання (рис. 2.13).

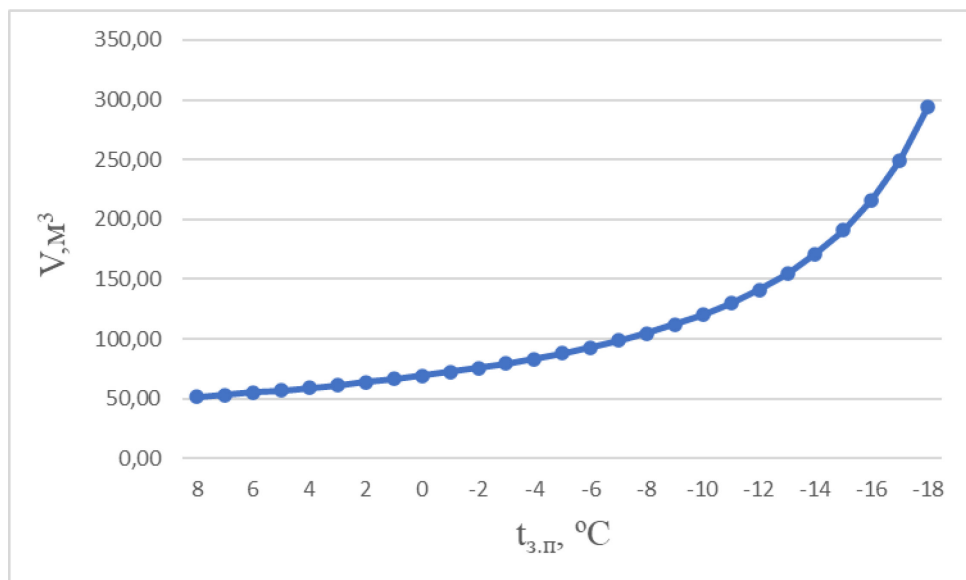


Рисунок 2.13 – Графік зміни об'єму акумулятора теплоти в залежності від температури навколишнього середовища для ТРК

Як видно з отриманих результатів, об'єм акумулятора суттєво залежить від температури навколишнього середовища. Так, для розрахункової зовнішньої температури для систем опалення ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) об'єм акумулятора для ТРК в 5 разів, а для житлового будинку майже в 7 разів вищий, ніж при температурі наприкінці/на початку опалювального періоду ($+8\text{ }^{\circ}\text{C}$). При цьому тривалість температурних періодів зовнішнього середовища доволі нерівномірна.

Тобто при виборі робочого об'єму акумулятора також слід враховувати кліматологічні показники для регіону (скільки годин кожний температурний діапазон може тривати протягом опалювального періоду).

За наявними кліматологічними даними основні періоди становлять (табл. 2.10):

Таблиця 2.10 – Тривалість температурних діапазонів для одеського регіону протягом опалювального періоду

$t_{з.п},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\tau, \text{ год.}$
$-18\text{ }^{\circ}\text{C} - -15\text{ }^{\circ}\text{C}$	27
$-15\text{ }^{\circ}\text{C} - -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	134
$-10\text{ }^{\circ}\text{C} - -5\text{ }^{\circ}\text{C}$	399
$-5\text{ }^{\circ}\text{C} - 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	975
$0\text{ }^{\circ}\text{C} - +5\text{ }^{\circ}\text{C}$	1781
$+5\text{ }^{\circ}\text{C} - +8\text{ }^{\circ}\text{C}$	644

Враховуючі кліматологічні дані було, проведено дослідження корисного використання акумуляційного матеріалу протягом опалювального періоду (рис.2.14, 2.15.) залежно від тривалості температурних діапазонів зовнішнього повітря (табл.2.10).



Рисунок 2.14 – Залежність питомих годин використання акумулюючого середовища від температурних діапазонів зовнішнього повітря для житлового будинку

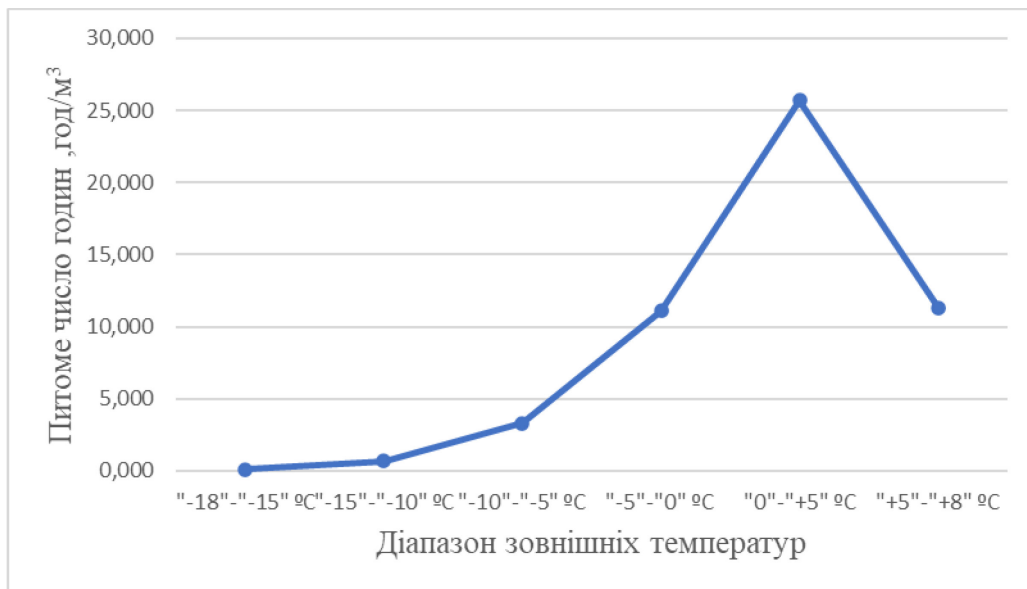


Рисунок 2.15– Залежність питомих годин використання акумулюючого середовища від температурних діапазонів зовнішнього повітря для ТРК

Як видно з результатів дослідження пік використання акумулюючого середовища припадає на діапазон температур зовнішнього повітря з 0 °С до +5 °С, та складає: для житлової будівлі – 55,2 год/м³, а для ТРК – 25,7 год/м³. Також високі показники питомих годин використання акумулюючого середовища для діа-

пазонів температур зовнішнього повітря. $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ Використовуючи данні попередніх досліджень (рис. 2.12–2.13) можна визначити раціональний об'єм акумулятора теплоти для потреб теплопостачання (табл.2.11).

Таблиця 2.11 – Раціональні об'єми акумуляторів теплоти для потреб теплопостачання для різних кліматичних зон опалювального періоду.

$t_{з.п},$ $^{\circ}\text{C}$	V житловий будинок, м^3	V ТРК, м^3
$-5\text{ }^{\circ}\text{C}$	40,98	87,9
$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	32,28	69,26
$+5\text{ }^{\circ}\text{C}$	26,62	57,12

Наведені результати дозволяють помітити, що відносна різниця між оптимальним та найближчим значенням об'єму акумулятора теплоти складає: для житлової будівлі – 9 %, для ТРК – 19 %. Вказане дає змогу оцінити раціональний об'єм акумулятора для систем теплопостачання і він лежить в межах діапазонів $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.4 Висновки до розділу 2

1. Аналіз режимів експлуатації будівель комунального господарства дозволив поділити їх на дві основні групи: з регулярним режимом експлуатації та нерегулярним режимом експлуатації.

2. Для двох характерних будинків із різних груп (житловий будинок – група 1, ТРК – група 2) на основі спостережень проведено дослідження режимів теплопостачання впродовж доби робочих та вихідних днів та побудовано відповідні діаграми.

3. На основі отриманих результатів дослідження запропоновано шляхи підвищення ефективності теплоспоживання та максимальної теплової потужності джерела теплоти.

4. Для оцінки ефективності використання потужності джерела теплоти застосовано коефіцієнти використання максимальної теплової потужності джерела теплоти та середньодобовий коефіцієнт використання максимальної потужності

системи теплозабезпечення. Останній коефіцієнт дає змогу оцінити потенціал зменшення розрахункової потужності джерела теплоти.

5. Отримані середньодобові коефіцієнти використання максимальної потужності системи теплозабезпечення (для житлового будинку $k_{c,d} = 0,73$, для ТРК $k_{c,d} = 0,443$) дали змогу оцінити потужність джерела теплоти (для житлового будинку $Q_{min} = 584$ кВт, для ТРК $Q_{min} = 487$ кВт). Також вказаний коефіцієнт дозволив отримати залежність необхідного об'єму акумулятора теплоти для зменшення розрахункової потужності джерела теплоти в залежності від зовнішніх кліматичних чинників.

6. Проведено аналіз питомих годин корисного використання акумуляючого середовища від температурних діапазонів зовнішнього повітря для житлового будинку та ТРК. Встановлено раціональний діапазон для вибору об'єму акумулятора лежить в діапазоні $-5\text{ }^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}$ та $+5\text{ }^{\circ}\text{C} - +8\text{ }^{\circ}\text{C}$ температури зовнішнього повітря.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ

3.1. Математичне моделювання системи теплопостачання

Метою математичного моделювання системи теплопостачання, що досліджується, є визначення ефективності режиму переривчастого опалення для споруд громадського призначення (адміністративна будівля) та оптимізація параметрів системи теплопостачання, що містить водогрійний котел та акумулятор теплоти (рис. 3.1).

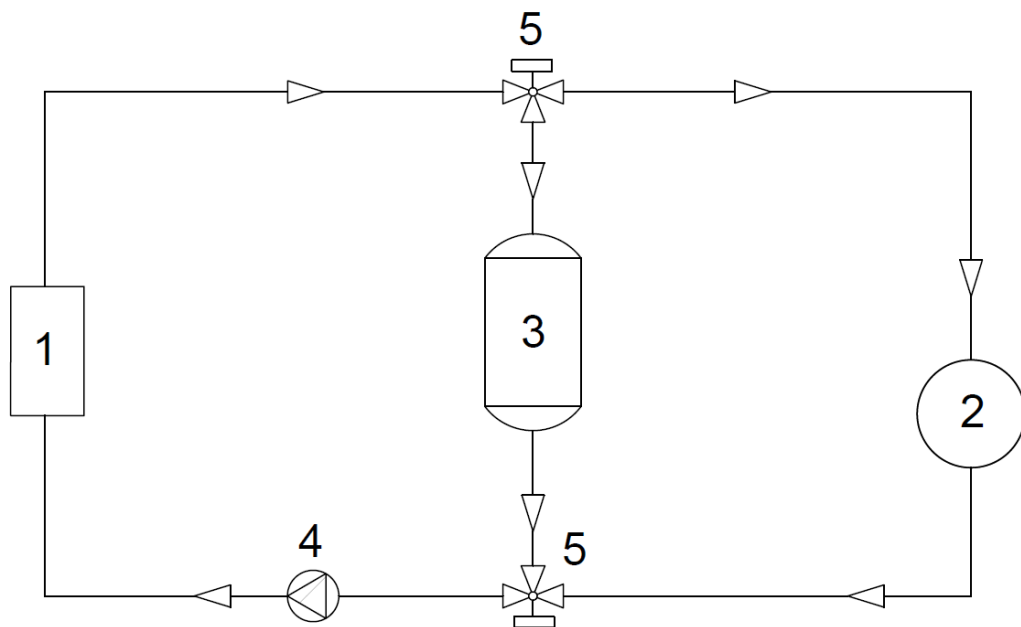


Рис. 3.1 – Принципова схема теплопостачання

1 – водяний котел; 2 – система теплопостачання, 3 – акумулятор теплоти,
4 – циркуляційний насос; 5 – триходові перемикаючі клапани

Режим роботи споруд, що досліджуються, – з 8.00 до 17.00, тому для них застосування режиму переривчастого опалення, що забезпечить певну економію енергоресурсів, є актуальним завданням [80-83].

При застосуванні режиму переривчастого опалення відбувається форсування навантаження системи опалення будівлі під час ранкового натопу, що спричиняє відповідне збільшення потужності генератора тепла значно вище за розрахун-

кове значення (приблизно у 1,5-2,0 рази) [72]. Таке збільшення потужності генератора тепла потребує додаткових капітальних вкладень в систему теплопостачання, тому, з метою зменшення потужності генератора тепла, до системи теплопостачання залучено добовий акумулятор тепла, який працюватиме під час ранкового натопу, одночасно з водогрійним котлом, в режимі розрядження. Зарядження акумулятора тепла, відповідно, здійснюється у вечірні години, вже у неробочій час, від водогрійного котла.

3.1.1 Вхідні параметри щодо моделювання системи теплопостачання

Основні техніко-економічні показники будівлі громадського призначення для розробки математичної моделі системи опалення:

- кількість поверхів - 4;
- матеріал стін – цегла; товщина стін – 650 мм;
- опалювальна площа – 670 м².
- розрахункова потужність системи опалення $Q_{оп} = 70$ кВт при розрахунковій температурі зовнішнього повітря – 18 °С;
- теплова потрібність на системи теплопостачання вентиляції: $Q_{вент} = 30$ кВт;
- теплова потужність на потреби ГВП: $Q_{ГВП} = 20$ кВт.

Теплопостачання будівлі здійснюється від водогрійного котла, тепловою потужністю 70 кВт.

Тепловиділення від людей та техніки, розташованих в будівлі - до 300 людей) складає 30 кВт.

Об'єм теплового акумулятору (ТА) щодо обмеження потужності ВК складає 15 м³, температурний режим його розрядження-зарядження – 60-80 °С.

Режим переривчастого опалення моделювався за наступними умовами:

- температура повітря у приміщенні будівлі $t_{пов}$ у робочий час з 8.00 по 17.00 підтримується на рівні 22 °С;
- газовий котел забезпечує теплопостачання під час режиму надтопу за рахунок розрядження ТА, а у робочі години – тільки від газового ВК, у неробочі

години (з 17.00 та до початку натопу наступного дня) – опалення відсутнє та відбувається зарядження ТА від ВК;

3.1.2 Методика оптимізації режимів теплового навантаження системи опалення

Моделювання динамічних властивостей споруд при використанні режиму переривчастого опалення проводилося з застосуванням системи диференціальних рівнянь та початкових і граничних умов [60].

За моделлю Е.Я. Соколова [84], динамічною характеристикою будівлі, що характеризує її акумулюючі властивості, прийнято постійну часу, яка розраховується за виразом:

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

де c – теплоємність матеріалу зовнішньої огорожі будівлі;

ρ – густина матеріалу зовнішньої огорожі будівлі;

F – підсумкова площа зовнішньої огорожі будівлі;

δ – товщина зовнішньої огорожі будівлі;

V – об'єм будівлі;

q_0 – питома опалювальна характеристика будівлі.

Значення постійної часу для будівлі навчального закладу склало $T_2 = 50$ год.

За результатами досліджень [85], суттєве підвищення точності розрахунків при побудові моделі динаміки температури в приміщенні, при використанні режиму переривчастого опалення, забезпечується при врахуванні малоінерційної складової процесу теплообміну повітрям з внутрішніми стінами будівлі. Модель, що враховує такий ефект, являє собою відповідне поєднання передаточних функцій високоінерційної та малоінерційної ланок, та, відповідно, має вигляд:

$$W = W_1 + W_2,$$

$$\text{де } W_1 = \frac{K_{nep1}}{T_1 S + 1}; \quad W_2 = \frac{K_{nep2}}{T_2 S + 1},$$

де K_{nep1} , K_{nep2} – відповідно коефіцієнти передачі ланок за каналом: «теплова потужність системи опалення – температура повітря в приміщенні» для малоінерційної та високоінерційної ланки;

T_1 , T_2 – відповідно постійні часу кожної з ланок.

Постійну часу малоінерційної ланки для громадської будівлі прийнято

$T_1 = 1$ год., коефіцієнти передачі, відповідно: $K_{nep1} = 0,022$ °C/кВт, $K_{nep2} = 0,25$ °C/кВт.

У якості критерія оптимізації режимів роботи систем опалення було обрано підсумкове тепловиділення у будівлі від водогрійного $\sum_{i=0}^{23} Q_i^{BK}$ котла та людей, що знаходиться у будівлі у певний період часу $\sum_{i=0}^{23} Q_i^{люд}$, що забезпечує відповідний температурний режим повітря у будівлі за період натопу, в робочі та неробочі години. Вираз щодо цільової функції (ЦФ) задачі оптимізації режимів теплового навантаження системи опалення має вигляд:

$$\sum_{i=0}^{23} Q_i = \sum_{i=0}^{23} Q_i^{BK} + \sum_{i=0}^{23} Q_i^{TA} + \sum_{i=0}^{23} Q_i^{люд},$$

де i – час доби;

Q_i^{BK} – середньогодинна теплова потужність водогрійного котла;

Q_i^{TA} – середньогодинна теплова потужність при розрядженні теплового акумулятора;

$Q_i^{люд}$ – середньогодинне тепловиділення від людей.

За своєю математичною постановкою дана задача оптимізації режиму навантаження системи опалення розглядається, як задача пошуку екстремуму деякої функції багатьох змінних [86] (по 24 змінних – відповідних середньогодинних теплових навантажень ВК, ТА ($Q_i^{BK}, Q_i^{TA}, i = \overline{0,23}$) з урахуванням обмежень, граничних та початкових умов, що накладаються на систему та змінні, яка оптимізується. За характером використаних у математичній моделі залежностей між змінними, наведена задача оптимізації відноситься до задач нелінійного програмування і в кінцевому загальному вигляді може бути записана:

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^{23} Q_i = \sum_{i=0}^{23} Q_i^{BK} + \sum_{i=0}^{23} Q_i^{TA} + \sum_{i=0}^{23} Q_i^{люд} \\ \begin{cases} Q_{min}^{BK} \leq Q_i^{BK} \leq Q_{max}^{BK} \\ Q_{min}^{TA} \leq Q_i^{TA} \leq Q_{max}^{TA} \\ i = \overline{0,23} \end{cases} \end{cases} \quad (3.1)$$

За результатами розв'язання наведеної задачі оптимізації було отримано графіки добового теплового навантаження ВК, системи опалення, розрядження зарядження ТА, температури повітря в приміщенні громадської будівлі, температури зворотної та прямої мережевої води, за умови мінімальної добової витрати енергоресурсів.

У якості інструмента щодо розв'язання наведеної задачі оптимізації використано MS Excel, що дозволило відносно компактно запрограмувати методику оптимізації та розрахунку параметрів, виконати багатовимірну оптимізацію системи теплопостачання з урахуванням обмежень, граничних та початкових умов системи.

3.2 Результати математичного моделювання та оптимізації режимів навантаження системи теплопостачання будівлі громадського призначення

На рис. 3.2 наведено оптимальний добовий графік навантаження системи опалення, що працює у переривчастому режимі без ТА при температурі зовніш-

нього повітря $t_{з\text{ов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Під час здійснення ранкового натопу з 1.00 по 8.00 теплова потужність ВК $Q_{\text{ВК}}$ сягає максимального значення 110 кВт. Отримане при оптимізації значення теплової потужності ВК значно більше за розрахункове при цілодобовому опаленні (70 кВт), але це необхідна умова форсування опалення під час ракового натопу. Тривалість натопу теж максимально можлива – 7 годин. Теплова потужність системи опалення вище за розрахункову на 57 %, що, відповідно, вимагає збільшення площі опалювальних приладів. Час з 8.00 до 17.00 є робочими годинами громадської будівлі з відповідною присутністю людей за кількістю до 300, що спричиняє внутрішнє тепловиділення потужністю до 25 кВт та відповідне зниження теплової потужності системи опалення до величини наприкінці робочих годин – 20 кВт.

На рис. 3.3 наведено добовий температурний графік повітря в приміщенні будівлі у режимі переривчастого опалення, який відповідає графіку теплового навантаження системи опалення на рис. 3.2 при $t_{з\text{ов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період початкового режиму натопу температура внутрішнього повітря $t_{\text{пов}}$ зростає з $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до заданого значення $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, а після вимкнення опалення о 17.00 знову знижується, що, відповідно, приводить до зменшення втрат тепла на зовні і визначає економію витрати енергоресурсів в режимі переривчастого опалення.

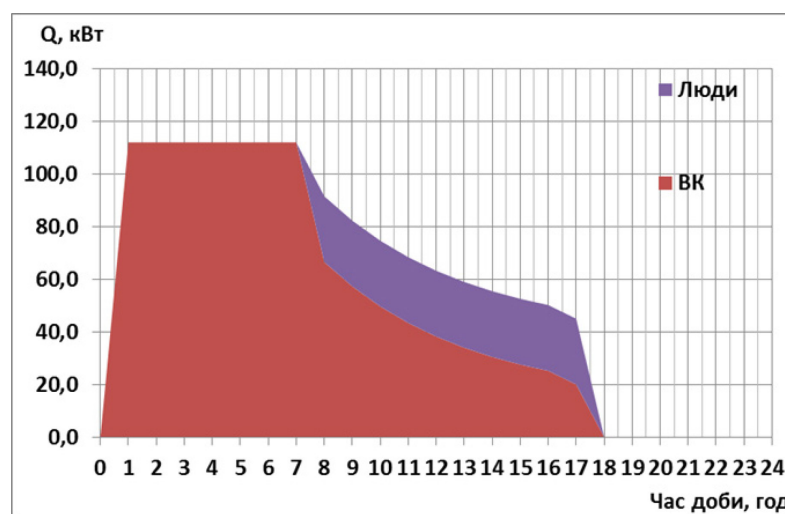


Рисунок 3.2 – Добовий графік теплового навантаження у переривчастому режимі опалення ($t_{з\text{ов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$)

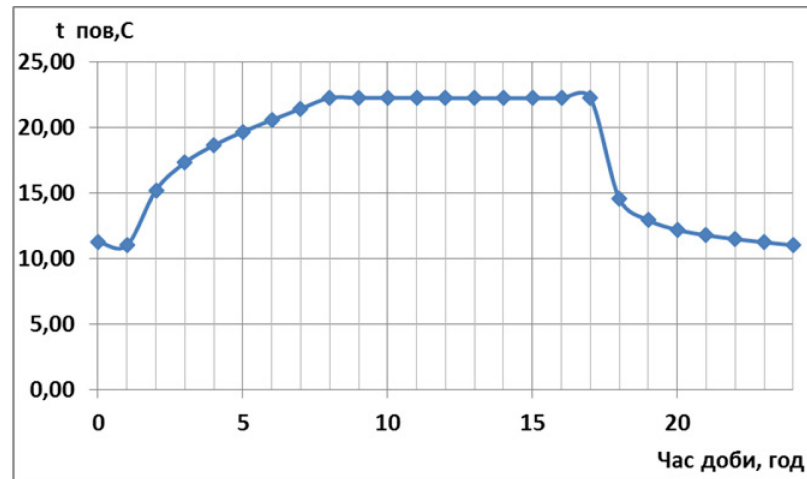


Рис. 3.3 – Добовий графік температури в приміщенні будівлі у переривчастому режимі опалення ($t_{\text{зов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$)

На рис. 3.4 представлено графік зміни температури теплоносія протягом доби, що відповідає графіку теплового навантаження системи переривчастого опалення (рис. 3.2) при $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$. У години ранкового натопу температура прямої води в мережі сягає $79\text{ }^{\circ}\text{C}$, але у робочій годині знижується до $50\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$ внаслідок значного зниження потужності системи опалення.

