

## АНОТАЦІЯ

*Семеній А.А.* Комбіновані системи теплозабезпечення в режимі переривчастого опалення з відновлювальними джерелами енергії. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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

У вступі показано актуальність та особливості застосування режиму переривчастого опалення будівель у поєднанні з відновлювальними джерелами енергії в єдиній системі – комбінованій системі теплозабезпечення (КСТЗ), що є доцільним завдяки взаємокомпенсації обмежень, що характерні для переривчастого режиму опалення та відновлювальних джерел енергії. Переваги кожної з поєднаних в одній системі технологій також в певній мірі доповнюють одне одного.

Незважаючи на відносну розповсюдженість режиму переривчастого опалення (РПО) будівель відсутній комплексний підхід щодо підвищення його ефективності, зокрема застосування гібридних систем з відновлювальними джерелами енергії, що є доволі доцільним при використанні РПО. Для обґрунтування рішень щодо підвищення ефективності РПО необхідно виконати обґрунтування та обрати критерії ефективності функціонування КСТЗ, опрацювати математичні моделі КСТЗ будівель в РПО та альтернативних джерел енергії різних конфігурацій, визначити параметри, що впливають на її ефективність. Існуючі методи і підходи щодо підвищення ефективності РПО недостатні для розв’язання поставлених завдань.

Напрям досліджень даної роботи містить рішення таких питань, як розробка і дослідження нових схем КСТЗ; розробка теоретичних основ створення теплових схем КСТЗ; режимів роботи систем; розвиток методів їх аналізу; визначення оптимальних параметрів функціонування системи, вибір і обґрунтування технологічних процесів, які найкращим чином об’єднуються з

енергетичними і експлуатаційними можливостями первинних джерел енергії, що використовуються в КСТЗ.

Визначено об'єкт, предмет, задачі та методи дослідження; сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих в роботі результатів; зазначено особистий внесок здобувача.

**В першому розділі** дисертаційної роботи виконано аналіз літературних джерел та перспективних напрямків підвищення ефективності систем теплозабезпечення будівель в РПО. У відомих публікаціях існують методики порівняльного аналізу, оцінки ефективності та оптимізації систем опалення у переривчастому режимі, або їх елементів, але не виявлено математичних моделей щодо оптимізації параметрів, режимів навантаження і схемних рішень щодо запропонованої автором КСТЗ.

Одже, одним з визначальних чинників ефективності режиму переривчастого опалення є ефективність натопу, яка полягає в досягненні комфортної температури у приміщення за мінімальний час та з мінімальною витратою енергоресурсів. В свою чергу, скорочення часу натопу можливе за умови: максимальної потужності системи опалення під час натопу; оптимізації часу початку натопу. Виконання цих умов потребує розв'язання задачі оптимального управління та забезпечення відповідних технічних рішень щодо підвищення ефективності натопу.

Таким чином, можна сформулювати перспективні напрямки підвищення ефективності систем теплозабезпечення будівель в режимі переривчастого опалення: збільшення потужності системи опалення в режимі натопу; використання малоінерційних систем опалення; використання акумуляторів тепла щодо натопу приміщень; термомодернізація будівель; застосування комбінованих систем теплозабезпечення з альтернативними джерелами енергії. Наведено конфігурацію КСТ, що враховує перспективні напрямки підвищення ефективності систем теплозабезпечення будівель в РПО.

Сформульовано *перший пункт наукової новизни* – теоретично обґрунтовано технічну можливість створення перспективних комбінованих

систем ефективного теплозабезпечення будівель в режимі переривчастого опалення з альтернативними джерелами енергії, що забезпечують комплексне тепlopостачання споживачів при підвищенні ефективності використання різних джерел енергії.

Задля комплексної оцінки ефективності систем теплозабезпечення будівель в РПО запропоновано проводити її за наступними групами критеріїв: порівняння за енергетичними показниками; порівняння за технічними показниками; порівняння за економічними показниками.

Сформульовано *другий пункт наукової новизни* - запропоновано систему критеріїв комплексної оцінки ефективності комбінованих систем теплозабезпечення, теоретично обґрунтований вибір критеріїв, розроблено методику їх розрахунку.