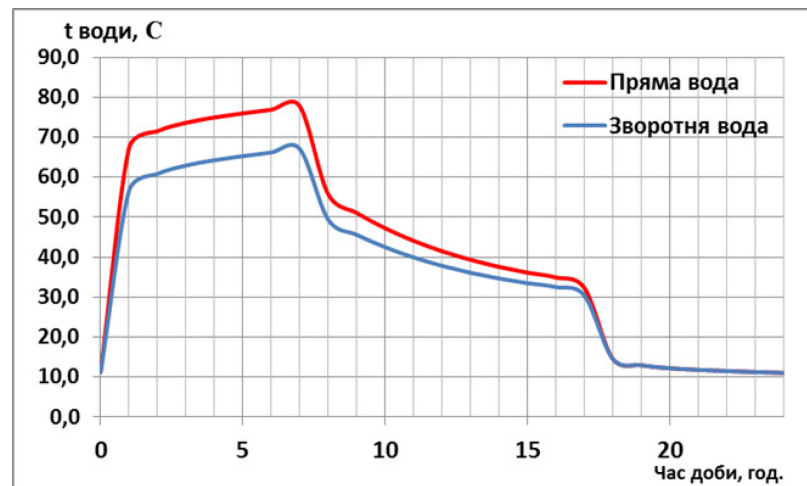


Рисунок 3.4 – Добовий графік температури води в мережі в режимі переривчастого опалення при $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Добовий графік теплового навантаження системи у режимі переривчастого опалення при $t_{\text{зов}} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ надано на рис. 3.5. Під час ранкового натопу в період з

2.00 по 8.00 теплова потужність ВК $Q_{ВК}$ максимальна та складає 110 кВт. Тривалість натопу при цьому зменшилась до 6 годин. На протязі робочого часу теплова потужність ВК змінюється в межах 60-20 кВт, що пов'язано з присутністю великої кількості людей та акумулюванням тепла у огорожувальних конструкціях будівлі.

Графік зміни температури внутрішнього повітря приміщення будівлі протягом доби (рис. 3.6.) у переривчастому режимі роботи системи тепlopостачання відповідно до умов розрахунку навантажень потужності системи опалення при температурі зовнішнього повітря $t_{зов} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.5.) вказує на динаміку роботи початкового (ранкового) режиму натопу. Так спостерігається зміна температури внутрішнього повітря з $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $22\text{ }^{\circ}\text{C}$; після переходу у черговий режим - зменшується до $14\text{ }^{\circ}\text{C}$.

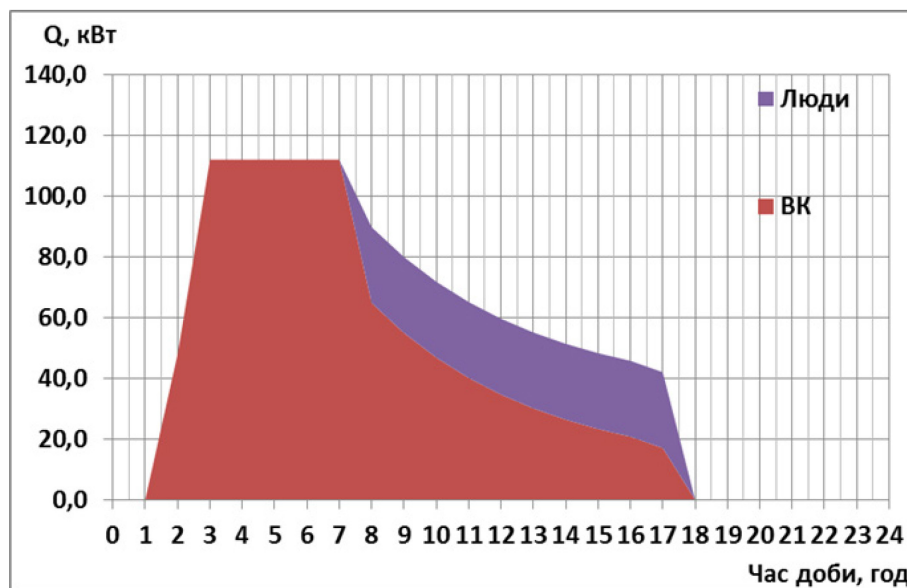


Рисунок 3.5 – Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення при $t_{зов} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

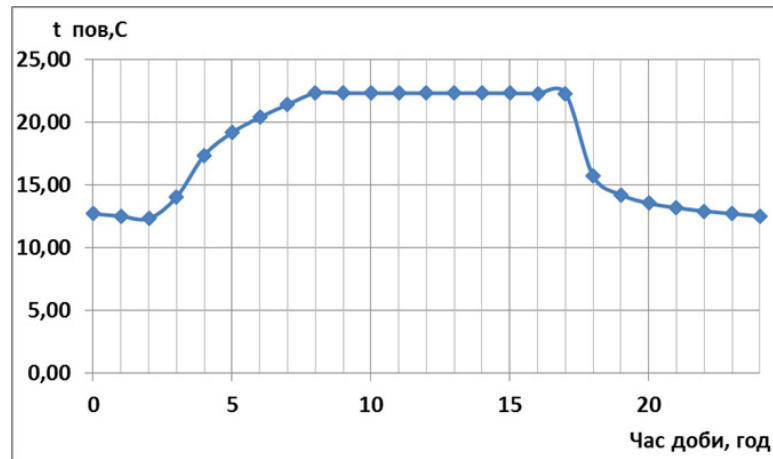


Рисунок 3.6 – Добовий графік температури в приміщенні у режимі переривчастого опалення при $t_{зОВ} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.7 наведено добовий температурний графік мережевої води системи у переривчастому режимі опалення, що відповідає навантаженню системи опалення на рис. 3.5 при $t_{зОВ} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$. У години ранкового натопу температура прямої води в мережі сягає $79\text{ }^{\circ}\text{C}$, але у робочі години знижується до $50\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$ внаслідок суттєвого зниження потужності системи опалення.

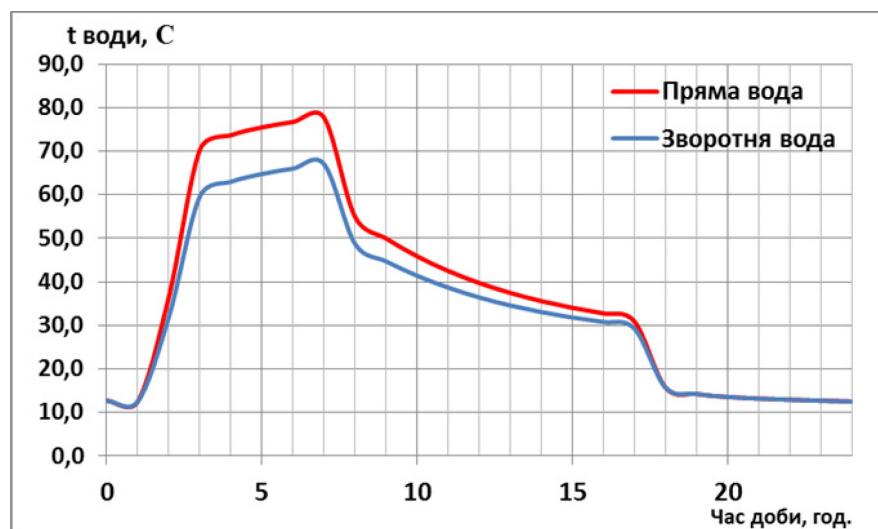


Рисунок 3.7 – Добовий температурний графік мережевої води у режимі переривчастого опалення при $t_{зОВ} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення при $t_{\text{зов}} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ наведено на рис. 3.8. У години ранкового натопу з 4.00 по 8.00 тепла потужність ВК $Q^{\text{ВК}}$ сягає максимального значення 110 кВт. Тривалість натопу зменшилась до 4 годин. Упродовж робочого часу тепла потужність ВК змінювалась в межах 60–15 кВт, внаслідок присутності великої кількості людей в будівлі, а також акумулювання тепла в огорджувальних конструкціях.

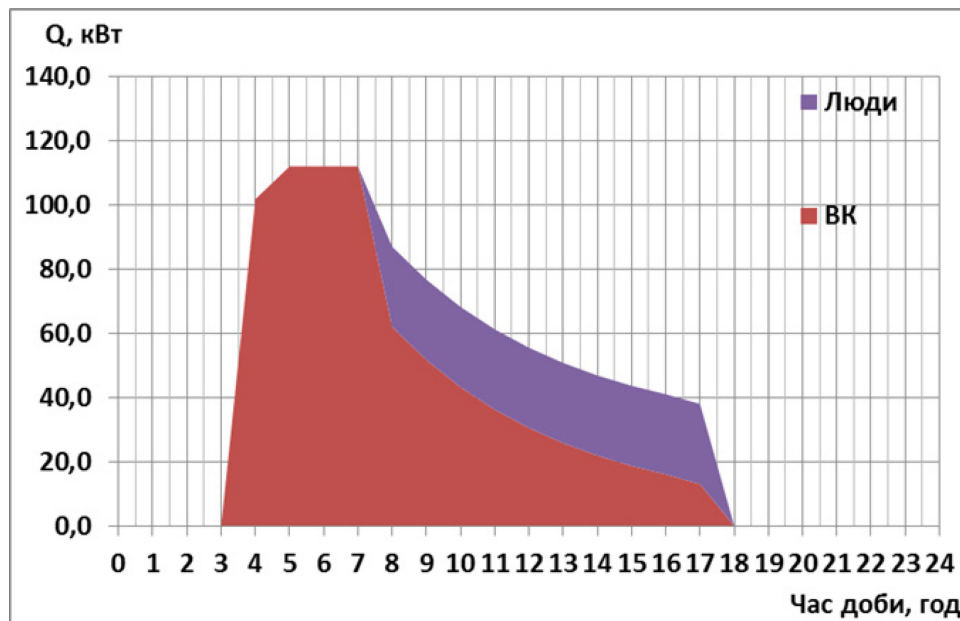


Рисунок 3.8 – Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення при $t_{\text{зов}} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.9 наведено добовий температурний графік повітря в приміщенні будівлі у переривчастому режимі опалення, що відповідає навантаженням системи на рис. 3.8 при $t_{\text{зов}} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$. У години ранкового натопу температура в приміщенні будівлі $t_{\text{пов}}$ зростає з $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, а після вимкнення опалення, відповідно, зменшується до $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

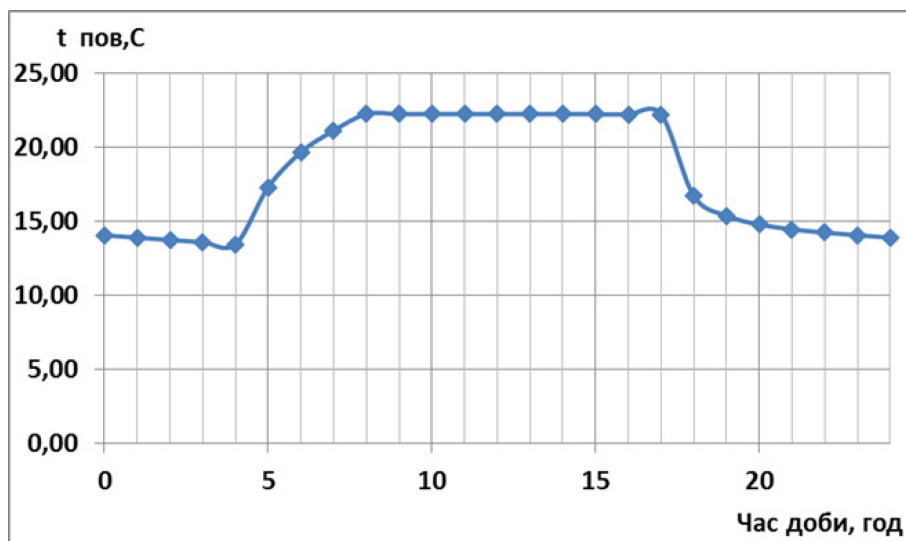


Рисунок 3.9 – Добовий температурний графік повітря в приміщенні у режимі переривчастого опалення при $t_{зоб} = - 5 \text{ } ^\circ\text{C}$

На рис. 3.10 наведено добовий температурний графік теплоносія в мережі системи переривчастого теплопостачання, за відповідними значеннями потужності систем опалення (рис. 3.8.) відповідно кліматичних умов при $t_{зоб} = - 5 \text{ } ^\circ\text{C}$. У години ранкового натопу температура прямої води в мережі досягає $79 \text{ } ^\circ\text{C}$, а у робочі години, відповідно, знижується до $50\text{--}30 \text{ } ^\circ\text{C}$ при відповідному зниженні потужності системи опалення.

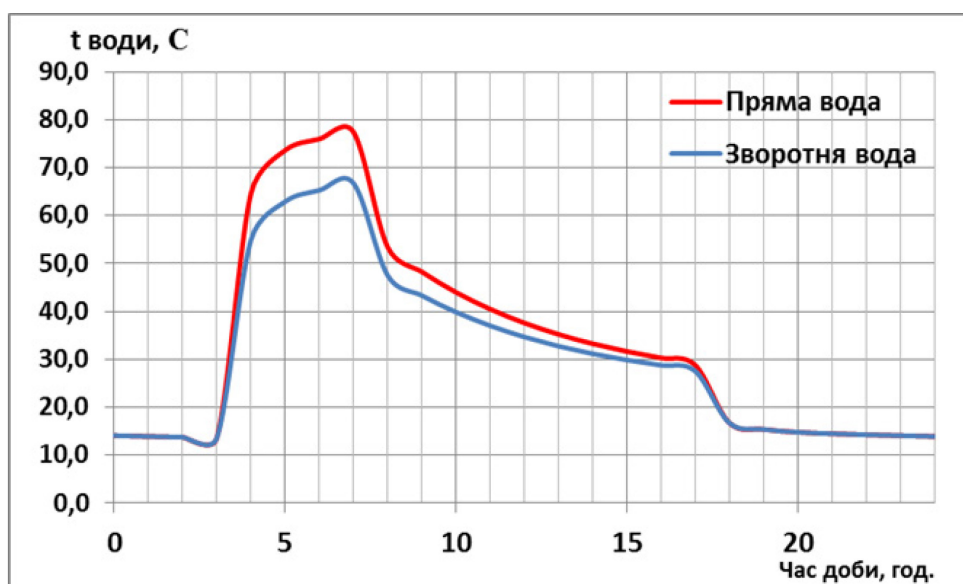


Рисунок 3.10 - Добовий температурний графік мережевої води у режимі переривчастого опалення при $t_{зоб} = - 5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ наведено на рис. 3.11. У години ранкового натопу, в період з 5.00 по 8.00 теплова потужність ВК $Q_{\text{ВК}}$ також сягає максимального значення та складає 110 кВт. Тривалість натопу при цьому зменшилась до 3 годин. На протязі робочого часу теплова потужність ВК змінюється в межах від 5 до 10 кВт, що пов'язано з присутністю великої кількості людей та акумулюванням тепла у огорожувальних конструкціях будівлі.

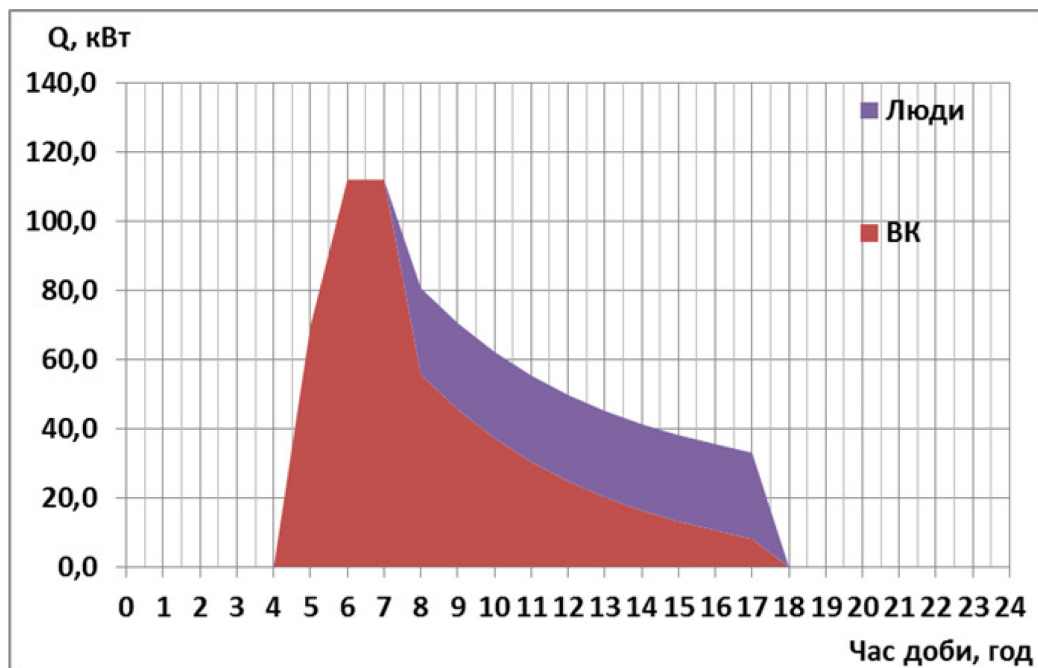


Рисунок 3.11 – Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

На рис. 3.12 наведено добовий температурний графік повітря у приміщенні будівлі в переривчастому режимі опалення, що відповідає навантаженню системи опалення на рис. 3.11 при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$. На початку режиму інтенсивного прогрівання приміщення (натоп) температура внутрішнього повітря зростає з $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ до $22 \text{ } ^\circ\text{C}$. Протягом робочого періоду підтримується температура в приміщенні $22 \text{ } ^\circ\text{C}$, а після переходу у черговий режим зменшується до $16 \text{ } ^\circ\text{C}$.

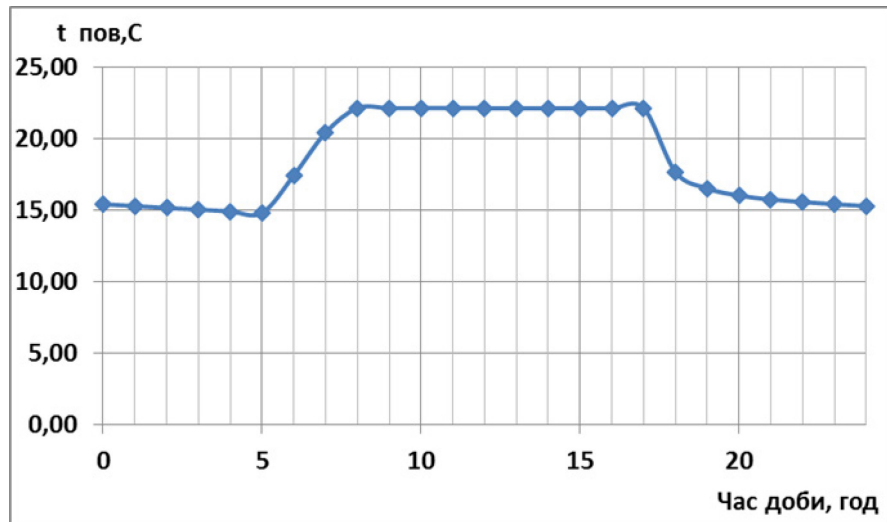


Рисунок 3.12 – Добовий температурний графік повітря в приміщенні в режимі переривчастого опалення при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

На рис. 3.13 надано температурний добовий графік мережевої води у системі в режимі переривчастого опалення, що відповідає навантаженням системи опалення на рис. 3.11 при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$. У години ранкового натопу температура прямої води в мережі становить $79 \text{ } ^\circ\text{C}$, а у робочі години знижується до $50\text{--}26 \text{ } ^\circ\text{C}$ внаслідок зниження потужності системи опалення при акумуляції тепла огорожувальними конструкціями.

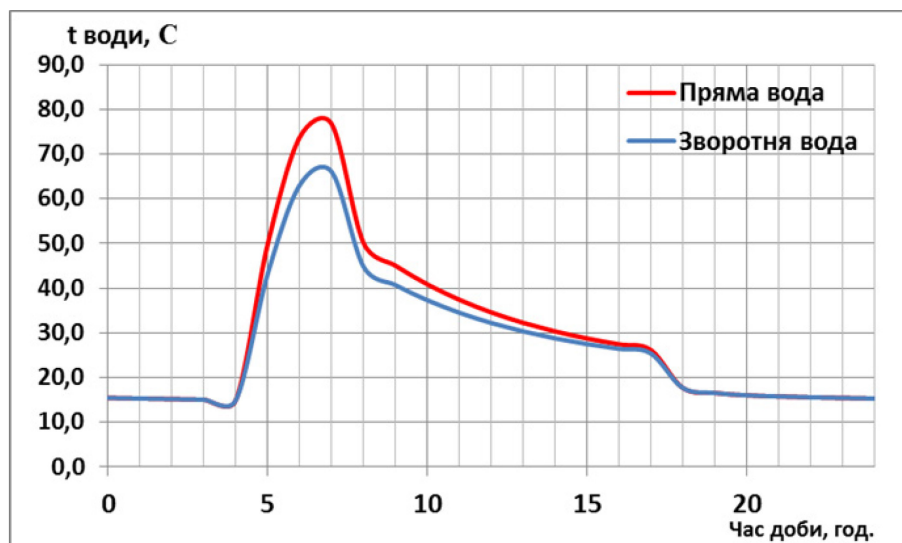


Рисунок 3.13 – Добовий температурний графік мережевої води в режимі переривчастого опалення при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Добовий графік щодо теплового навантаження системи у переривчастому режимі опалення при $t_{зоб} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ надано на рис. 3.14. Тривалість ранкового натопу зменшилась всього до 1 години. Теплова потужність водогрійного котла у робочі години змінюється в межах 40–0 кВт.

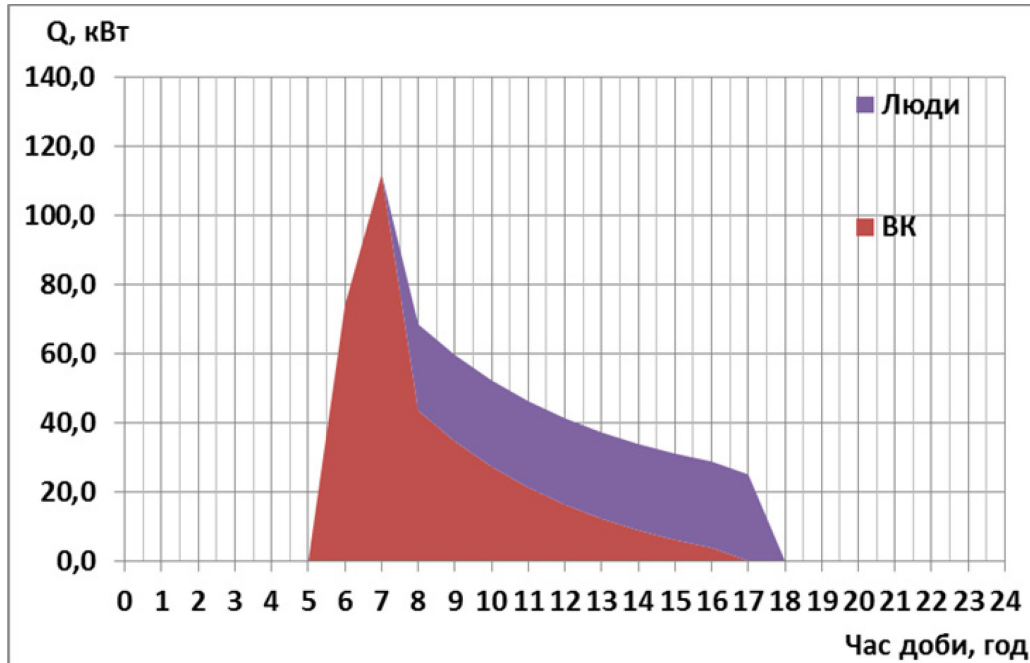


Рисунок 3.14 – Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення при $t_{зоб} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$

На рис. 3.15 наведено температурний добовий графік в приміщенні будівлі в режимі переривчастого опалення, який відповідає навантаженням системи опалення на рис. 3.14 при $t_{зоб} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$. У години ранкового натопу температура в приміщенні $t_{пов}$ змінюється від $16 \text{ }^\circ\text{C}$ до $22 \text{ }^\circ\text{C}$, а після вимкнення опалення, відповідно, зменшується до $17 \text{ }^\circ\text{C}$.

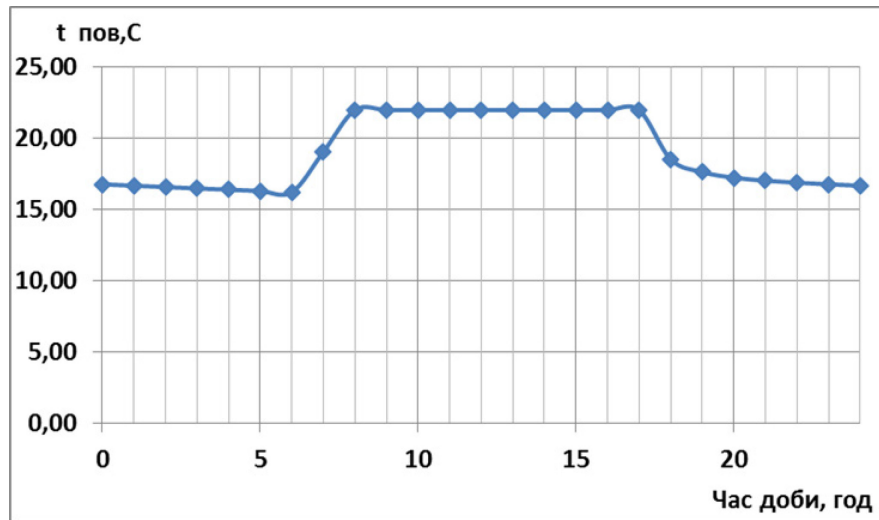


Рисунок 3.15 – Добовий температурний графік в приміщенні будівлі в режимі переривчастого опалення при $t_{\text{зов}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.16 надано температурний добовий графік мережевої води у переривчастому режимі опалення, який відповідає навантаженню системи опалення на рис. 3.14 при $t_{\text{зов}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. У години ранкового натопу температура прямої води в мережі сягає $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а у робочі години знижується до $40\text{--}22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ внаслідок зниження потужності системи опалення до 0 наприкінці робочих годин.

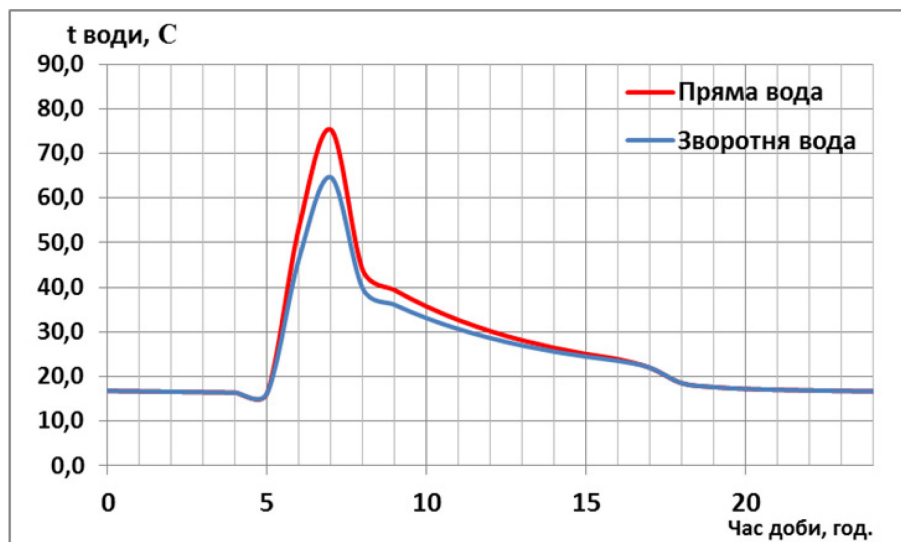


Рисунок 3.16 – Добовий температурний графік мережевої води у режимі переривчастого опалення при $t_{\text{зов}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

3.3 Математичне моделювання системи тепlopостачання з акумулюванням тепла

Використання добового акумулювання тепла дозволяє значно зменшити максимальну теплову потужність водогрійного котла завдяки тому, що під час ранкового натопу потужність системи опалення складається з потужності ВК та потужності ТА при його розрядженні (рис. 3.1).

На рис. 3.17 наведено добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення при $t_{зов} = -15$ °С. В години початкового інтенсивного прогрівання приміщення (1.00 ... 8.00 години ранку) потужність джерела тепlopостачання (ВК) $Q^{ВК}$ максимальна, та складає 85 кВт. В той же час загальна потужність системи опалення – 135 кВт, тобто додатково 50 кВт потужності отримано за рахунок розрядження ТА. Тривалість натопу при цьому максимально можлива – 7 годин.

Форсування ранкового натопу потребує збільшення потужності системи опалення вище за розрахункову на 93 %, що досягається за рахунок застосування акумулятора тепла та, одночасно, підвищення потужності ВК на 21 %, на відміну від конфігурації за відсутності ТА, при якій потужність ВК треба збільшити на 57 % (рис. 3.1). Час з 8.00 до 17.00 є робочими годинами громадської будівлі з присутністю до 300 людей, що забезпечує додаткове внутрішнє тепловиділення до 25 кВт та сприяє зниженню потужності системи опалення наприкінці робочого дня до 35 кВт.

Добовий цикл системи тепlopостачання завершує робота джерела теплоти (ВК) на зарядження теплового акумулятора у вечірній та нічний періоди (з 19.00 по 24.00 години) до робочої температури теплового акумулятора, що дорівнює 80 °С. Потужність водогрійного котлу в режим заряджання акумулятора не перевищує 85 кВт.

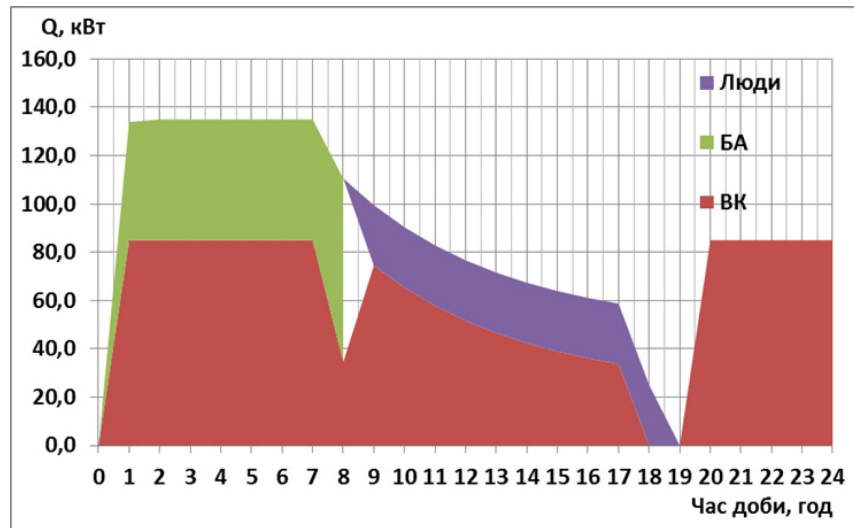


Рисунок 3.17 – Добовий графік теплового навантаження у переривчастому режимі опалення з ТА ($t_{зоб} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення з ТА при $t_{зоб} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ наведено на рис. 3.18. В години ранкового натопу з 3.00 по 8.00 тепла потужність водогрійного котла $Q^{ВК}$ максимальна та становить 85 кВт. Тривалість натопу, відповідно, зменшилась до 5 годин. Форсування ранкового натопу за рахунок ТА забезпечує потужність системи опалення на рівні 135 кВт, наприкінці робочих годин – 30 кВт. Добовий цикл системи завершує робота ВК на зарядження ТА з 19.00 до 24.00 години до температури $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, потужність водогрійного котла при цьому становить 79 кВт.

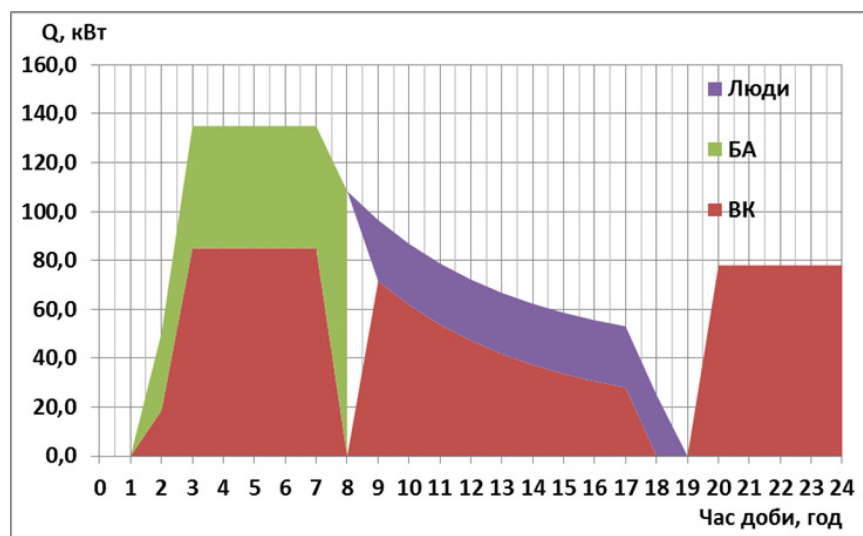


Рисунок 3.18 – Добовий графік теплового навантаження у переривчастому режимі опалення з ТА ($t_{зоб} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення з ТА при $t_{\text{зов}} = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ наведено на рис. 3.19. В години ранкового натопу з 4.00 по 8.00 теплова потужність водогрійного котла $Q_{\text{ВК}}$ все ще максимальна та становить 85 кВт. Тривалість натопу, відповідно, зменшилась до 4 годин. Форсування ранкового натопу за рахунок ТА забезпечує потужність системи опалення на рівні 135 кВт, на при кінці робочих годин – 22 кВт. Добовий цикл системи завершує робота ВК на зарядження ТА з 20.00 до 24.00 години до температури $80 \text{ }^\circ\text{C}$, потужність водогрійного котла при цьому становить 82 кВт.

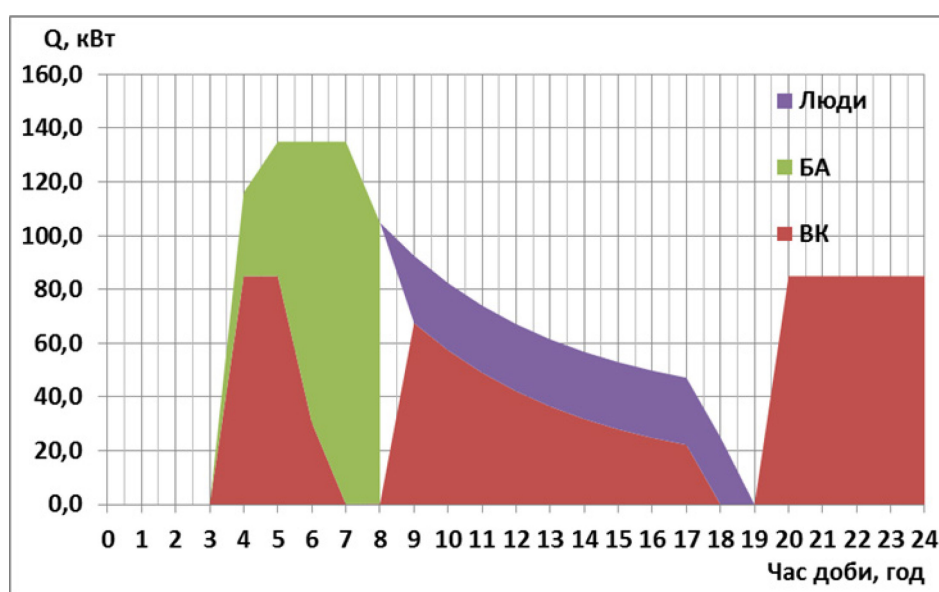


Рисунок 3.19 – Добовий графік теплового навантаження у переривчастому режимі опалення з ТА ($t_{\text{зов}} = -5 \text{ }^\circ\text{C}$)

Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення з ТА при $t_{\text{зов}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ наведено на рис. 3.20. В години початкового (ранкового з 5.00 по 8.00) режиму натопу теплова потужність джерела теплоти ($Q^{\text{ВК}}$) вже нижче за максимальну та становить 80–82 кВт. Тривалість натопу, відповідно, зменшилась до 3 годин. Форсування ранкового натопу за рахунок ТА забезпечує потужність системи опалення на рівні 135 кВт, на при кінці робочих годин – 16 кВт. Цикл системи завершує робота джерела теплоти (ВК) на зарядження теплового акумулятора у вечірні години (з 20.00 до 24.00) до температури $80 \text{ }^\circ\text{C}$, потужність водогрійного котла при цьому становить 55 кВт.

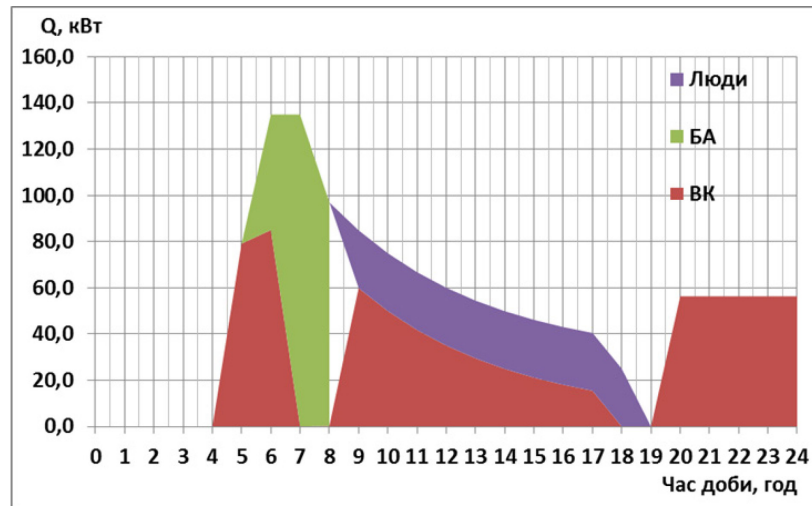


Рисунок 3.20 – Добовий графік теплового навантаження у переривчастому режимі опалення з ТА ($t_{з\text{ов}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Добовий графік навантаження системи у переривчастому режимі опалення з ТА при $t_{з\text{ов}} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ наведено на рис. 3.21. В години ранкового натопу з 6.00 по 8.00 тепла потужність водогрійного котла $Q_{\text{ВК}}$ також за максимальну та становить 80-82 кВт. Тривалість натопу, відповідно, ще зменшилась до 2 годин. Форсування ранкового натопу за рахунок ТА забезпечує потужність системи опалення на рівні 135 кВт, наприкінці робочих годин – 8 кВт. Добовий цикл системи завершує робота ВК на зарядження ТА з 20.00 до 24.00 години до температури $80 \text{ } ^\circ\text{C}$, потужність водогрійного котла при цьому становить 27 кВт.

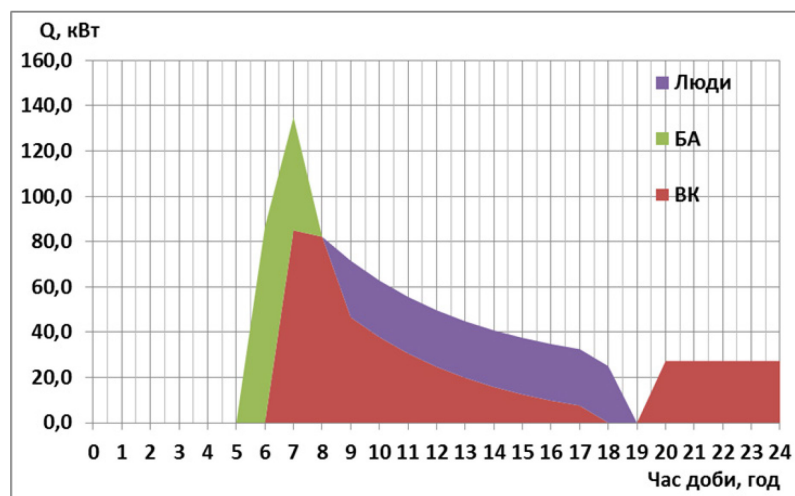


Рисунок 3.21 – Добовий графік теплового навантаження у переривчастому режимі опалення з ТА ($t_{з\text{ов}} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$)

На рис. 3.22 наведено результати дослідження залежності максимальної потужності водогрійного котла у різних режимах опалення з наявністю, або відсутністю добового теплового акумулювання при зміні зовнішньої температури $t_{\text{зов}}$. Порівняння режимів теплового навантаження ВК наведено відносно. За максимальне – 100 % прийнято навантаження ВК в години натопу без ТА. Використання теплового акумулятора певної ємності дозволяє знизити теплову потужність ВК на 23–27 % в залежності від зовнішньої $t_{\text{зов}}$. Потужність ВК при цілодобовому режимі опалення ще нижче – 30–66 % від максимального значення при натопі при переривчастому опаленні, але при такому режимі витрачається значно більше енергоресурсів.

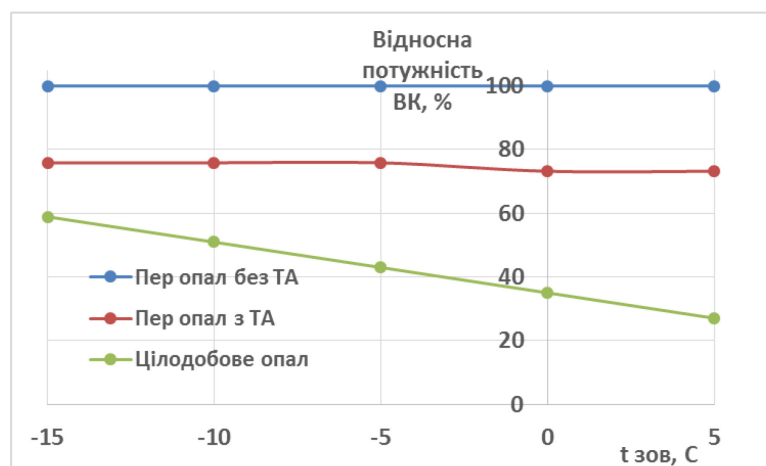


Рисунок 3.22 – Відносна потужність джерела теплоти при різних режимах роботи систем опалення та з тепловим акумулюванням

На рис. 3.23 наведено залежність щодо економії тепла у режимі переривчастого опалення від зовнішньої температури $t_{\text{зов}}$. Максимальна економія тепла – 15,5 %, в порівнянні з режимом цілодобового опалення, відповідає $t_{\text{зов}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, а мінімальна – 10,3 %, відповідно, при $t_{\text{зов}} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$. Це можна пояснити відповідним зменшенням початкового (ранкового) режиму натопу з 7 до 1 години, та збільшенням періоду вимкнення опалення на протягом доби.

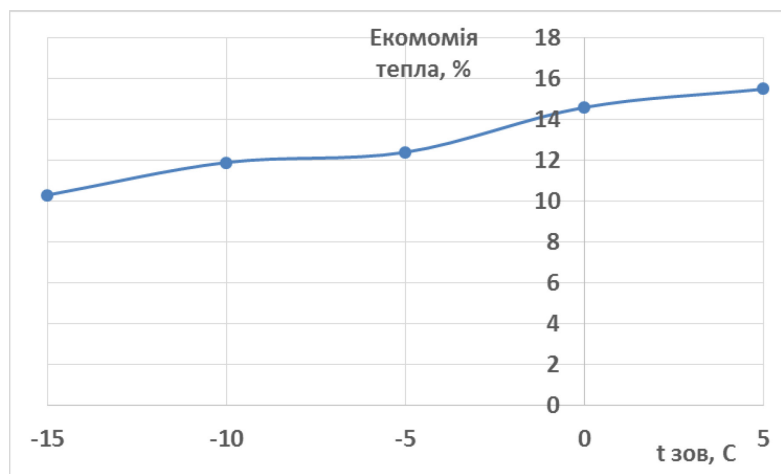


Рисунок 3.23 – Залежність економії тепла у переривчастому режимі опалення від зовнішньої температури

3.4 Оптимізація потужності водогрійного котла в режимі переривчастого опалення з акумулятором тепла

Форсування потужності опалення у години ранкового натопу потребує відповідного збільшення номінальної потужності ВК. Для будівлі, що досліджується в роботі, потужність системи опалення у години ранкового натопу склала $Q_{\text{оп}} = 135$ кВт при розрахунковій потужності ВК $Q^{\text{ВК}} = 70$ кВт, тобто перевищення потужності ВК в порівнянні з розрахунковим складає 92 %. Застосування в системі опалення ТА у режимі розрядження при паралельній роботі з ВК, дозволяє значно знизити його потужність та водночас забезпечити необхідне теплове навантаження системи у години натопу.

В роботі було розв'язано задачу щодо максимального використання потенціалу ТА при відповідному зменшенні потужності генератора тепла системи опалення.

Обмеження щодо використання потенціалу ТА:

1. час роботи ВК при зарядженні ТА – не більше 5 годин увечері під час перемикавання водогрійного котла з режиму опалення в режим заряджання ТА (обмежується часом використання ВК на опалення у робочі години);

2. температурний діапазон роботи ТА в режимі розрядження-зарядження – 60–80 °С.

При цьому необхідно виконати умову щодо рівності максимальної потужності ВК в години натопу та в години зарядження ТА: $Q_{\text{ВК}}^{\text{нат}} = Q_{\text{ВК}}^{\text{зар}}$.

Розв'язання такої задачі може бути виконано різними методами, наприклад, графоаналітичним [73].

В роботі запропоновано розв'язати дану задачу, як задачу щодо пошуку екстремуму функції для декількох змінних з урахуванні обмежень, початкових та граничних умов, що накладаються на систему та її змінні під час оптимізації.