Основні дослідження даної роботи спрямовані на підвищення ефективності ранкового натопу приміщення, але в відомих публікаціях не запропоновано показників, що оцінюють цей процес. Автором запропоновано універсальний показник, який характеризує властивості приміщень щодо ефективності натопу та є питомим показником, який не залежить від розміру приміщення і досить просто розраховується.

Сформульовано *третій пункт наукової новизни* – вперше запропоновано показник ефективності натопу приміщення, який однозначно характеризує інерційні та конструктивні властивості приміщення, системи опалення та їх теплову ефективність.

У **другому розділі** виконано аналіз умов функціонування систем теплозабезпечення будівель в РПО, з урахуванням яких запропоновано основні положення, що визначають принципи побудови математичних моделей КСТЗ.

Сформульовано задачу комплексної оптимізації КСТЗ, а саме - визначити таке поєднання теплотехнічних, витратних, конструктивних, режимних параметрів та конфігурації системи, при якому задані об'єми електричної та

теплової енергії забезпечуються за мінімальними витратами при виконанні усіх зовнішніх і внутрішніх обмежень її функціонування.

Для оцінки ефективності функціонування КСТЗ в РПО необхідно розробити математичну модель складових елементів системи, включаючи відновлювальні джерела енергії, для чого застосовано інструментарій математичного моделювання, а саме, моделювання теплового режиму будівлі, моделювання вітроустановки, моделювання системи акумулювання тепла, моделювання системи опалювання та моделювання теплового насосу.

Розроблена математична модель є основою для подальшого аналізу, дослідження, моделювання та оптимізації технічних, витратних, конструктивних, компоновальних, режимних параметрів та впливу на систему зовнішніх умов.

Сформульовано *четвертий пункт наукової новизни* – розроблено математичну модель теплових процесів та режимів функціонування комбінованих систем теплозабезпечення з ранжируванням впливу визначальних параметрів на ефективність системи.

У **третьому розділі** сформульовано комплексний підхід щодо аналізу режимів роботи КСТЗ та виконано класифікацію КСТЗ відповідно до потужності традиційних джерел енергії та фізичної природи альтернативних джерел енергії, що інтегровані до КСТЗ, за якими здійснимо аналіз режимів роботи визначених конфігурацій КСТЗ.

На підставі аналізу проведених експериментальних досліджень, було висунуто припущення про те, що процес прогріву повітря в будівлі на початковому етапі визначається швидким нагріванням повітря в приміщенні та встановленням теплового балансу між ним і відносно холодними стінами при досягненні визначеної граничної різниці температур повітря і внутрішньої поверхні стін. Одночасно відбувається поступовий прогрів стін вглиб, проте цей процес у десятки разів інерційніший. Таким чином, динаміка подальшого нагрівання повітря в приміщенні визначається динамікою прогріву стін при збереженні постійної різниці температур між стінами і повітрям при незмінній

потужності системи опалення. Запропоновано експериментальну модель динаміки прогріву повітря у приміщенні, що з високою точністю апроксимує отримані експериментальні дані щодо динаміки нагріву повітря у приміщенні.

У зв'язку з тим, що не завжди можливо провести експеримент з динаміки прогріву повітря у приміщення відповідно також було розроблено аналітичну модель динаміки нагріву повітря у приміщенні на базі теплофізичних параметрів приміщення та з використанням теорії нестационарного теплообміну. При перевірці адекватності запропонованої розрахункової моделі розбіжність експерименту з розрахунками не перевищує 2-3 %.

Розглянуто принципи оптимального управління (принцип максимуму Понтрягіна) щодо оптимізації навантаження РПО будівель та підвищення його ефективності під час ранкового натопу та, відповідно, зроблено висновок, що теплове навантаження системи опалення повинне бути максимально можливим за технічними умовами.