Математична постановка задачі щодо максимального використання потужності ТА [87] схожа з формулюванням задачі щодо оптимізації режиму навантаження системи опалення (3.1) з відповідними змінними:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=0}^{23} Q_i = \sum_{i=0}^{23} Q_i^{\text{ВК}} \rightarrow \min \\ Q_{\min}^{\text{ВК}} \leq Q_i^{\text{ВК}} \leq Q_{\max}^{\text{ВК}} \\ Q_{\text{ВК}}^{\text{нат}} = Q_{\text{ВК}}^{\text{зар}} = Q_{\text{ВК}}^{\max} \\ i = \overline{0,23} \end{array} \right.$$

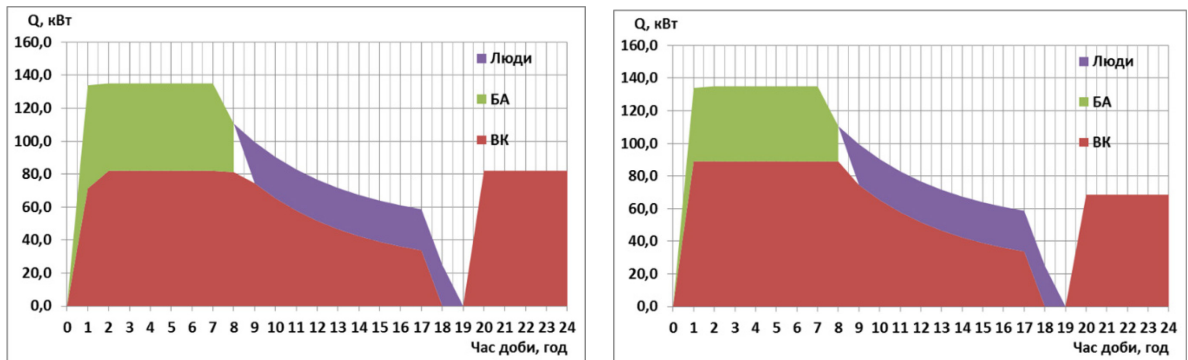
За результатами проведеного дослідження отримано добові графіки навантаження джерела теплоти, споживачів, процесу розрядження-зарядження ТА, температури повітря в приміщенні будівлі, температури теплоносія, за умови дотримання мінімальної витрати енергоресурсів (рис. 3.24, а).

У порівнянні з режимом при розрахунковій потужності ВК, відповідно збільшилась потужність ВК на зарядження ТА і кількість тепла в ТА.

Порівняння розв'язання задачі оптимізації потужності ВК в різній постановці (рис.3.24 а, і 3.24 б) дає наступні результати:

1. Потужність ВК відповідно знижено з 89 до 82 кВт, тобто на 8 %;
2. Об'єм баку теплового акумулятора збільшено з 15 до 18 м³;

3. Запас тепла в ТА при зовнішній температурі $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно збільшився з 340 до 410 кВт·год.



а) при оптимізації потужності ВК б) при розрахунковій потужності ВК

Рисунок 3.24 – Добові графіки навантаження системи у переривчастому режимі опалення при $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 3.25 наведено результати моделювання динаміки розрядження-зарядження ТА протягом доби від зовнішньої температури в діапазоні $t_{\text{зов}} = -15 - +5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Зміна температури в ТА в режимі розрядження-зарядження складає $60-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Початок процесу зарядки розпочинається о 19.00 годині, кінець процесу заряджання – о 24.00 годині. Розрядження ТА триває з 1.00 до 8.00 під час початкового режиму натопу при $t_{\text{зов}} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ та, відповідно, зменшується з 6.00 до 8.00 при $t_{\text{зов}} = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

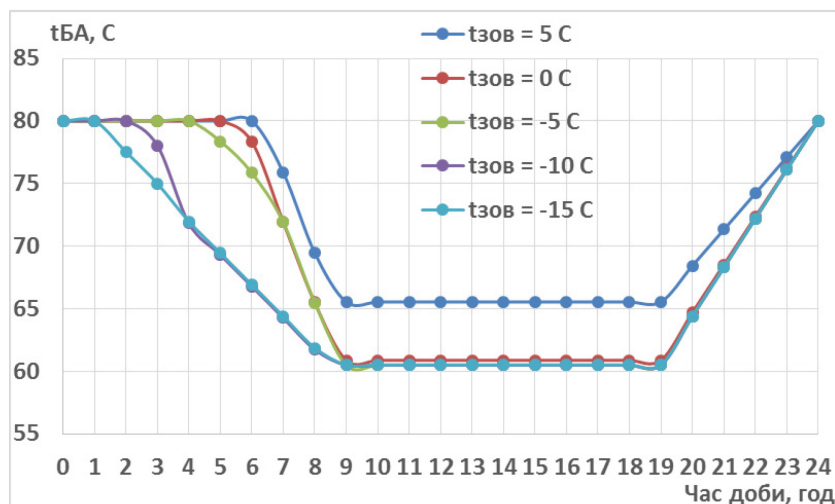


Рисунок 3.25 – Динаміка розрядження-зарядження ТА протягом доби від зовнішньої температури

3.5 Висновки по розділу 3

1. Виконано аналіз щодо енергетичної ефективності системи тепlopостачання в режимі переривчастого опалення, відповідне порівняння з цілодобовим режимом опалення. За результатами чисельного моделювання системи тепlopостачання визначено залежності від зовнішніх умов показників системи в цілому та її складових частин.

2. Результати моделювання режимів навантаження системи тепlopостачання підтвердили можливість щодо створення ефективних систем в режимі переривчастого опалення.

3. Моделювання динаміки розрядження-зарядження теплового акумулятора під час реалізації режиму переривчастого опалення підтверджує можливість щодо зниження максимальної потужності водогрійного котла та додаткового зниження цієї потужності за умови оптимального використання потенціалу теплового акумуляування.

4. Застосування режиму переривчастого опалення в системі тепlopостачання забезпечує додаткові можливості з економії енергоресурсів на 10–16 %.

5. У години ранкового натопу потрібно забезпечити максимальне навантаження системи опалювання для мінімізації часу досягнення комфортної температури повітря в будівлі (під час проєктування системи необхідно передбачити збільшення потужності системи опалення або встановлення додаткової теплової потужності до існуючих систем).

6. За результатами моделювання режимів навантаження системи опалення з тепловим акумулятором при зміні зовнішньої температури повітря в межах $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ було отримано оптимальні режими навантаження основних елементів системи. Досягнення підвищеної точності при моделюванні переривчастого режиму опалення здійснено введенням малоінерційної складової при моделюванні динаміки температури повітря в будівлі.

РОЗДІЛ 4 РОБОТА СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ В БУДІВЛЯХ КОМУНАЛЬНОГО СЕКТОРУ

4.1 Структура системи теплозабезпечення теплоти в будівлі комунального сектору

Новітні споруди комунального господарства (як житлові, так і будівлі громадського призначення) оснащуються сучасними енергоефективними системами теплопостачання [88]. Зазвичай кожна будівля оснащується своїм джерелом теплоти. У більшості випадків це газова котельня. В якості основного обладнання використовується каскад газових конденсаційних турбованих котлів тепловою потужністю від 100 до 200 кВт кожен. Використання каскаду газових котлів дозволяє, з одного боку, розширити загальну модуляцію теплової потужності котельні, а внаслідок підвищити енергоефективність системи теплопостачання [89]. З іншого боку вказаний підхід дозволяє підвищити надійність системи теплозабезпечення.

Також новітні будинки оснащуються системами кондиціонування (фреоновими або гідронними) з вбудованою функцією «тепловий насос», що також дає змогу забезпечувати теплотою споживачів [90]. Фреонові можуть бути центральними, із розташуванням зовнішніх блоків зазвичай на даху будівлі, або локальними – окремі спліт, або мультіспліт системи для кожної квартири окремо. Вказані системи беруть участь (або мають змогу брати участь) у формуванні клімату в приміщеннях та підтримувати робочу температуру в опалювальний період.

В останні роки внаслідок частих відключень від електроенергії все більше власників будинків (як житлових, так і громадського призначення) не відмовляються від централізованих систем теплопостачання, а використовують їх в якості резервного джерела теплоти. Як показали опалювальні періоди останніх років, джерела центрального теплопостачання швидше відновлюють свою роботу після знеструмлення, ніж локальні котельні. Насамперед завдяки встановленню на їх

майданчиках резервних джерел енергопостачання – газові генератори, когенераційні установки [91].

Наявність декількох джерел теплоти дають змогу організувати низку сценаріїв роботи системи теплопостачання та визначити рівень надійності загалом всієї системи теплозабезпечення. Для розрахунку було обрано житловий будинок, режими роботи якого було раніше розглянуто (п. 2.2).

1. Режим роботи «номінальний» – робота газової опалювальної котельні:

джерело теплоти – каскад газових котлів:

- а) 8 котлів тепловою потужністю 100 кВт кожен;
- б) 6 котлів тепловою потужністю 150 кВт кожен;
- в) 4 котли тепловою потужністю 200 кВт кожен.

2. Режим роботи «енергоефективний» – робота газової опалювальної котельні при значних низьких температурах зовнішнього повітря (нижче $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) покриває всі потреби теплопостачання. Робота газової котельні в конденсаційному режимі для забезпечення чергової температури в приміщеннях протягом доби. Доведення до робочої температури в приміщеннях здійснюється системами кондиціонування [92]. Такий режим здатен значно знизити витрати природного палива і реалізувати гнучкий підхід до підтримання робочої температури в приміщеннях де знаходяться люди [93]. При цьому внутрішні блоки за рахунок примусової конвекції здатні швидко прогрівати приміщення.

3. Аварійний режим – при відключенні електроенергії в будівлях на довгостроковий термін за рахунок підключення до централізованих систем теплопостачання є можливість забезпечити принаймні чергову температуру в приміщеннях.

4. Запасний режим – при аварійному відключенні газу можлива комбінована робота централізованої системи теплопостачання та фреонових систем кондиціонування.

4.2 Аналіз надійності роботи джерела теплоти для будівлі комунального сектору

Зниження надійності теплопостачання будівлі комунального господарства можливе як через внутрішні фактори (аварійні останови джерел теплоти), так і внаслідок зовнішніх факторів (знеструмлення центральних джерел енергопостачання) [94]. Останнє вирішується встановленням додаткових джерел електропостачання.

Що стосується першої (основної) обставини, то вона залежить як від надійності однієї одиниці обладнання, так і від кількості джерел теплоти [95].

Ймовірність безвідмовності системи теплопостачання взагалі – q_m в інтервалі t , тобто при максимумі навантаження, може бути визначена за формулою [96]:

$$q_m = 1 - p_m(A|B) = 1 - \frac{p_m(A \cap B)}{p_m(B)}, \quad (4.1)$$

де $p_m(A \cap B)$ – ймовірність одночасного настання обох подій A і B . Подія означає, що відмова k агрегатів є причиною відмови системи;

$p_m(B)$ – ймовірність настання події B , тобто відмова k агрегатів в m -му інтервалі;

$p_m(A)$ – ймовірність відмови повноцінного функціонування всієї енергосистеми, в нашому прикладі в найбільш напруженому січневому інтервалі ΔT_1 .

Ймовірність виникнення k відмов агрегатів у j -му інтервалі P^k_j може бути знайдена за формулою для пуассонівського розподілу, який описує ймовірність подій, що відбуваються за встановлений проміжок часу ΔT_j за умови, що вони незалежні одна від одної [97]. В кожному випробуванні ймовірність приймається постійною, і якщо при цьому виконується загальна умова, що кількість елементів системи n помножена на ймовірність відмов $p - np < 10$, то ймовірність того, що в n випробуваннях відмова наступить рівно k разів приблизно рівна:

$$P_j^k = \frac{(\lambda_j)^k}{k!} \cdot \exp(-\lambda_j), \quad (4.2)$$

де λ_j – сумарна інтенсивність відмов у j -му інтервалі;
 $p(N^r_m|k)$ – умовна ймовірність того, що при відмовах k агрегатів в j -му інтервалі відбудеться відмова системи, коли сумарна потужність енергетичних агрегатів, виведених з роботи внаслідок відмов, перевищить потужність оперативного резерву; її значення може бути визначено по розподілу Бернуллі чи Лапласа.

Для практичного використання в більшості випадків, розв'язання задачі резервування потужності може бути виконано і за більш простою і більш точною, при невеликій кількості елементів системи, методикою, побудованій на розподілі Бернуллі, яку ми і використаємо для поглибленого аналізу[98].

За цим методом ймовірність P_j^k виникнення k відмов агрегатів у j -му інтервалі часу

$$P_j^k = \frac{n! \cdot p^k \cdot (1-p)^{(n-k)}}{k! \cdot (n-k)!}, \quad (4.3)$$

де n – загальна кількість встановлених об'єктів генерації;
 k – кількість відмов, що розглядається;
 p – ймовірність відмови окремого елементу системи.

Проаналізуємо наступні варіанти резервування котельні з однотипними котлами у кількості n , що дорівнює чотирьом, шести або восьми, з можливими значеннями ймовірності відмов $p = 0,1$. За цими вихідними даними визначимо ймовірність аварійного відключення одного, двох, трьох та чотирьох котлів.

Для спрощення розрахунків, особливо при великих значеннях кількості елементів системи, можна використати один з відомих пакетів символьних обчис-

лень Maple [99]. Так, в Maple результати розрахунку мають наступний вигляд (рис.4.1, 4.2).

```

restart; p := proc (p, n, k) options operator, arrow;
factorial(n)*p^k*(1-p)^(n-k)/(factorial(k)*factorial(n-k)) end proc;
                                k      (n - k)
                                factorial(n) p (1 - p)
p := (p, n, k) -> -----
                    factorial(k) factorial(n - k)
їмовірність виходу тільки одного котла при n 4,6,8
p1 := p(.1, 4, 1);
                                p1 := 0.2916
p1 := p(.1, 6, 1);
                                p1 := 0.354294
p1 := p(.1, 8, 1);
                                p1 := 0.38263752
їмовірність виходу двох котлів при n 4,6,8
p2 := p(.1, 4, 2);
                                p2 := 0.0486
p2 := p(.1, 6, 2);
                                p2 := 0.098415
p2 := p(.1, 8, 2);
                                p2 := 0.14880348
їмовірність виходу хоча б одного чи більше котлів - від 1 до n
p2 := sum(p(.1, 4, s), s = 1 .. 4);
                                p2 := 0.3439000000
p2 := sum(p(.1, 6, s), s = 1 .. 6);
                                p2 := 0.4685590000
p2 := sum(p(.1, 8, s), s = 1 .. 8);
                                p2 := 0.5695327900

```

Рисунок 4.1. – Результати розрахунку ймовірності відмов котельного обладнання в середовищі системи символної математики Maple

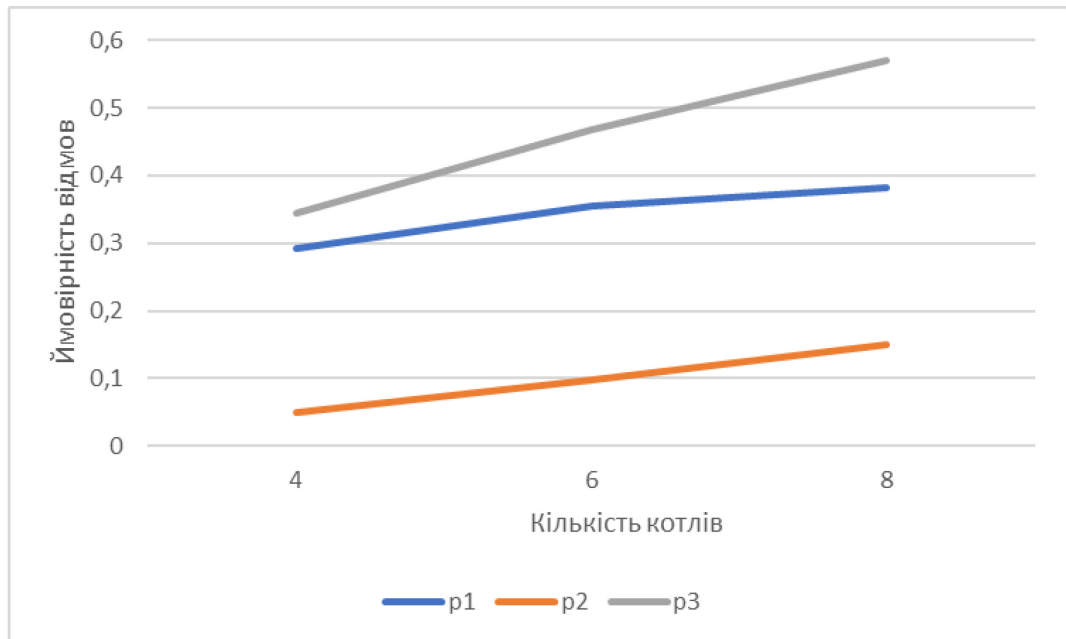


Рисунок 4.2 – Графік зміни ймовірностей відмови основних джерел теплоти з індивідуальною ймовірністю відмов $p = 0,1$ при зміні загальної кількості елементів n : $n = 4, n = 6, n = 8$. $p1$ – ймовірність виходу з ладу тільки одного котла; $p2$ – ймовірність виходу з ладу двох котлів; $p3$ – ймовірність виходу з ладу одного чи більше котлів;

Як видно з отриманих результатів дослідження, ймовірність виходу з ладу одного котла зростає зі зростанням кількості котлів, також подібна тенденція спостерігається і для двох та більше котлів [100]. При цьому показник надійності котельні в цілому може мати іншу тенденцію.

Для оцінки показників надійності котельні в цілому було використано підхід Лапласа для котельні, що складається з чотирьох, шести та восьми котлів з різними показниками надійності роботи протягом розрахункового періоду відповідно:

– $p1 = 0,92$ – при котельні з 4 котлів (одинична потужність кожного 200 кВт);

– $p2 = 0,95$ – при котельні з 6 котлів (одинична потужність кожного 150 кВт);

– $p3 = 0,97$ – при котельні з 8 котлів (одинична потужність кожного 100 кВт);

Ймовірність, що жоден елемент не вийде з ладу знаходимо за формулою:
для 4 котлів:

$$p(0)=p_{11}\cdot p_{12}\cdot p_{13}\cdot p_{14}=0,92\cdot 0,92\cdot 0,92\cdot 0,92\approx 0,716$$

для 6 котлів:

$$p(0)=p_{21}\cdot p_{22}\cdot p_{23}\cdot p_{24}\cdot p_{25}\cdot p_{26}=0,95\cdot 0,95\cdot 0,95\cdot 0,95\cdot 0,95\cdot 0,95\approx 0,735$$

для 8 котлів:

$$\begin{aligned} p(0) &= p_{31}\cdot p_{32}\cdot p_{33}\cdot p_{34}\cdot p_{35}\cdot p_{36}\cdot p_{37}\cdot p_{38}= \\ &= 0,97\cdot 0,97\cdot 0,97\cdot 0,97\cdot 0,97\cdot 0,97\cdot 0,97\cdot 0,97\approx 0,784 \end{aligned}$$

Очевидно, що ймовірність, що з ладу вийде хоча б один елемент $p = 1$ складе:

для 4 котлів:

$$p(0)=1 - 0,716\approx 0,284.$$

для 6 котлів:

$$p(0)=1 - 0,735\approx 0,265.$$

для 8 котлів:

$$p(0)=1 - 0,784\approx 0,216.$$

Розглянемо також варіанти, коли з ладу вийде хоча б один котел, а це означає, що від одного до трьох котлів може вийти з ладу [101]. Для цього випадку ймовірність визначається за сумуванням ймовірностей:

$$p = p_1 \cdot q_2 \cdot q_3 + q_1 \cdot p_2 \cdot q_3 + q_1 \cdot q_2 \cdot p_3$$

Обчислимо ймовірності протилежних подій:

$$q_1 = 1 - p_1 = 1 - 0,92 = 0,08$$

$$q_2 = 1 - p_2 = 1 - 0,95 = 0,05$$

$$q_3 = 1 - p_3 = 1 - 0,97 = 0,03$$

Підставляємо ці значення в наведену вище формулу отримаємо:

для 4 котлів:

$$p = 0,92 \cdot 0,08 \cdot 0,08 + 0,08 \cdot 0,92 \cdot 0,08 + 0,08 \cdot 0,08 \cdot 0,92 = 0,018$$

для 6 котлів:

$$p = 0,95 \cdot 0,05 \cdot 0,05 + 0,05 \cdot 0,95 \cdot 0,05 + 0,05 \cdot 0,05 \cdot 0,95 = 0,0071$$

для 8 котлів:

$$p = 0,97 \cdot 0,03 \cdot 0,03 + 0,03 \cdot 0,97 \cdot 0,03 + 0,03 \cdot 0,03 \cdot 0,97 = 0,0026$$

Як видно з проведеного дослідження ймовірність виходу з ладу трьох котлів за підходом Лапласа значно нижча при кількості котлів вісім [102]. Це свідчить про підвищення надійності роботи джерела теплоти при використанні восьми котлів порівняно із шістьма котлами майже у 4 рази, а порівняно з котельнею з чотирма котлами – майже у 7 разів.

4.3 Дослідження роботи теплового насоса із відведенням теплоти з ґрунту для потреб тепlopостачання житлового будинку

Для індивідуального житлового будинку було проведено натурні дослідження роботи теплового насоса із відбором теплоти з ґрунту [103].

Основні технічні показники котеджу:

Розташування – м. Одеса;

Площа будинку – 450 м²;

Кількість мешканців – 5 осіб;

Кількість поверхів у будинку – 2.

Схема тепlopостачання (рис. 4.3) оснащена двома типами джерел теплоти [104, 105, 106]:

– тепловий насос із відбором теплоти від ґрунту (2 шт.) – основне джерело енергії;

– газовий конденсаційний котел, тепловою потужністю – 40 кВт – резервне джерело теплової енергії;

– додатково на даху встановлено сонячні колектори - 12 шт.

Споживачами теплоти в будинку є:

– система радіаторного опалення;

– система опалення «тепла підлога»;

– система приготування гарячої води;

– технологічні потреби відкритого басейну (взимку він не працює).