Збільшення тривалості неробочого часу, за рахунок зменшення тривалості ранкового натопу до мінімального значення, є важливою задачею оптимізації РПО. Запропоновано методику щодо визначення оптимальної тривалості ранкового натопу приміщення за пошуком умовного екстремуму функції багатьох змінних за методами варіаційного обчислювання та визначено умови її практичного застосування у теплотехнічній лабораторії НУ «Одеська політехніка».

Сформульовано *п'ятий пункт наукової новизни* – вдосконалено математичну модель динаміки прогріву повітря у приміщенні, що враховує малоінерційну складову процесу та значно підвищує точність моделювання у початковий проміжок часу натопу приміщення.

У **четвертому розділі** за результатами чисельного моделювання КСТЗ різних конфігурацій визначено залежності показників щодо комплексного аналізу ефективності системи та її складових частин, виконано аналіз ефективності КСТЗ в режимі переривчастого опалення в порівнянні з цілодобовим режимом.

Наведено результати моделювання режимів роботи КСТЗ з вітроустановкою підтверджують можливість створення високоефективних автономних систем опалення на базі сучасних енергетичних технологій з використанням альтернативних джерел енергії та з урахуванням їх місцевого потенціалу.

За результатами моделювання динаміки заряду-розряду теплового акумулятора для системи переривчастого опалення з електричним котлом підтверджено можливість застосування баку-акумулятора тепла для реалізації ефективної системи теплозабезпечення.

За результатами оптимізації режимів навантаження КСТЗ з тепловим акумулятором при зміні температури зовнішнього повітря від  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  отримано оптимальні параметри режимів роботи основних елементів КСТ. Задля досягнення максимальної ефективності РПО при моделюванні КСТЗ було також враховано основні напрями удосконалення теплозабезпечення будівель в РПО, що дозволило отримати зниження енерговитрат на  $25,2\%$  в порівнянні з режимом цілодобового опалення. Завдяки добовій акумуляції тепла та оптимізації потужності генератора тепла вдалося зменшити його максимальну потужність в порівнянні з максимальною потужністю системи опалення в залежності від зовнішніх умов в  $2,4 - 5,6$  разів.

Сформульовано *шостий пункт наукової новизни* – одержано аналітичні залежності для наукового проектування комбінованих систем ефективного теплозабезпечення будівель в режимі переривчастого опалення з альтернативними джерелами енергії різних класів з урахуванням їх конфігурацій і природи відновлюваних джерел енергії чисельними методами.

У **п'ятому розділі** наведено експериментальні дослідження показників ефективності КСТЗ, що було проведено у приміщеннях Теплотехнічної лабораторії НУ «Одеська політехніка», в яких впроваджено більшість пропозицій щодо підвищення ефективності КСТЗ в РПО, які представлено у даній роботі. При цьому було застасовано систему моніторингу енергетичної

ефективності системи опалення, що містить електричні та теплові лічильники, прилади контролю мікроклімату у приміщеннях, тощо.

Експериментальні дослідження КСТЗ з тепловим насосом в РПО, довели високу ефективність системи за наступними показниками: показник ефективності натопу приміщення склав:  $E_{\text{нат}} = 21-28 \text{ кДж}/(\text{°C}\cdot\text{м}^3)$ ; середньомісячна питома теплова потужність системи з тепловим насосом –  $5,5 - 10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ; середньомісячна питома електрична потужність системи опалення з тепловим насосом –  $1,8 - 4,3 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ; середньомісячна питома собівартість опалення в переривчастому режимі –  $2,3 - 10 \text{ грн}/(\text{м}^2\cdot\text{місяць})$ ; ефективне значення коефіцієнту натопу приміщення –  $2.0-3.0$ ; коефіцієнт заміщення альтернативними джерелами –  $23-51 \%$ ; середньомісячний коефіцієнт перетворення теплового насосу COP –  $1,8 - 2,8$ .

Експериментальні дослідження інерційних властивостей опалювальних пристроїв свідчать про співставну теплову інерційність інфрачервоних нагрівачів UFO, фанкойлів, радіаторів, що доводить їх використання у ефективних КСТЗ при РПО. Тепла підлога має інерційність у 6-7 разів вищу за інші опалювальні прилади та не забезпечує ефективні показники натопу приміщення.