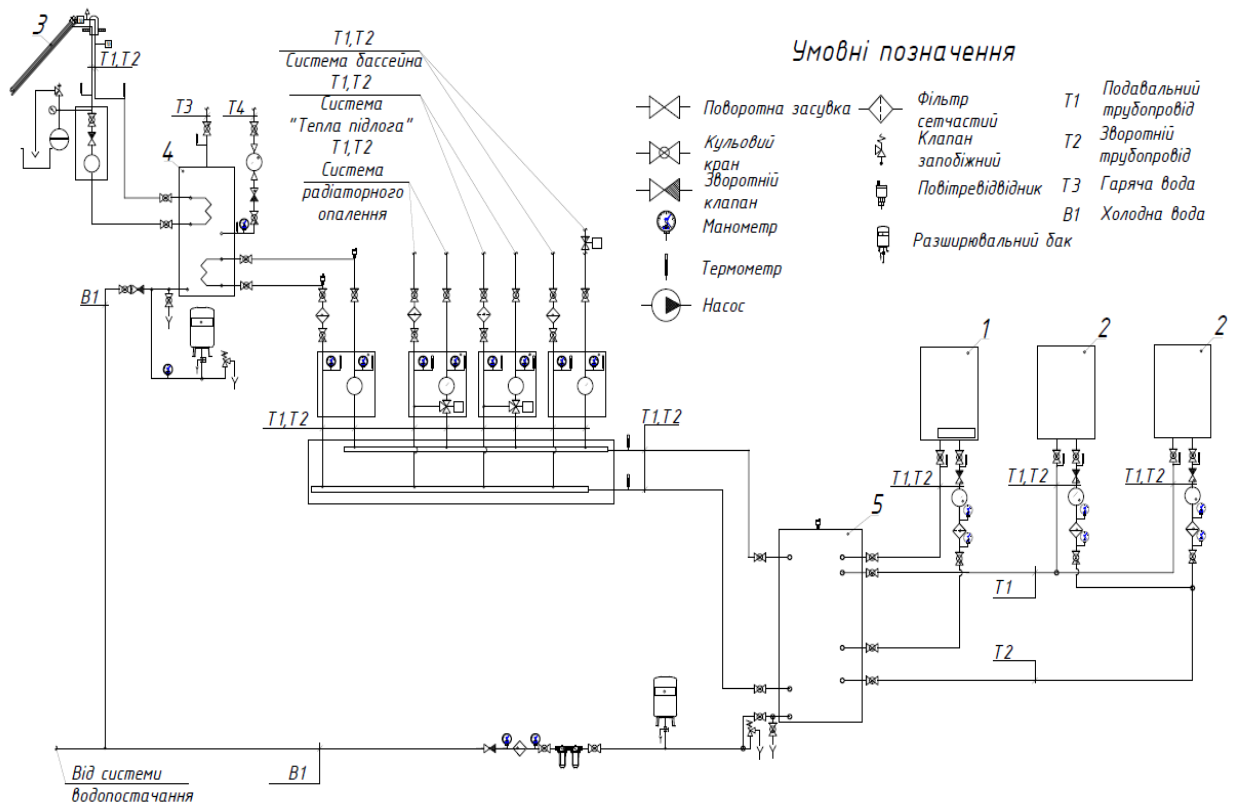
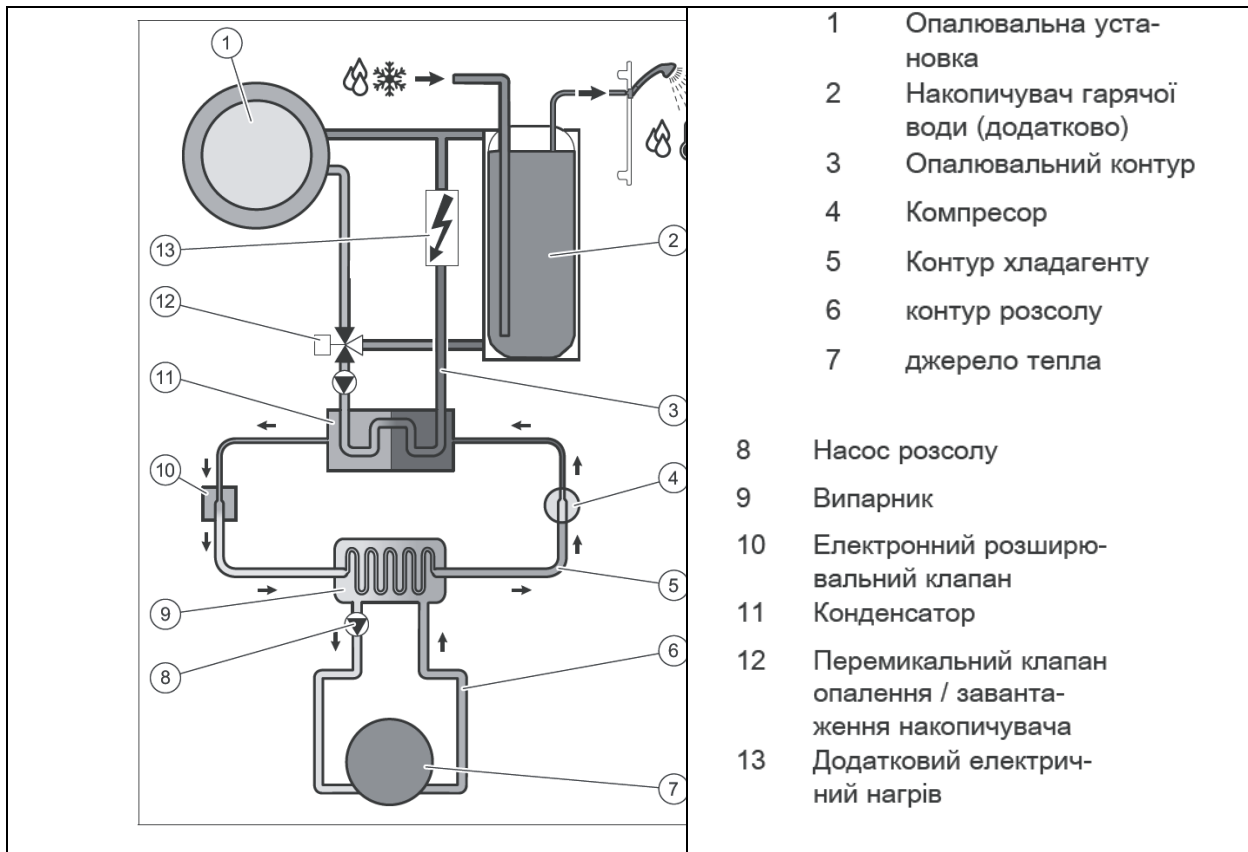


Рисунок 4.3 – Принципова схема теплопостачання житлового будинку

1 – газовий котел; 2 – гідромодуль теплового насоса; 3 – сонячний колектор;
4 – водонагрівач-акумулятор; 5 – буферна ємність/гідравлічний розмежувач

Як вже було вказано, основним джерелом теплоти є 2 теплових насоса типу «вода-вода» із відбором теплоти з ґрунту flexoTHERM exclusive VWF 197/4 (рис. 4.4, 4.5), номінальною тепловою потужністю 19,7 кВт із вбудованими додатково ТЕНами по 9 кВт кожний. Застосування двох теплових насосів підвищує як надійність роботи системи теплопостачання в цілому, так і її ефективність [107]. Наявність двох теплових насосів дозволяє покращити процес регенерації теплоти в ґрунті [108].



а)



б)

Рисунок 4.4 – Принципова схема улаштування (а) та компонентів (б) теплового насоса flexoTHERM exclusive VWF [109]

	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Потужність опалення B0/W35 ΔT 5 K	5,30 кВт	8,90 кВт	11,20 кВт	14,50 кВт	19,70 кВт
Ефективна споживана потужність B0/W45 ΔT 5K	1,13 кВт	1,75 кВт	2,24 кВт	2,96 кВт	4,19 кВт
Показник потужності B0/W35 ΔT 5 K / Coefficient of Performance EN 14511	4,70	5,10	5,00	4,90	4,70
Показник потужності B0/W55 ΔT 8 K / Coefficient of Performance EN 14511	3,00	3,30	3,20	3,20	3,20
Потужність опалення B10/W35 ΔT 5 K	6,60 кВт	10,50 кВт	13,70 кВт	17,70 кВт	24,20 кВт
Ефективна споживана потужність B10/W35 ΔT 5K	1,14 кВт	1,78 кВт	2,21 кВт	2,81 кВт	4,17 кВт
Показник потужності B10/W35 ΔT 5 K / Coefficient of Performance EN 14511	5,80	5,90	6,20	6,30	5,80

	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Макс. задана температура лінії подачі режиму опалення зі зовнішнім додатковим нагрівом	75 °C	75 °C	75 °C	75 °C	75 °C
Макс. задана температура лінії подачі режиму опалення без додаткового нагріву	65 °C	65 °C	65 °C	65 °C	65 °C

Рисунок 4.5 – Основні характеристики теплового насоса flexoTHERM exclusive VWF [109]

Дослідження роботи системи теплопостачання проводилося протягом опалювального періоду у 2024-2025 роки. Дані збиралися та опрацьовувалися щодня. Для аналізу ефективності роботи системи теплопостачання із основним джерелом теплоти – тепловими насосами з відбором теплоти від ґрунту – було вибрано два характерні добові періоди з зі схожими параметрами зовнішнього повітря (узагальнений діапазон температури зовнішнього повітря $-1\text{ }^{\circ}\text{C} - +1\text{ }^{\circ}\text{C}$):

- понеділок 30 грудня 2024 року;
- неділя 29 грудня 2024 року;
- діапазон температур зовнішнього повітря «-1/+1» °C.

Для вказаних днів було отримано залежності генерації теплоти для потреб опалення (рис. 4.6, 4.10), гарячого водопостачання (рис. 4.8, 4.12) та споживання електроенергії для вказаних потреб (рис. 4.7, 4.9, 4.11, 4.13).

III 135,0 kWh

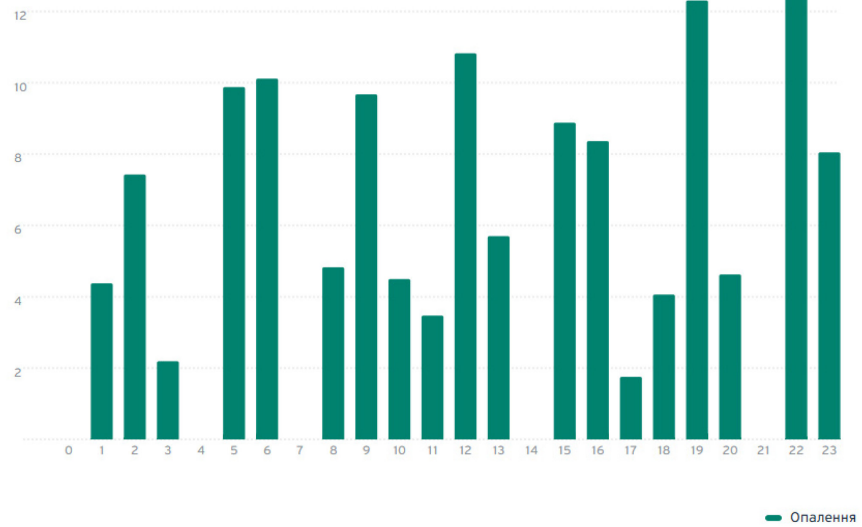


Рисунок 4.6 – Графік зміни теплового навантаження на потреби опалення від ТН впродовж понеділка 30.12.2024

II 29,0 kWh

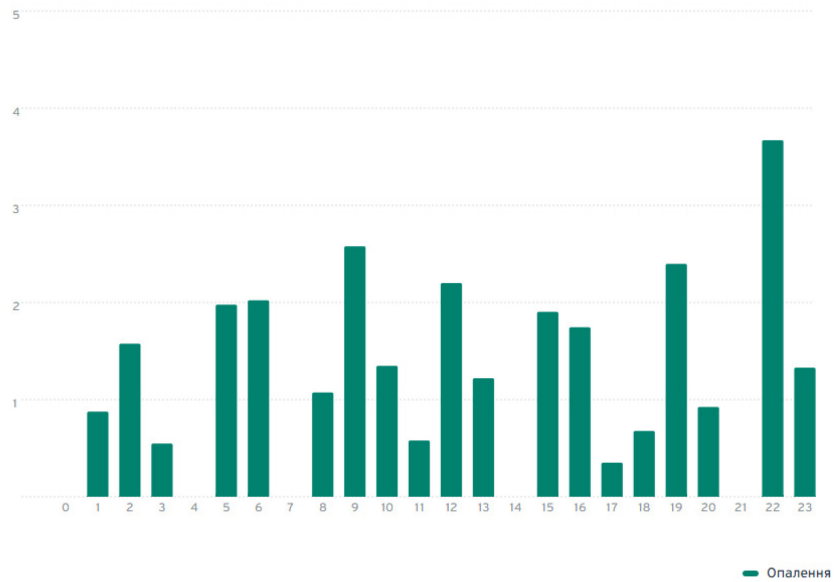


Рисунок 4.7 – Графік зміни споживання електроенергії на потреби опалення від ТН впродовж понеділка 30.12.2024

🔌 374,3 kWh

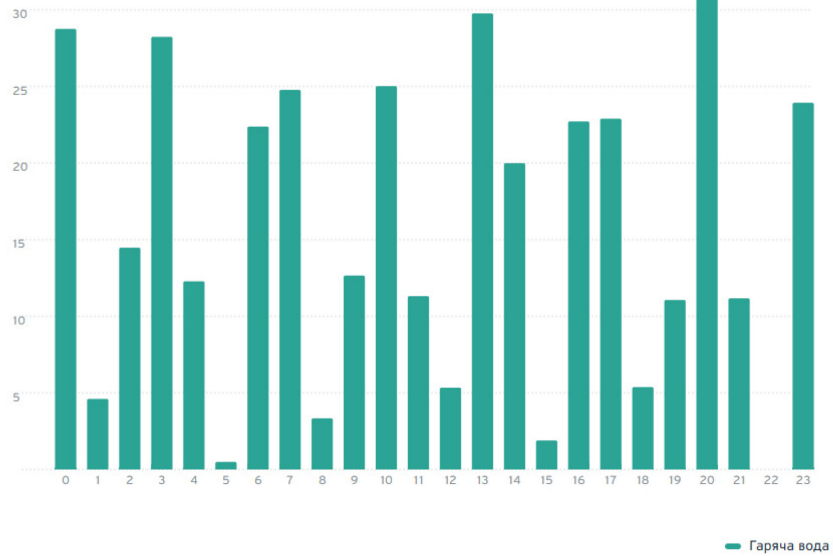


Рисунок 4.8 – Графік зміни теплового навантаження на потреби ГВП від ТН впродовж понеділка 30.12.2024

⚡ 123,7 kWh

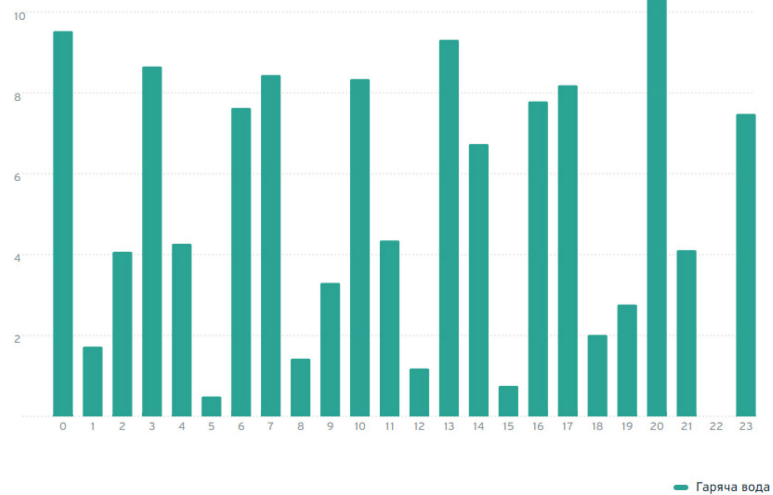


Рисунок 4.9 – Графік зміни споживання електроенергії на потреби ГВП від ТН впродовж понеділка 30.12.2024

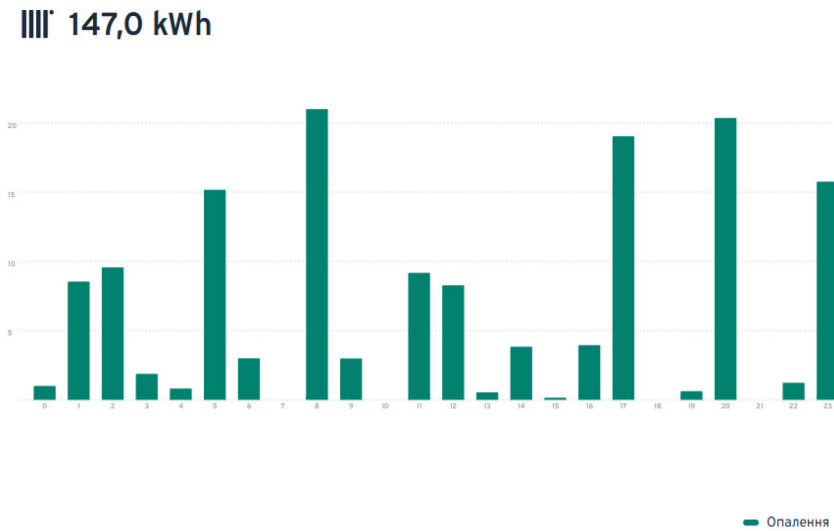


Рисунок 4.10 – Графік зміни теплового навантаження на потреби опалення від ТН впродовж неділі 29.12.2026

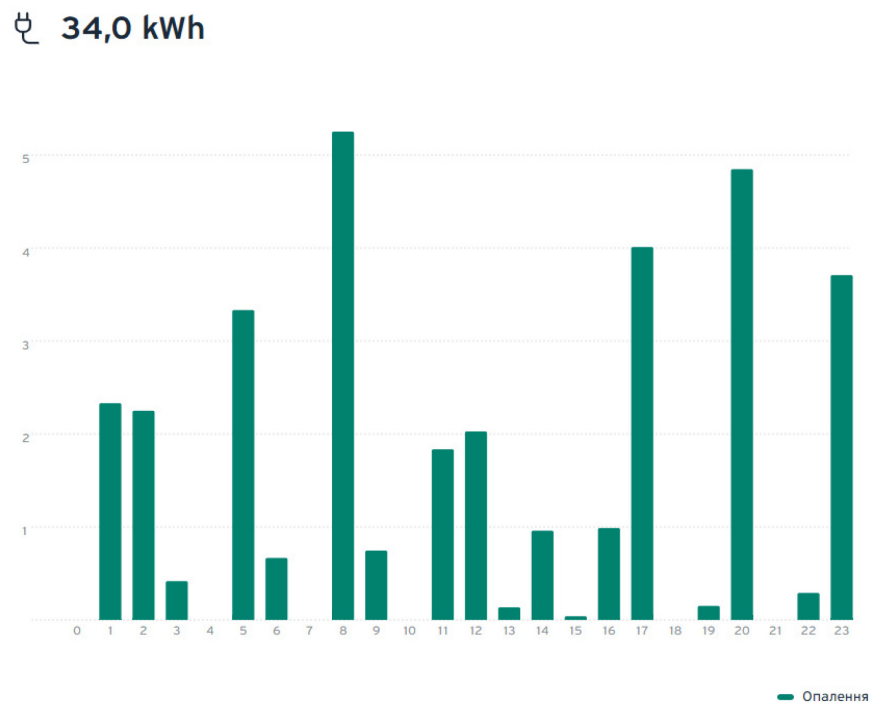


Рисунок 4.11 – Графік зміни споживання електроенергії на потреби опалення від ТН впродовж неділі 29.12.2024

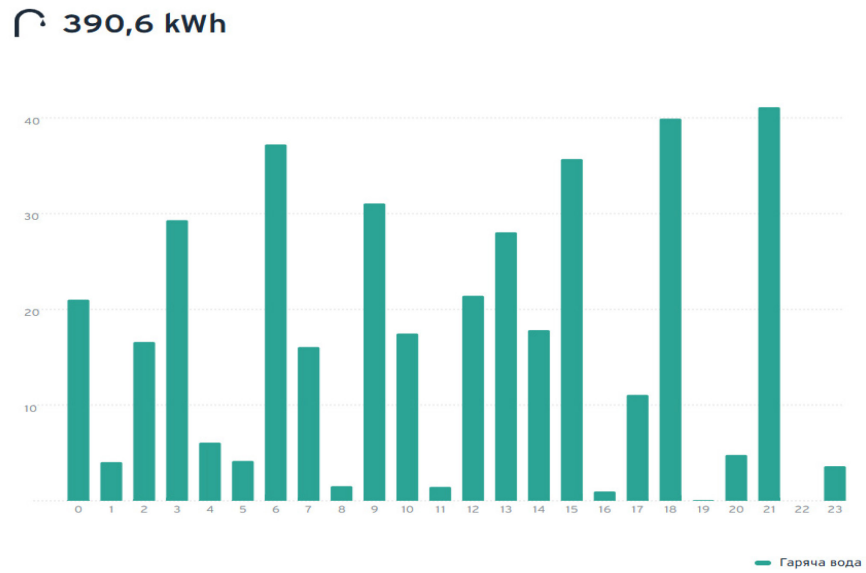


Рисунок 4.12 – Графік зміни теплового навантаження на потреби ГВП від ТН впродовж неділі 29.12.2024

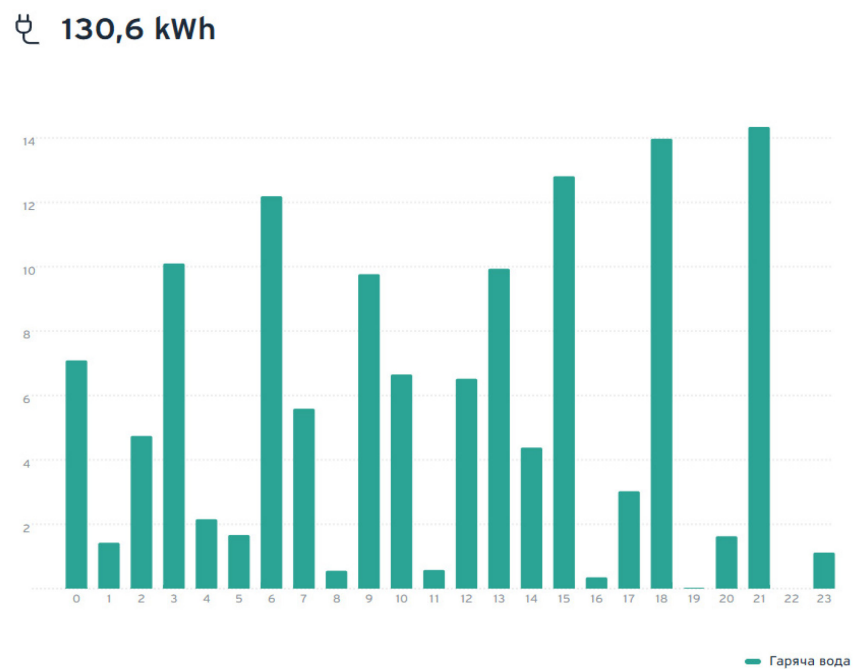


Рисунок 4.13 – Графік зміни споживання електроенергії на потреби ГВП від ТН впродовж неділі 29.12.2024

Результати спостережень за роботою теплового насоса дають змогу провести аналіз режимів роботи системи комбінованого теплопостачання. Як видно з графіків (рис. 4.6, 4.8, 4.10, 4.11), теплові насоси працюють у змінному за потуж-

ністю режимі тепlopостачання, відповідно до запитів систем автоматики на забезпечення необхідною кількістю теплоти. Нерівномірна робота також пояснюється наявністю гідравлічного розмежувача невеликої ємності, що зменшує загальну інерційність системи теплозабезпечення та підвищує частоту вмикання ТН[110]. Вказане впливає, в свою чергу, і на надійність системи: максимальна потужність ТН за добу сягає 36,6 кВт, мінімальна – 7,5 кВт. Тобто при максимальній потужності повинні працювати два теплові насоси, при мінімальній – один з доволі низьким навантаженням.

Слід також зазначити, що система автоматизації прагне працювати в різних режимах для забезпечення потреб в опаленні та гарячому водопостачанні. В більшості випадків максимум навантаження одного споживача збігається за часовим проміжком з провалом, або середнім значенням іншого (рис. 4.14, 4.15).

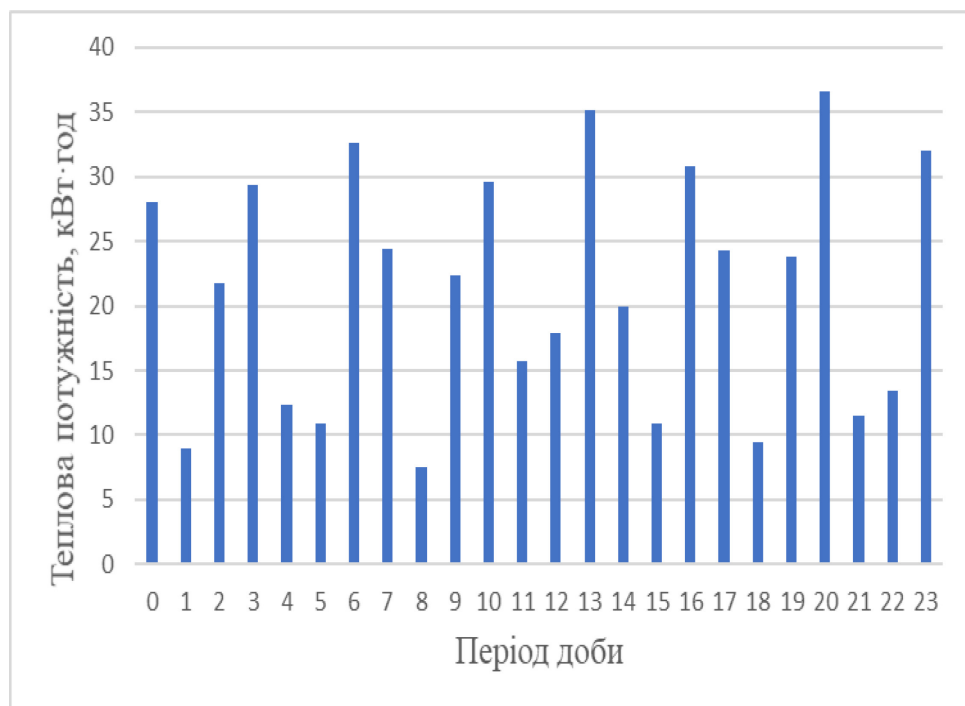


Рисунок 4.14 – Графік загального теплового навантаження на потреби опалення та ГВП від ТН впродовж понеділка 30.12.2024

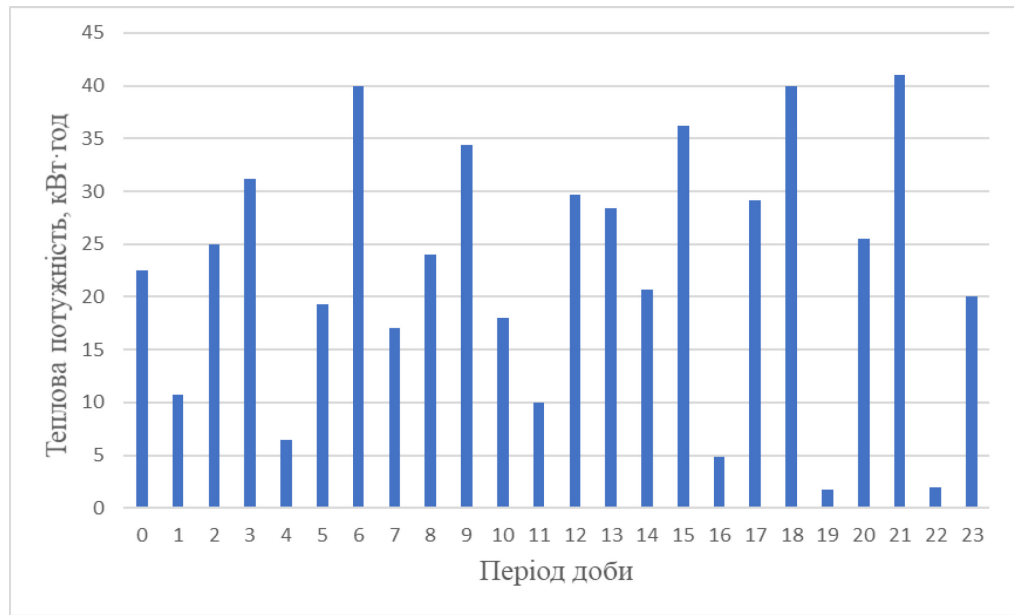


Рисунок 4.15 – Графік загального теплового навантаження на потреби опалення та ГВП від ТН впродовж неділі 29.12.2024

Також слід відмітити, що одночасна робота обох теплових насосів негативно впливає на регенерацію теплоти в ґрунті, що, в свою чергу, позначається на ефективності роботи обох ТН [111]. При цьому значення COP для обох днів залежать від навантаження ТН та тривалості роботи системи теплопостачання (рис. 4.16).

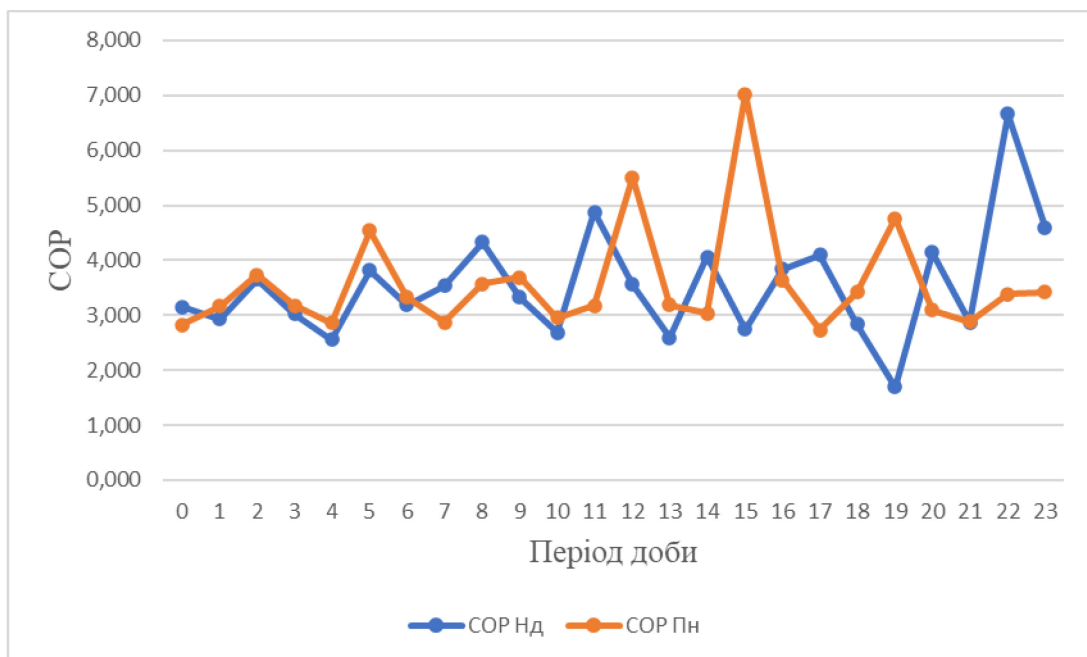


Рисунок 4.16 – Графік зміни COP опалення та ГВП від ТН впродовж неділі 29.12.2024 та понеділка 30.12.2024

Як видно з отриманих результатів дослідження (рис. 4.14), значення COP теплових насосів залежить від тривалості теплового навантаження при високих значеннях споживання теплоти. Це пояснюється інтенсивністю відбору теплоти від ґрунту та падінням температури джерела теплоти у найближчих шарах ґрунтового теплообмінника.

Для підвищення ефективності роботи основного джерела теплоти та вирівнювання графіків роботи теплових насосів було проведено розрахунок середньодобового коефіцієнта використання максимальної потужності системи теплозабезпечення:

- для неділі $k_{c,d}=0,55$;
- для понеділка $k_{c,d}=0,58$.

На основі отриманих результатів розрахунку середньодобового коефіцієнта використання максимальної потужності системи теплозабезпечення було проведено дослідження роботи акумуляторів теплоти в системі тепlopостачання [112] протягом буднього дня (рис.4.17) та вихідного дня (рис. 4.18).



Рисунок 4.17 – Графік потенціалу акумуляції існуючого джерела теплоти протягом доби для житлового будинку в понеділок, 30.12.2024

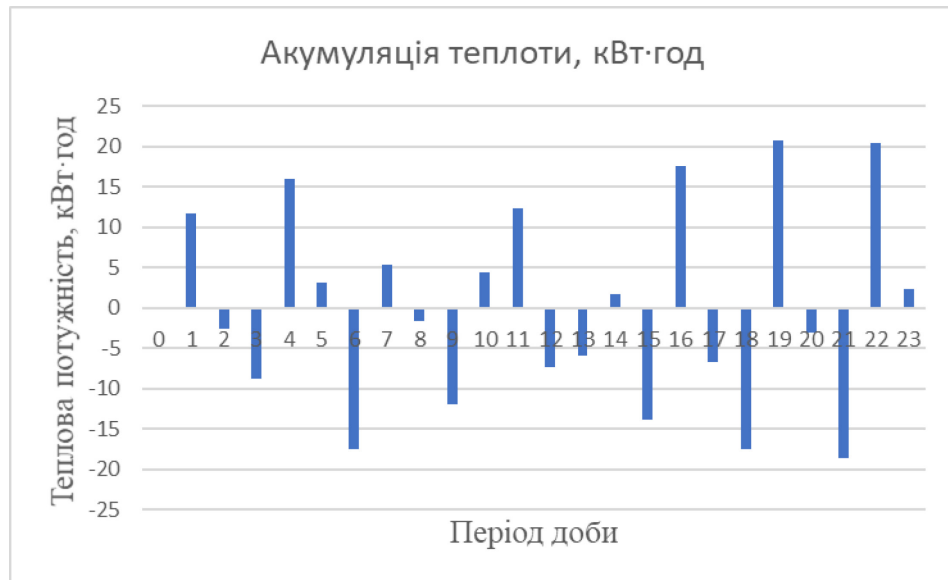


Рисунок 4.18 – Графік потенціалу акумуляції існуючого джерела теплоти протягом доби для житлового будинку у неділю, 29.12.2024

Отримані результати дослідження дають змогу оцінити об'єм акумулятора теплоти для підвищення ефективності роботи ТН та вирівнювання графіка його роботи з урахуванням його технічних характеристик:

- для буднього дня теплова максимальна потужність для акумулювання теплоти складає 13,72 кВт·год, що відповідає об'єму акумулятора 1,2 м³;
- для вихідного дня теплова максимальна потужність для акумулювання теплоти складає 20,40 кВт·год, що відповідає об'єму акумулятора 1,7 м³.

Як видно із результатів дослідження, встановлення акумуляторів теплоти дозволяє значно зменшити розрахункову теплову потужність джерела теплоти (ТН) майже на 44 %, при цьому нове значення розрахункової теплової потужності 22,4 кВт практично відповідає максимальній тепловій потужності одного теплового насоса за вказаних кліматологічних даних дослідження. Ця обставина дозволяє організувати почерговий режим роботи двох теплових насосів, що покращує регенерацію теплоти в ґрунті. Вказане, в свою чергу, дає змогу підвищити енергоефективність роботи теплового насоса.

Модернізація системи теплопостачання за наведеними рекомендаціями дозволить знизити енергоспоживання, підвищити енергоефективність та надійність теплопостачання.

4.4 Застосування геліосистем в комбінованих системах теплопостачання для підвищення ефективності роботи

4.4.1 Сучасні технології геліосистем для комунального сектору

У сучасних системах сонячного теплопостачання найпоширенішими типами геліоколекторів є плоскі та вакуумні сонячні колектори [113]. Вибір конкретного типу обладнання визначається кліматичними умовами експлуатації, температурним рівнем теплоносія, характером теплового навантаження, а також техніко-економічними показниками системи.

Основними перевагами плоских сонячних колекторів є відносно проста конструкція, висока механічна надійність, тривалий термін експлуатації та нижча вартість у порівнянні з вакуумними аналогами. Крім того, такі колектори характеризуються достатньо високою ефективністю при роботі в умовах помірних температур теплоносія та значної інтенсивності сонячного випромінювання [114].

Плоскі колектори найбільш доцільно використовувати в системах гарячого водопостачання, низькотемпературного опалення, а також у комбінованих системах теплопостачання будівель із сезонним характером споживання теплової енергії [115, 116].

Разом із тим основним недоліком плоских колекторів є зростання теплових втрат при підвищенні температури теплоносія та зниженні температури зовнішнього повітря.

Через наявність конвективних та теплопровідних втрат ефективність їх роботи суттєво зменшується в холодний період року, особливо за умов експлуатації при високих температурах. [117].

Вакуумні сонячні колектори мають більш складну конструкцію, що базується на використанні подвійних скляних трубок із вакуумним прошарком між ними [118].

Основною перевагою вакуумних колекторів є стабільність роботи в осінньо-зимовий період, за умов розсіяного сонячного випромінювання та при необхідно-

сті отримання теплоносія з температурою понад 60 – 80 °С. Це робить їх більш ефективними для систем опалення, технологічних процесів, а також для комбінованих систем теплопостачання з акумуляцією теплоти [119].

Крім того, вакуумні колектори демонструють кращі показники роботи при низькій інсоляції, оскільки мають менші теплові втрати та вищу ефективність перетворення сонячної енергії.

Недоліками вакуумних колекторів є вища вартість обладнання, складніша конструкція, підвищені вимоги до монтажу та технічного обслуговування. Також вакуумні трубки є більш чутливими до механічних пошкоджень, що може впливати на надійність системи при тривалій експлуатації.

Таким чином, плоскі сонячні колектори характеризуються нижчими капітальними витратами та доцільні для застосування в системах з невисокими температурними параметрами.

Вакуумні сонячні колектори, незважаючи на вищу вартість, забезпечують більш ефективне використання сонячної енергії в умовах холодного клімату та при високотемпературних режимах роботи.

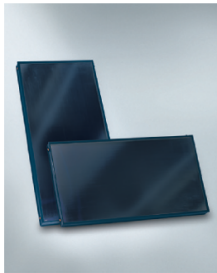
Остаточний вибір типу колектора повинен здійснюватися на основі техніко-економічного аналізу з урахуванням кліматичних умов, графіка теплового навантаження та характеристик об'єкта теплопостачання [120].

4.4.2 Дослідження ефективності роботи геліосистем у складі комбінованого теплопостачання індивідуального житлового будинку (котеджу)

Для умов котеджу (підрозд. 4.3) було проведено дослідження роботи геліосистем у комбінованій системі теплозабезпечення. Умовна суперечність у роботі геліосистем полягає в тому, що їх продуктивність в опалювальний період (коли є найбільша потреба у теплі) є найнижчою. З іншого боку, максимальну потужність геліосистема здатна виробляти в літній період, коли потреби споживачів мінімальні. Постає питання вибору як типу колекторів, так і орієнтації на роботу взимку або влітку. Вказане впливає на кут нахилу сонячних колекторів. Для вибору оп-

тимальної кількості колекторів та їх типу було проведено дослідження. Для порівняння було обрано два типи сонячних колекторів:

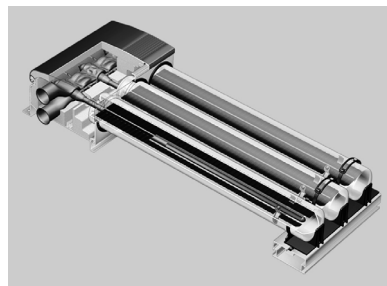
- плоский - Vitosol 200-FM, Viessmann, Німеччина (рис. 4.19);
- вакуумний - Vitosol 300-TM, Viessmann, Німеччина (рис. 4.20.).



Vitosol 200-FM

Vitosol 200-FM	Тип	SV2F	SH2F	SV2D
Площа брутто	м ²	2,51	2,51	2,51
Площа абсорбера	м ²	2,32	2,32	2,32
Площа апертури	м ²	2,33	2,33	2,33
Габарити				
Ширина	мм	1056	2380	1056
Висота	мм	2380	1056	2380
Глибина	мм	90	90	90
Вага	кг	41	41	41

Рисунок 4.19 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики плоского сонячного колектору Vitosol 200-FM



Технічні дані		1,25 м ²	1,51 м ²	3,03 м ²
Тип SPЗС				
Кількість трубок		10	12	24
Площа брутто	м ²	1,98	2,36	4,62
(необхідно знати для замовлення транспортних засобів)				
Площа поглинаючої поверхні	м ²	1,26	1,51	3,03
Площа апертури	м ²	1,33	1,60	3,19

Рисунок 4.20 – Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики вакуумного сонячного колектору Vitosol 300-TM

Дослідження проводилось для умов зими та літа. При цьому відстань між рядами колекторів визначалась в залежності від кута нахилу.

$$\frac{z}{h} = \frac{\sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}{\sin \beta}$$

де z – відстань між рядами колекторів, м;

h – висота колектору, м;

α – кут нахилу колектору, град.;

β – кут висоти стояння сонця над горизонтом, град.

В результаті досліджень для кутів нахилу від 0° до 70° було визначено:

– опалювальний період – оптимальний кут нахилу 50° , відстань між рядами сонячних колекторів складає 6,2 м;

– літня пора року – оптимальний кут нахилу 30° , відстань між рядами сонячних колекторів складає 2,6 м.

На підставі отриманих даних було проведено компонування сонячних колекторів на даху будинку (рис.4.21). Кількість сонячних колекторів для орієнтації на літній режим роботи склала 18 шт. (3 ряди по 6 шт.). За умовами орієнтації на зимовий період роботи – 12 шт. (2 ряди по 6 шт.). Різниця у кількості колекторів для літнього та опалювального періоду пояснюється розрахунковою відстанню між рядами колекторів.

Дослідження ефективності роботи колекторів в системі комбінованого тепlopостачання проводилися для двох типів сонячних колекторів: плоского та вакуумного. Крім того, дослідження були присвячені умовам роботи геліосистеми взимку та влітку (рис. 4.22, 4.23).

Як видно з результатів дослідження (рис. 4.22), при куті нахилу сонячного колектору із орієнтації на опалювальний період (кут нахилу 50°), для плоских колекторів при однаковій кількості колекторів порівняно із літнім варіантом спостерігається незначне збільшення теплопродуктивності у зимовий період – 3,8 %, при цьому загальна продуктивність геліосистеми протягом року зменшується на 4,0 %. При врахуванні факту зменшення загальної кількості сонячних колекторів при куті нахилу 50° майже на третину, спостерігається зменшення продуктивності сонячної системи у опалювальний період на 33,0 %, при цьому зменшення загаль-

ної теплопродуктивності геліосистеми (по відношенню до літнього варіанту) становитиме 36,0 %.

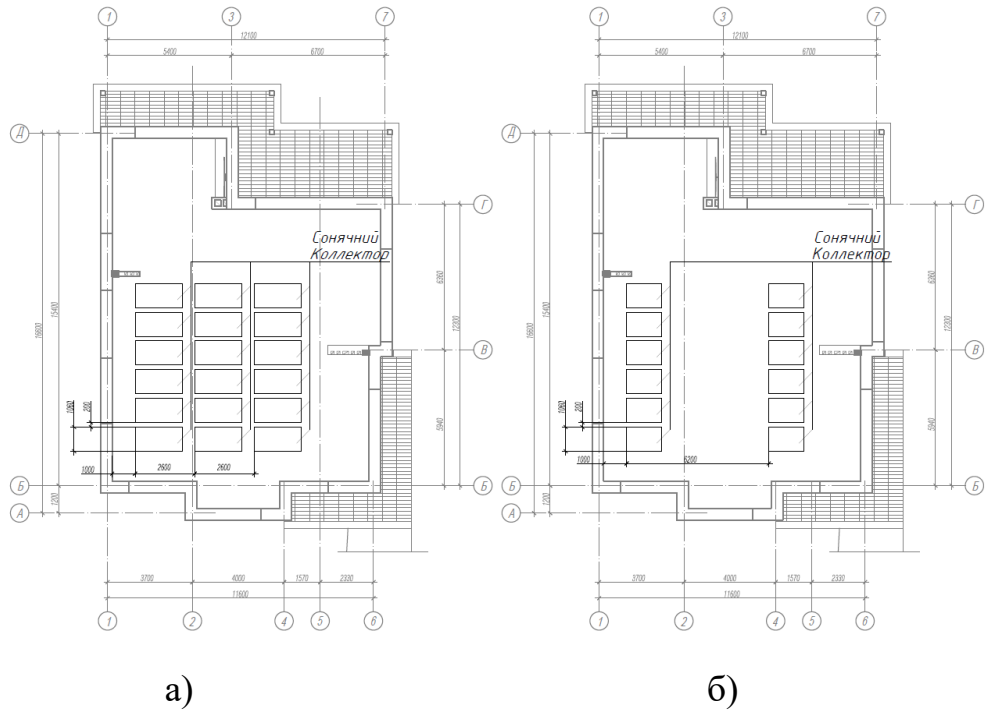


Рисунок 4.21 – План компонування сонячних колекторів на даху будинку:
 а) при умовах розрахунку на літній період (кут нахилу колектору відносно даху 30 °);
 б) при умовах розрахунку на опалювальний період (кут нахилу колектору відносно даху 50 °)

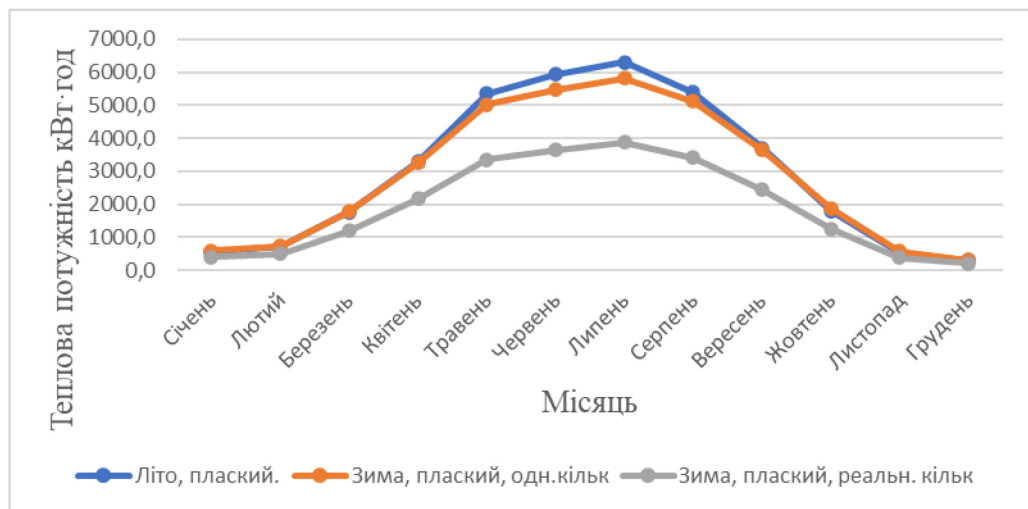


Рисунок 4.22 – Графіки теплової потужності геліосистеми на базі плоских колекторів при куті нахилу колектору 30 ° та 50 ° (при однаковій кількості колек-

торів, та при реальній кількості колекторів з урахуванням відстані між рядами для зимового періоду)

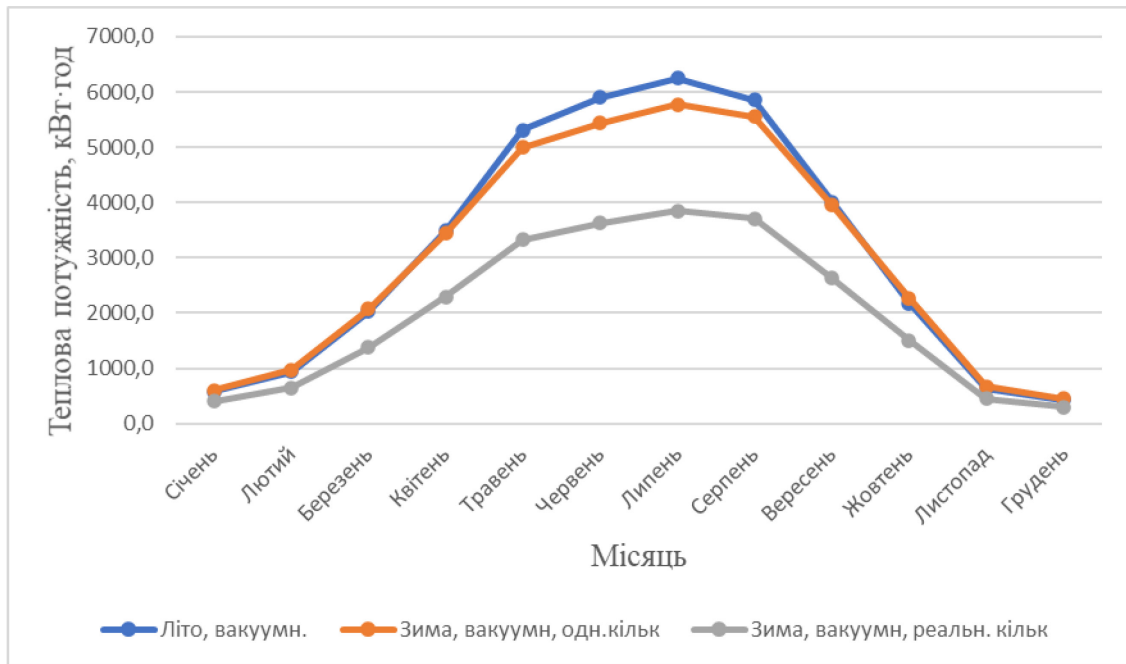


Рисунок 4.23 – Графіки теплової потужності геліосистеми на базі вакуумних колекторів при куті нахилу колектору 30 ° та 50 ° (при однаковій кількості колекторів, та при реальній кількості колекторів з урахуванням відстані між рядами для зимового періоду)

Як видно з результатів дослідження (рис. 4.23) для вакуумних колекторів спостерігається аналогічна тенденція. При цьому збільшення теплопродуктивності у зимовий період – 3,82 %, водночас загальна продуктивність геліосистеми протягом року зменшується на 3,75 %. З урахуванням факту зменшення загальної кількості сонячних колекторів при куті нахилу 50 ° майже на третину спостерігається зниження продуктивності сонячної системи в опалювальний період на 33,3 %, при цьому зменшення загальної теплопродуктивності геліосистеми (по відношенню до літнього варіанту) складе 35,8 %.

Виходячи із аналізу проведених досліджень для умов житлового будинку орієнтацію роботи сонячних колекторів слід приймати на літній період. В таких умовах перевагу мають плоскі сонячні колектори, у яких ККД на рівні вакуумних

колекторів, при цьому мають вони певні техніко-економічні переваги. Однак необхідно також провести дослідження щодо визначення раціональної кількості сонячних колекторів для потреб теплозабезпечення споживачів.

4.4.3 Частка заміщення теплового навантаження геліосистемами

Під час проєктування сонячних теплотехнічних систем одним із ключових критеріїв оцінювання ефективності, поряд із показником продуктивності, є частка заміщення теплового навантаження [121]. Даний параметр характеризує відношення кількості теплової енергії, виробленої сонячною установкою, до загального обсягу теплової енергії, необхідної для забезпечення потреб споживача. А саме – показує, яка частина сумарного теплового навантаження системи покривається за рахунок використання сонячної енергії, що дозволяє зменшити споживання традиційних енергоресурсів та підвищити загальну енергетичну ефективність об'єкта.

Разом із тим у практиці аналізу сонячних систем застосовується також альтернативний підхід, відповідно до якого частка заміщення визначається як відношення продуктивності сонячної установки до кількості теплової енергії, додатково виробленої резервним або допоміжним джерелом теплоти, наприклад газовим котлом, тепловим насосом тощо. За такого способу розрахунку отримане значення частки заміщення, як правило, є вищим.

Зі збільшенням частки покриття теплового навантаження за рахунок сонячної енергії зростає потенціал економії традиційних паливно-енергетичних ресурсів. Саме тому споживачі зазвичай орієнтуються на системи з максимально можливою часткою заміщення.

Проте проєктування ефективної сонячної системи не зводиться виключно до досягнення максимальної частки покриття навантаження. На практиці виникає необхідність пошуку раціонального компромісу між продуктивністю сонячної установки та величиною частки заміщення теплового навантаження.

Принципова особливість полягає в тому, що зі зростанням частки заміщення зменшується питома продуктивність сонячної системи, розрахована на одиницю

площі сонячного колектору. Це пояснюється неможливістю повного використання надлишкової теплової енергії у літній період, коли спостерігається так зване «перевиробництво» теплоти.

Надлишкове виробництво теплової енергії призводить до підвищення температури теплоносія в системі, що, у свою чергу, знижує коефіцієнт корисної дії сонячних колекторів. Відомо, що ефективність роботи колектора прямо залежить від різниці температур між його робочою поверхнею та навколишнім середовищем: зі збільшенням цієї різниці коефіцієнт корисної дії зменшується.

Таким чином, прагнення до максимального покриття теплового навантаження за рахунок сонячної енергії не завжди є технічно та економічно виправданим. У більшості випадків доцільним є вибір такого співвідношення між площею колекторів, об'ємом акумулятора теплоти та тепловим навантаженням будівлі, яке забезпечує оптимальний баланс між капітальними витратами на встановлення системи та очікуваним рівнем енергозбереження.

Раціональний компроміс між продуктивністю сонячної системи та часткою заміщення теплового навантаження фактично визначає економічну доцільність інвестування в сонячні теплотехнічні установки.

У випадку використання сонячної енергії не лише для гарячого водопостачання, але й для часткового покриття навантаження на опалення, доцільно застосовувати усереднені нормативні значення частки заміщення. Це обумовлено тим, що ефективність покриття опалювального навантаження значною мірою залежить від теплотехнічних характеристик будівлі, рівня її теплоізоляції, температурного графіка системи опалення та кліматичних умов регіону експлуатації.

На основі отриманих результатів дослідження, для вирішення питання раціонального вибору кількості, типу колекторів, а також оптимального кута нахилу сонячних колекторів було проведено дослідження частки заміщення теплової потужності геліосистемою протягом року (рис.4.24).

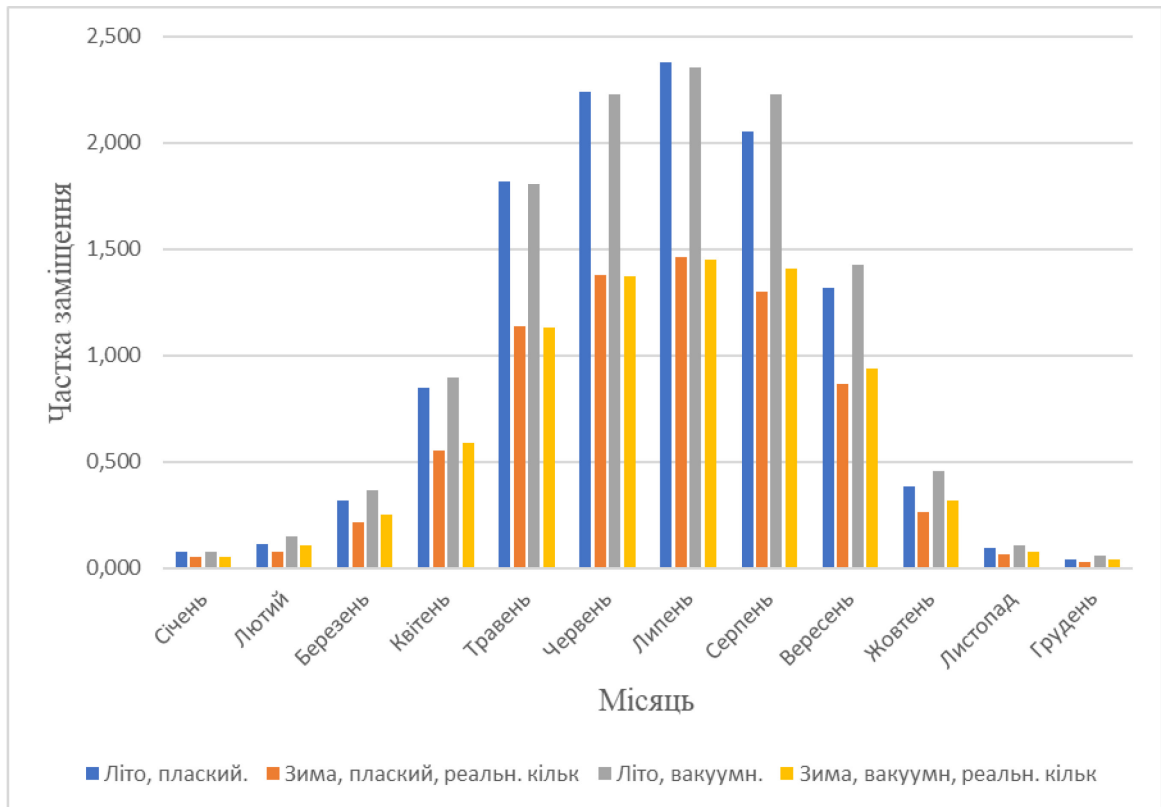


Рисунок 4.24 – Графіки заміщення необхідної теплової енергії геліосистемами за різних умов: 1 – орієнтація на літній режим при застосуванні плаского сонячного колектору; 2 – орієнтація на літній режим при застосуванні вакуумного сонячного колектору; 3 – орієнтація на опалювальний період при застосуванні плаского сонячного колектору; 4 – орієнтація на опалювальний період при застосуванні вакуумного сонячного колектору.

Результати досліджень (рис.4.24) дають змогу оцінити роботу геліосистем при різних варіантах технічних рішень:

1. орієнтація на літній режим при застосуванні плаского сонячного колектору;
2. орієнтація на літній режим при застосуванні вакуумного сонячного колектору;
3. орієнтація на опалювальний період при застосуванні плаского сонячного колектору;
4. орієнтація на опалювальний період при застосуванні вакуумного сонячного колектору.

При орієнтації на літній режим роботи (як при застосуванні плоских сонячних колекторів, так і при застосуванні вакуумних сонячних колекторів) спостерігається значне перевищення частки заміщення в період травень-вересень (2,38 та 2,36 відповідно). Вказана обставина потребує вирішення проблеми відведення надлишкової теплоти або зменшення кількості колекторів. Слід також відмітити, що технічне рішення з орієнтацією на зимовий період також дає надлишок теплоти у період червень-серпень (1,38 і 1,37 відповідно), але у міжсезонний період продуктивність геліосистеми при цьому значно менша. Також слід відмітити, що другий варіант призводить до нераціонального використання даху для інших інженерних систем.

Одним із варіантів скидання надлишку теплоти у літній період є відкриті басейни та абсорбційні холодильні машини.

4.5 Висновки до розділу 4

1. Надійність систем теплопостачання залежить від кількості основних елементів джерела теплоти. Зі збільшенням загальної кількості котлів при однаковій потужності зростає не лише модульність джерела теплоти та можливість оперативного запасу теплової потужності, але й підвищується надійність системи теплопостачання в цілому. Так, при збільшенні котлів з чотирьох до восьми ймовірність відмов декількох котлів зменшується майже у 7 разів.

2. Проведено дослідження роботи комбінованої системи теплопостачання житлового будинку з використанням теплового насоса із відбором теплоти з ґрунту. Представлено графіки навантаження теплонасосних систем протягом двох характерних днів: буднього дня (понеділок) та вихідного дня (неділя) для двох видів теплового споживання – опалення та ГВП.

3. На основі аналізу отриманих результатів дослідження показано вплив тривалості високих значень генерації теплоти ТН на показники ефективності роботи теплонасосних систем. Вказане пояснюється зниженням темпів регенерації ґрунту в процесі відведення теплоти.

4. Запропоновано встановлення акумулюючих ємностей для зменшення максимального теплового навантаження системи тепlopостачання. Вказане дозволило зменшити максимальне значення теплової потужності (майже на 44 %) до розрахункового значення теплової генерації одного з двох теплових насосів, що, в свою чергу, впливає на показники COP ТН.

5. Отримані результати середньодобового коефіцієнта використання максимальної потужності системи теплoзабезпечення для понеділка ($k_{c,d}=0,58$) та для неділі ($k_{c,d}=0,55$) дозволили визначити ємність теплового акумулятора: будній день – 1,2 м³; вихідний день – 1,7 м³.

6. Проведене дослідження застосування геліосистеми в комбінованій системі тепlopостачання житлового будинку дозволило встановити раціональний кут нахилу сонячних колекторів (30 °), кількості колекторів (18 шт.), тип колекторів – плоский, та також частку заміщення теплової потужності сонячної системи протягом року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційній роботі наведено отримані автором нові науково обґрунтовані результати, які стали основою для розроблення методів модернізації систем теплопостачання будівель різного функціонального призначення із застосуванням відновлюваних джерел енергії та з урахуванням режимів експлуатації споживачів. Під час дослідження було проведено моделювання процесів теплопостачання та пілотні дослідження роботи комбінованої системи теплозабезпечення об'єктів комунального господарства. Вказане проводилось з урахуванням внутрішніх та зовнішніх кліматичних чинників для будівель різного типу, що дає в подальшому можливість підвищити рівень енергоефективності комбінованих систем теплопостачання із застосуванням ВДЕ та акумуляторами теплоти.

За отриманими результатами наукового дослідження можна зробити наступні висновки:

1. Дослідження особливостей теплопостачання об'єктів комунального господарства різного функціонального призначення дає змогу оцінити режими експлуатації та намітити шляхи підвищення енергоефективності з урахуванням особливостей кожного з представлених типів будівель.

2. Проведений аналіз факторів (внутрішніх та зовнішніх кліматичних чинників), що впливають на основні види теплоспоживання об'єктів комунального господарства, дозволяє з урахуванням режимів експлуатації будівлі виявити потенціал скорочення енергоспоживання системами теплопостачання в цілому.

3. Для двох характерних будинків із різних груп (житловий будинок – група 1, ТРК – група 2) на основі спостережень проведено дослідження режимів теплопостачання впродовж доби робочих та вихідних днів та побудовано відповідні діаграми.

4. Для оцінки ефективності використання потужності джерела теплоти застосовано коефіцієнти використання максимальної теплової потужності джерела теплоти та середньодобовий коефіцієнт використання максимальної потужності

системи теплозабезпечення. Останній коефіцієнт дає змогу оцінити потенціал зменшення розрахункової потужності джерела теплоти.

5. Отримані середньодобові коефіцієнти використання максимальної потужності системи теплозабезпечення (для житлового будинку $k_{c,d} = 0,73$, для ТРК $k_{c,d} = 0,443$) дали змогу оцінити усереднену потужність джерела теплоти (для житлового будинку $Q_{min} = 584$ кВт, для ТРК $Q_{min} = 487$ кВт). Також вказаний коефіцієнт дозволив отримати залежність необхідного об'єму акумулятора теплоти для зменшення розрахункової потужності джерела теплоти в залежності від зовнішніх кліматичних чинників.

6. Виконано аналіз щодо енергетичної ефективності системи теплопостачання в режимі переривчастого опалення, відповідне порівняння з цілодобовим режимом опалення. За результатами чисельного моделювання системи теплопостачання визначено залежності від зовнішніх умов показників системи в цілому та її складових частин.

7. Застосування режиму переривчастого опалення в системі теплопостачання забезпечує додаткові можливості з економії енергоресурсів на 10–16 %.

8. За результатами моделювання режимів навантаження системи опалення з тепловим акумулятором при зміні зовнішньої температури повітря в межах -15 °C - $+5$ °C було отримано оптимальні режими навантаження основних елементів системи. Досягнення підвищеної точності при моделюванні переривчастого режиму опалення здійснено введенням малоінерційної складової при моделюванні динаміки температури повітря в будівлі.

9. Проведено дослідження роботи комбінованої системи теплопостачання житлового будинку з використанням теплового насоса із відбором теплоти з ґрунту. Представлено графіки навантаження теплонасосних систем протягом двох характерних днів: буднього дня (понеділок) та вихідного дня (неділя) для двох видів теплового споживання – опалення та ГВП.

10. Запропоновано встановлення акумуляюючих ємностей для зменшення максимального теплового навантаження системи теплопостачання. Вказане дозволило зменшити максимальне значення теплової потужності (майже на 44 %)

до розрахункового значення теплової генерації одного з двох теплових насосів, що, в свою чергу, впливає на показники COP ТН.

11. Отримані результати середньодобового коефіцієнта використання максимальної потужності системи теплотазабезпечення для понеділка ($k_{c,d}=0,58$) та для неділі ($k_{c,d}=0,55$) дозволили визначити ємність теплового акумулятора: будній день – $1,2 \text{ м}^3$; вихідний день – $1,7 \text{ м}^3$.

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. 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/>
4. Директива 2012/27 EU Європейського парламенту та Ради від 25 жовтня 2012 р. про енергоефективність.
URL:https://sae.gov.ua/sites/default/files/UKR_Directive_27_2012_2.doc.
5. Vasylieva T., Pavlyk V., Bilan Y., Mentel G., Rabe M. Assessment of Energy Efficiency Gaps: The Case for Ukraine. Energies. 2021. 14(5). 1323. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14051323>
6. 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>
7. 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.nbu.gov.ua/handle/123456789/59496>.
8. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання: розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.08.2024 № 761-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/761-2024-%D1%80>. (дата звернення: 09.06.2025).
9. Васильківський Д. М., Сисюк В. І.. Європейські механізми підвищення енергоефективності економіки та перспективи їх впровадження в Україні. Еконо-

міка та суспільство, Випуск № 66 / 2024. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-44>.

10. Yakymchuk A. et. al. Economic aspects of final energy consumption in Ukraine : prospects of implementation of the positive experience of the European Union. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2023. № 13 (1). P. 111–117. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.13815>.

11. Розпорядження Кабінету міністрів України № 1071 від 24 липня 2013 р. Енергетична стратегія України на період до 2030 року / Кабінет Міністрів України. – 24.07.2013. – № 1071. – 166 с. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.

12. 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.

13. European Green Deal. Striving to be the first climate- neutral continent https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.

14. Hryhorenko A., Kotina H., Stepura M., Zavystovska H. Fiscal stimuli to improve energy efficiency under the economic recovery policy: an empirical approach of Ukraine. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2023. № 26(3). С. 5–26. DOI: <https://doi.org/10.33223/epj/166444>.

15. Trypolska, G., Riabchyn O. Experience and prospects of financing renewable energy projects in Ukraine. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2022. № 12 (1). P. 134–143. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.11999>.

16. 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>.

17. Kyshakevych B., Maksyshko N., Voronchak I., Nastoshyn S. Ecological and economic determinants of energy efficiency in European countries. *Scientific Horizons*. 2023. № 26(8). С. 140–155. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.140>.

18. Директива ЄС 2023/1791: Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast). <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791>.

19. REPowerEU. Affordable, secure and sustainable energy for Europe. European Commission. 2022. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energyeurope_en. (дата звернення: 13.03.2024)

20. Fit for 55. Council of the European Union. 2023. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>. (дата звернення: 16.03.2024)

21. Пімоненко Т., Люльов О., Зябіна Є., Васирина Т. Оцінювання причинно-наслідкових зв'язків між детермінантами енергоефективності країни в контексті імплементації європейської зеленої угоди. Вісник економіки. 2021. Вип.2. С. 80-89.

22. EU Reference Scenario 2020. European Commission. 2020. URL:https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2020_en. (дата звернення: 18.03.2024)

23. Delivering the European Green Deal. European Commission. 2019. URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-greendeal/delivering-european-green-deal_en (дата звернення: 02.04.2024)

24. Energy efficiency targets. European Commission. 2023. URL:https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-targets_en (дата звернення: 30.04.2024)

25. REPowerEU at a glance. Website of the European Commission. URL: (https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_en (дата звернення: 09.06.2025).

26. План для Ukraine Facility 2024-2027. Website of the Ukraine Facility. URL: <https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/>

27. Яснолоб І.О., Березницький Є.В., Радіонова Я.В. Енергоефективність та енергонезалежність як перспективні напрями розвитку інноваційних енергозберігаючих систем. Інфраструктура ринку. Випуск 47. 2020, С. 143-146 URL: http://www.market-infr.od.ua/journals/2020/47_2020_ukr/29.pdf . (дата звернення: 24.02.2024)

28. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних енергії України: видання третє, оновлене / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2024. 56 с.

29. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>. (дата звернення: 09.06.2025).

30. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року, Мінекоенерго, 2020 <https://bit.ly/2tR0P7n>.

31. Олександр Вікторович Корольов, Михайло Юрійович Яценко, Дмитро Андрійович Климчук, Сергій Ігорович Грищенко (2023). Експериментальний стенд для дослідження властивостей сухого зберігання відпрацьованих тепловиділяючих збірок. № 2(68) (2023): Праці Одеського політехнічного університету. стор. 57-63 <https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.07>.

32. 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.

33. 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.

34. Куц Г.О., Маляренко 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>.

35. Міжнародна мережа централізованого теплопостачання, що сприяє сталому опаленню та охолодженню в Європі та за її межами. Режим доступу: <https://www.euroheat.org>

36. Комплексний підхід до модернізації теплових джерел, теплових мереж та приєднаних до них будівель / Є. Є. Нікітін, О. В. Дутка // Энерготехнологии и ресурсосбережение. - 2019. - № 2. - С.

37. 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>.

38. Igor Kozlov, Vyacheslav Kovalchuk, Oleksandr Klymchuk, Katerina Sova, Inna Aksyonova, Krystyna Borysenko. Improvement of methods of comprehensive assessment of the operation efficiency of centralized heat supply systems in municipal heat power engineering. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. NO 2/8 (110) (2021). p 16-22. (Стаття) (Фахове видання, Scopus).

39. Labenko O., Sobchenko T., Hutsol T., Cupiał M., Mudryk K., Kocira A., Pavlenko-Didur K., Klymenko O., Neuberger P. Project Environment and Outlook within the Scope of Technologically Integrated European Green Deal in EU and Ukraine. Sustainability. 2022. 14(14). 8759. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14148759>.

40. О. Климчук, О. Вудвуд, Є. Бабаєв, М. Сергеев, 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>.

41. 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>.

42. І.М. Карп, Є.Є. Нікітін, К.Є. П'яних, О.І. Сігал, С.В. Дубовський, Г.Г. Гелетуха, 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_teplopостачання.pdf.

43. Sadaghat B., Afzal S., Khiavi A. J. Residential building energy consumption estimation: A novel ensemble and hybrid machine learning approach. Expert Systems with Applications. 2024. Vol. 251. P. 1–10.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123934>. (date of access: 04.06.2024)

44. Титар С.С. Теплопостачання та кондиціонування громадських будинків з використанням поновлювальних джерел енергії [Текст] / С.С. Титар, О.А. Климчук, Б.Є. Молчанський // Науковий журнал «Вісник вінницького політехнічного інституту», Вінниця 2011. – Вип. 5. – С.64–69

45. The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review / S. Chen et al. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 45. P. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101212>. (date of access: 04.06.2024).

46. Jia M., Srinivasan R. S., Raheem A. A. From occupancy to occupant behavior: An analytical survey of data acquisition technologies, modeling methodologies and simulation coupling mechanisms for building energy efficiency. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 68. P. 525–540.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.011>. (date of access: 04.06.2024).

47. Amasyali K., El-Gohary N. M. A review of data-driven building energy consumption prediction studies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 81. P. 1192–1205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.095>. (date of access: 04.06.2024).

48. Klinger B. A., Ryan S. J. Population distribution within the human climate niche. PLOS Climate. 2022. Vol. 1, no. 11. P. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000086>. (date of access: 04.06.2024).

49. О.А. Климчук, М.І. Сергеев (2024). Аналіз режимів роботи систем теплозабезпечення з акумуляторами теплоти в будівлях громадського призначення. Refrigeration Engineering and Technology, 60(4). DOI <https://doi.org/10.15673/ret.v60i4.3075>.

50. National Renewable Energy Laboratory. AWS S3 Explorer for the Open Energy Data Initiative. Open Energy Data Initiative (OEDI). URL: https://data.openei.org/s3_viewer?bucket=oedi-data-lake&prefix=nrel-pdsbuilding-stock/end-use-load-profiles-for-us-building-stock/2023/comstock_amy2018_release_2/timeseries_aggregates/by_state/upgrade=18/state=MN/. (date of access: 04.06.2024).

51. Klymchuk, O. Enhancing efficiency of using energy resources in heat supply systems of buildings with variable operation mode. Klymchuk, O., Denysova, A., Balasanian G. Ivanova, L. Bodiul O. EUREKA, Physics and Engineering. 2020(3), pp. 59-68.

52. Олександр Климчук, Олег Паламарчук, Павло Шилов, Олександр Фуркаленко, Сергій Грищенко. Підвищення ефективності систем теплопостачання медичних закладів за рахунок застосування геліосистем./III International Scientific and Technical Conference “MODERN TECHNOLOGIES OF BIOMEDICAL ENGINEERING” May 08-10, 2024, Odesa, Ukraine p. 257-259.

53. 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

54. Лужанська Г. В., Грищенко С. І., Сорокопуд М. М., Ануфрієв С. С., Савілов А. О. Системи мікроклімату спортивних залів scientific development in a changing world Proceedings of I International Scientific and Practical Conference Lviv, Ukraine 20-22 January 2026. стор. 265-269.

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

56. Ж.Ф. Дорошенко, В.Д. Станіславов, Ю.К. Бессатьян, С.І. Грищенко, А.Ю. Каверін. Застосування відновлювальних джерел енергії в торгівельно-розважальних центрах для потреб тепlopостачання з урахуванням режимів експлуатації *Refrigeration Engineering and Technology*, 61(4).
<https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3331>.

57. Климчук О.А., Рєпін Ю.С., Пустовіт А.В., Нягу Ю.Д., Грищенко С.І. Енергоефективні системи забезпечення клімату в готельних комплексах півдня України. X International Scientific and Practical Conference Stockholm, Sweden November 21-24, 2023 p 499-502. DOI – 10.46299/ISG.2023.2.10.

58. Мазуренко А.С. Енергозберігаючий проект для студентського містечка Одеського національного політехнічного університету [Текст] / А.С. Мазуренко, О.А. Климчук, А.Є. Денисова, Здзіслав Кабза, Нго Мінь Хієу // Матеріали IV міжнародної конференції магістрів, аспірантів та науковців «Управління проектами в умовах транзитивної економіки», ОДАБА, Одеса, 2013. Том 2.– С. 106 – 108.

59. Лужанська Г. В., Станіславов В. Д. Д., Фуркаленко О. Л. Л., Грищенко С. І. І., Рак О. В. Використання пінополіуретану в якості утеплювача будівельних огорожувальних конструкцій *Global trends in science and education Proceedings of III International Scientific and Practical Conference*. Kyiv, Ukraine 7-9 April 2025.

60. Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating. Balasarian, G., Klymchuk, O., Babaiev, Y., Semeni, A. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2023, 290 LNCE, стр. 162–170 DOI:10.1007/978-3-031-14141-6_16.

61. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2013. Київ. 2013.

62. Порівняння варіантів виконання розподільної теплової мережі мікрорайону / Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П., Новіков В.В., Цемох Д.О.// Ін-

тегровані технології та енергозбереження: науково-практичний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021.-№3.-с.17-25. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2021.3.02>.

63. 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>.

64. Джеджула В. В., Єпіфанова І. Ю. Енергозбереження як напрям підвищення безпеки критичних систем житлових будинків. Вісник Хмельницького національного 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).

65. Zaitsev, D. V., Klimchuk, A. A., & Balasarian, 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>.

66. 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>.

67. Viktoriia Kryvda, Galina Diachenko, Yurii Bessatyan, Oleksandr Tarasiuk, Dmytro Ihnatenko (2025). Research and rational choice of modern microclimate provision systems. Refrigeration Engineering and Technology, 61(1). DOI <https://doi.org/10.15673/ret.v61i1.3113>.

68. ДБН.В 2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ: Мінбуд України, 2022. 27 с.

69. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація частина 1. Проектування. Частина 2. Будівництво. Київ Мінрегіон України. 2013.

70. В. О. Верстак, О. О. Паламарчук, Ю. К. Бессатьян, П. О. Шилов, О. С. Тарасюк. Гібридна система енергозабезпечення багатоповерхового житлового будинку. Refrigeration Engineering and Technology, 61(2). стор. 178-175

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i2.3198>.

71. Klymchuk, O., Denysova, A., Balasarian, 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>.

72. 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>.

73. С.І. Грищенко, О.А. Климчук. Підвищення ефективності роботи системи теплопостачання будівлі громадського призначення з урахуванням режимів експлуатації *Refrigeration Engineering and Technology*, 62(1). DOI <https://doi.org/10.15673/ret.v62i1.3441>.

74. 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>.

75. Корінчевська Т.В. Перспективні методи акумулювання теплової енергії. [Текст] / Т.В. Корінчевська // *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса, 2010. Вип.37. С.236–241.

76. Звіт Мазуренко А.С., Денисова А.Є., Климчук О.А., Комаров Ю.О. Дослідження та аналіз режимів акумулювання в комбінованих системах енергопостачання з використанням відновлювальних ресурсів енергії. *Науково-дослідний звіт (ОНПУ)*. УкрІНТЕІ. Деп. 04.01.2017 р. № д/р 0115U000412. 154

77. Гребенюк А. Н. Способи акумуляції енергії нетрадиційних джерел // *Гірнична електромеханіка та автоматика*. 2014. Вип. 93. С. 131-136. Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/ffaf98b7-61f8-4ad8-b473-1b3df97a1a03>.

78. 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>.

79. Демченко, В., & Коник, А. (2020). Основні аспекти процесів теплоакмулювання. *Scientific Works*, 84(1), 48-53.

<https://doi.org/10.15673/swonaft.v84i1.1868>.

80. В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, Н.А. Буюк // Вплив переривчастих режимів опалення на динаміку енергопотребити та умови комфортності будівель із різним рівнем теплового захисту / Енергетична та нові енергогенеруючі технології. №4. – 2019. С. 7-16.

81. 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.

82. Климчук, А.А. Комплексний підхід до впровадження переривчастого теплопостачання в будівлях громадського призначення / О.А.Климчук, А.Є.Денисова, Г. А. Баласанян // Вісник НТУ «ХП». Серія "Моделювання як інструмент інноваційного розвитку". - 2017. № 41 (1263). - С. 52-57.

83. Вплив теплоінерційних особливостей огорожень на умови комфортності при впровадженні енергоощадних режимів опалення в будівлях / В.І. Дешко, Н.А. Буюк, І.Ю. Білоус, М.В. Гурєєв, О.О. Голубенко / *Комунальне господарство міст*, 2019, том 3, випуск 149. – С. 44 – 50.

84. Hennadii Balasanian, Oleksandr Klymchuk, Ganna Luzhanska, Inna Aksyonova, Serhii Voronenko. Influence of the Building's Thermal Insulation on Intermittent Heating Mode Efficiency. *Management Systems in Production Engineering*. Tom 32 (2024): Zeszyt 4 (Grudzień 2024), pp. 484 – 488. <https://sciendo.com/pl/article/10.2478/mspe-2024-0045>.

85. 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. URL <http://sci-conf.com.ua>. (UDC 001.1 , ВБК 87, ISBN 978-1-4879-3791).

86. 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.

87. Klymchuk, O., Denysova, A., Balasarian, 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.

88. 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>.

89. В.І. Шевчук, Г.В. Лужанська, В.В. Чиченін, О.О. Паламарчук, П.О. Шиллов Дослідження роботи газового водогрійного котла у ситемі комбінованого теплопостачання об'єктів житлового комунального сектору. *Refrigeration Engineering and Technology*, 61(4).DOI <https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3334>.

90. Klymchuk, O., Balasarian, 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>.

91. Мазуренко, А., Кандеєва, В., Чиченін, В., Пустовіт, А., & Станіславов, В. (2025). Оцінка ризиків забезпечення надійного теплопостачання споживачів в умовах зовнішнього руйнування. *Refrigeration Engineering and Technology*, 61(3). <https://doi.org/10.15673/ret.v61i3.3274>.

92. Ганна Вікторівна Лужанська, Марк Петрович Галацан, Микола Ігорович Сергеев, Сергій Ігорович Грищенко, Павло Олександрович Кандеєв. Дослідження режимів генерації та споживання теплоти у комбінованих системах теплопостачання з використанням альтернативних джерел енергії. № 1(69) (2024): *Праці Одеського політехнічного університету*. стор. 40-49.

93. 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

94. Mazurenko, A., Klymchuk, O., Luzhanska, G., Ivanov, P. i Sergeiev, I. 2022. Забезпечення підвищення надійності та ефективності систем теплопостачання за рахунок використання мікротурбін в умовах нестабільного енергоживлення. Праці Одеського політехнічного університету. 2 (66) (Груд. 2022), 58–63. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.2.66.2022.07>

95. Борисов М.А. Реабілітація ТЕС. Забезпечення сталої роботи об'єднаної енергосистеми України. Енергетика и електрифікація.2004. No 3. С. 2–3.

96. Mazurenko, A., Pustovit, A., Doroshenko, Z. i Gryshchenko, S. 2025. Можливості підвищення надійності роботи тепло та електро генеруючих установок систем теплопостачання з урахуванням встановлення резервних потужностей. Праці Одеського політехнічного університету. 2(72) (Груд 2025), 55–64. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.2.72.2025.06>.

97. Коваленко К.В. Методика використання номограм для постановки дослідницьких задач. Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія №5. Педагогічні науки: реалії та перспективи. – Випуск 40. – К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2013. – С. 94-99.

98. Mazurenko, A., Klymchuk, O., Pozdniakova, G., Pustovit, A. i Shavrov, V. 2024. Проблеми забезпечення надійного теплопостачання в умовах негарантованого електропостачання теплогенеруючим підприємствам. Праці Одеського політехнічного університету. 1(69) (Трав 2024), 23–31. DOI : <https://doi.org/10.15276/opu.1.69.2024.03>.

99. Mazurenko, A., Pustovit, A., Shylov, P., Shylov, D. i Stanislavov, V. 2025. Визначення ймовірності відмов в роботі елементів систем міського теплопостачання в екстремальних умовах експлуатації. Праці Одеського політехнічного університету. 1(71) (Чер 2025), 98–103. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.1.71.2025.11>.

100. 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>.

101. В.А. Баженов Використання методів лінійного програмування для оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем з відновлюваними джерелами енергії / Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті 20 - 21 травня 2021 року, Київ.

102. Енергетична ефективність України. Кращі проектні ідеї: Проект «Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні» / уклад.: С.П. Денисюк, О.В. Коцар, Ю.В. Чернецька. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. 79 с.

103. Bezrodny, M. K., & Oslovskiy, S. O. (2022). Energy efficiency of using a conditioning system based on a ground heat pump. Теплофізика та Теплоенергетика, 44(1), 45-54. DOI <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2022.6>.

104. Лужанська Г.В., Ігнатенко Д.С., Грищенко С.І., Сергеев І.В. Муренко І.В. Принцип роботи комбінованої системи опалення xxiv International Scientific and Practical Conference Varna, Bulgaria June 20 – 23, 2023 p.368-372. <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.24>.

105. Фінік, І. (2022). Особливості використання теплових насосів в системах теплопостачання приватних будинків. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 311(4), 14-17. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-14-1>.

106. 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>.

107. Куницький, М. (2022). Теоретичні засади економічної привабливості використання теплових насосів в міській інфраструктурі. *Комунальне господарство міст*, 6(173), 76–80. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-76-80>.

108. Рєпін, Ю., Грищенко, С., Климчук, Н., Сергєєв, М., & Ткачов, О. (2024). Ефективність роботи теплових насосів із відбором теплоти від ґрунту та зовнішнього повітря в житлових будинках. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(2). <https://doi.org/10.15673/ret.v60i2.2951>.

109. Посібник зі встановлення та технічного обслуговування. Видавець/виробник Vaillant GmbH. www.vaillant.de.

110. 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).

<https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/2999>.

111. V. Shevchuk, Y. Riepin, O. Palamarchuk, O. Furkalenko, S. Gryshchenko. Increasing the efficiency of ground-source heat pumps based on consumer operating mode data. *Proceedings OF ODESSA POLYTECHNIC UNIVERSITY Issue 1(71)*, 2025, p. 104-110 DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.1.71.2025.10>.

112. Mazurenko A. Improving the efficiency of operation mode heat pump hot water system with two-stage akumulirovaniem heat. [Текст] / А. Mazurenko, А. Denysova, G. Balasarian, А. Klymchuk, К. Borisenko// *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 1/8, 2017 p.27–34.

113. 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>.

114. 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>.

115. Freeman T., Mitchell W., Audit T. Performance of combined solar heat-pump systems // Solar energy. –1979. – Vol. 22.

116. Mazurenko A. Perspektywy wykorzystania energii słonecznej na Ukrainie [Текст] / A. Mazurenko, A. Denysova. // Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Inżynierskiej. Seria Elektryka z. 38, IV Konferencja remontowa energetyki «GRE'94». – Bielsko-Biala, Opole (Polska). – 1994. – № 199. – P. 247 – 248.

117. 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.

118. О.А. Климчук, Г.В. Лужанська, О.С. Жайворон, С.І. Грищенко, А.Ю. Каверін (2024). Аналіз ефективності застосування різних типів сонячних систем для сезонних споруд санаторного та рекреаційного типу. Refrigeration Engineering and Technology, 60(4). <https://doi.org/10.15673/ret.v60i4.3074>.

119. 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>.

120. Г.В. Лужанська, І.В. Климчук, Д.О. Шилов, Д.С. Ігнатенко, О.С. Тарасюк Дослідження інноваційних сонячних установок півдня України за допомогою комп'ютерного моделювання. Refrigeration Engineering and Technology, 61(4). DOI <https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3332>.

121. Сонячні колектори Vitosol. Академія Viessmann в Україні. e-mail: vasr@viessmann.com.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА**Наукові праці, в яких опубліковано наукові результати дисертації:**

1. Ганна Вікторівна Лужанська, Марк Петрович Галацан, Микола Ігорович Сергеев, Сергій Ігорович Грищенко, Павло Олександрович Кандеєв (2024). Дослідження режимів генерації та споживання теплоти у комбінованих системах тепlopостачання з використанням альтернативних джерел енергії. № 1(69) (2024): Праці Одеського політехнічного університету. стор. 40-49.

<https://doi.org/10.15276/opu.1.69.2024.05>.

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

2. Рєпін, Ю., Грищенко, С., Климчук, Н., Сергеев, М., & Ткачов, О. (2024). Ефективність роботи теплових насосів із відбором теплоти від ґрунту та зовнішнього повітря в житлових будинках. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(2).

<https://doi.org/10.15673/ret.v60i2.2951>.

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

3. О.А. Климчук, Г.В. Лужанська, О.С. Жайворон, С.І. Грищенко, А.Ю. Каверін (2024). Аналіз ефективності застосування різних типів сонячних систем для сезонних споруд санаторного та рекреаційного типу. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(4).

<https://doi.org/10.15673/ret.v60i4.3074>.

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

4. V. Shevchuk, Y. Riepin, O. Palamarchuk, O. Furkalenko, S. Gryshchenko. Increasing the efficiency of ground-source heat pumps based on consumer operating mode data. *Proceedings OF ODESSA POLYTECHNIC UNIVERSITY Issue 1(71)*, 2025, p.104-110

<https://doi.org/10.15276/opu.1.71.2025.12>.

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

5. Ж.Ф. Дорошенко, В.Д. Станіславов, Ю.К. Бессастьян, С.І. Грищенко, А.Ю. Каверін. Застосування відновлювальних джерел енергії в торгівельно-розважальних центрах для потреб теплопостачання з урахуванням режимів експлуатації *Refrigeration Engineering and Technology*, 61(4).

<https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3331>.

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

6. Mazurenko, A., Pustovit, A., Doroshenko, Z. i Gryshchenko, S. 2025. Можливості підвищення надійності роботи тепло та електро генеруючих установок систем теплопостачання з урахуванням встановлення резервних потужностей. Праці Одеського політехнічного університету. 2(72) (Груд 2025), 55–64.

<https://doi.org/10.15276/opu.2.72.2025.06>.

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

7. С.І. Грищенко, О.А. Климчук. Підвищення ефективності роботи системи теплопостачання будівлі громадського призначення з урахуванням режимів експлуатації *Refrigeration Engineering and Technology*, 62(1).

<https://doi.org/10.15673/ret.v62i1.3441>

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

8. Олександр Вікторович Корольов, Михайло Юрійович Яценко, Дмитро Андрійович Климчук, Сергій Ігорович Грищенко (2023). Експериментальний стенд для дослідження властивостей сухого зберігання відпрацьованих тепловиділяючих збірок. № 2(68) (2023): Праці Одеського політехнічного університету. стор. 57-63

<https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.07>.

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

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Олександр Климчук, Олег Паламарчук, Павло Шилов, Олександр Фуркаленко, Сергій Грищенко. Підвищення ефективності систем теплопостачання медичних закладів за рахунок застосування геліосистем./III International Scientific

and Technical Conference “MODERN TECHNOLOGIES OF BIOMEDICAL ENGINEERING” May 08-10, 2024, Odesa, Ukraine p. 257-259.

https://drive.google.com/file/d/1UaYopSBKke3sEvjUQhjn_h3M51Y2uWz1/view?usp=sharing

10. Климчук О.А., Рєпін Ю.С., Пустовіт А.В., Нягу Ю.Д., Грищенко С.І. Енергоефективні системи забезпечення клімату в готельних комплексах півдня України International Scientific and Practical Conference Stockholm, Sweden November 21-24, 2023 p. 507-510. p 499-502.

<https://doi.org/10.46299/ISG.2023.2.10>

11. Лужанська Г.В., Ігнатенко Д.С., Грищенко С.І., Сергєєв І.В. Муренко І.В. Принцип роботи комбінованої системи опалення XXIV International Scientific and Practical Conference Varna, Bulgaria June 20 – 23, 2023 p.368-372.

<https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.24>

12. Лужанська Г. В., Станіславов В. Д. Д., Фуркаленко О. Л. Л., Грищенко С. І. І., Рак О. В. Використання пінополіуретану в якості утеплювача будівельних огорожувальних конструкцій global trends in science and education Proceedings of III International Scientific and Practical Conference. Kyiv, Ukraine 7-9 April 2025.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2025/04/GLOBAL-TRENDS-IN-SCIENCE-AND-EDUCATION-7-9.04.25.pdf>

13. Лужанська Г. В., Грищенко С. І., Сорокопуд М. М., Ануфрієв С. С., Савілов А. О. Системи мікроклімату спортивних залів scientific development in a changing world Proceedings of I International Scientific and Practical Conference Lviv, Ukraine 20-22 January 2026. стор. 265-269.

<https://sci-conf.com.ua/i-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-development-in-a-changing-world-20-22-01-2026-lviv-ukrayina-arhiv/>



ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційного дослідження

Гриценка Сергія Ігоровича

представленого на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю

144 – Теплоенергетика

Надана довідка затверджує, що дисертаційне дослідження Гриценка С.І «Забезпечення енергоефективного теплопостачання об'єктів житлово-комунального господарства» використовується Національним університетом «Одеська політехніка» при підготовці здобувачів першого рівня вищої освіти (бакалавр) за освітньо-професійною програмою «Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження» спеціальність – «Теплоенергетика» в Навчально-науковому інституті енергетики на кафедрі теплових електростанцій та енергозберігаючих технологій при викладанні наступних дисциплін: «Теплопостачання підприємств», «Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря на підприємствах».

Довідка надана у зв'язку з захистом дисертації.

Перший проректор



Сергій НЕСТЕРЕНКО

Кандєєва Віра 705-85-07



ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційного дослідження

Грищенка Сергія Ігоровича

представленого на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю

144 – Теплоенергетика

Надана довідка затверджує, що дисертаційне дослідження Грищенка С.І «Забезпечення енергоефективного теплопостачання об'єктів житлово-комунального господарства» виконане відповідно до планів, затверджених Міністерством освіти і науки України, і є складовою частиною держбюджетних НДР № 179-41 за темою «Забезпечення ефективного функціонування систем теплопостачання будівель громадського призначення теоретико-методологічні та практичні аспекти» (№ 0119U003518); НДР № 266-41 за темою "Підвищення надійності систем теплопостачання об'єктів критичної інфраструктури." (№0125U003952). Довідка надана у зв'язку з захистом дисертації.

Проректор



Дмитро ДМИТРИШИН

Кандеева Віра 705-85-07

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи здобувача
 3 го рівня освіти
 Національного університету «Одеська політехніка»
 Грищенко Сергія Ігоровича представленої на здобуття ступеня доктора
 філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика

Результати наукових досліджень виконаних в дисертаційній роботі здобувача Грищенко С.І. «Забезпечення енергоефективного тепlopостачання об'єктів житлово-комунального господарства» виконаної в Національному університеті «Одеська політехніка» були впровадженні в робочий проект розділу «Опалення, вентиляція, кондиціонування» адміністративної будівлі, що дозволило оптимізувати теплову потужність системи кондиціонування з функцією «тепловий насос» та вибір основного обладнання вказаних систем.

За результатами варіантних розрахунків теплових навантажень із застосуванням вказаних наукових результатів, потужність системи теплозабезпечення за рахунок теплових насосів зменшилась майже на 20 %.

Директор
 ТОВ «Технології комфорту плюс»



Самохвалов В.Г.