*Ключові слова:* переривчастий режим опалення, комбіновані системи теплозабезпечення, ранковий натоп, альтернативні джерела енергії, математичне моделювання, тепловий насос, тепловий акумулятор, енергетична ефективність, вітроустановка, оптимізація режимів навантаження, теплова потужність, теплова ізоляція.

## **СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Simulation of intermittent heating mode of the educational building / G. Balasanian, O. Klymchuk, A. Semenii, Ye. Babaiev, L. Sachenko // Пр. Одес. політехн. ун-ту. – Одеса, 2021. – Вип. 2 (64). – Р. 22–27.

<http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/12493>

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

2. Balasanian, H. і Semenyii, A. 2023. Дослідження комбінованої системи теплозабезпечення з альтернативними джерелами енергії. Праці Одеського політехнічного університету. 2(68) (Вер. 2023), 25–32.

<https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.03>

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

3. Balasanian, H. і Semeniі, A. 2024. Ефективність автономної системи опалення в переривчастому режимі з акумулятором тепла . Праці Одеського політехнічного університету. 1(69) (Квіт 2024), с. 57–62.

<https://doi.org/10.15276/opu.1.69.2024.07>

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

4. Г.А. Баласанян, А.А. Семеній. Потужність генератора тепла автономної системи опалення у переривчастому режимі. Refrigeration Engineering and Technology. Том 60 № 2 (2024). С.121-127.

<https://doi.org/10.15673/ret.v60i2.2823>

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

#### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

5. Ефективність натопу режиму переривчастого опалення будівлі. Баласанян Г.А., Семеній А. А., Саченко Л. В. SCIENCE, INNOVATIONS AND EDUCATION: PROBLEMS AND PROSPECTS. Proceedings of VII International Scientific and Practical Conference Tokyo, Japan 9-11 February 2022. P. 205-210.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/02/SCIENCE-INNOVATIONS-AND-EDUCATION-PROBLEMS-AND-PROSPECTS-9-11.02.22.pdf>.

6. Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating. Баласанян Г.А., Семеній А.А. Повышение эффективности систем отопления зданий из-за прерывистого отопления.

Zinoviі Blikharskyū Editor. Proceedings of EcoComfort 2022. Lviv Polytechnic National University. Lviv, Ukraine. 06 August 2022. P.162-170.

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-14141-6\\_16](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-14141-6_16)

7. Комбінована система енергозабезпечення з альтернативними джерелами енергії . Баласанян Геннадій Альбертович, Лужанська Ганна Вікторівна,

Семеній Андрій Андрійович, Новіков Кирило Юрійович. The 1 st International scientific and practical conference “Eurasian scientific discussions” (February 13-15, 2022) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2022. P. 184-190.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/02/EURASIAN-SCIENTIFIC-DISCUSSIONS-13-15.02.22.pdf>

8. Баласанян Г. А., Крапива Н. В., Семеній А. А., Саченко Л. В., Ляшенко В. І. «Оптимізація параметрів та режимів роботи бака-акумулятора тепла системи електричного опалення в переривчатому режимі». Міжнародна наукова конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 80)», Польща, 19-20 вересня 2023. С. 177-182.

<http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-1275/>

9. Баласанян Г. А., Крапива Н. В., Семеній А. А. Перспективні напрямки підвищення ефективності автономних систем теплозабезпечення будівель в режимі переривчастого опалення // VII International scientific and practical conference «Scientific Research: Theoretical Foundations and Practical Applications» (January 24-26, 2024) Vienna, Austria, International Scientific Unity. 2024. P. 532-536.

[https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/01/Scientific\\_research\\_theoretical\\_foundations\\_and\\_practical\\_applications.pdf](https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/01/Scientific_research_theoretical_foundations_and_practical_applications.pdf)

10. Balasanian G. Ostapenko A., Semenii A. Experimental studies of heating systems according to the inertial properties of heating devices. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. Sofia, Bulgaria. September 17-20, 2024. Pp. 236-240.

<https://isg-konf.com/modern-trends-in-the-development-of-science-and-information-technologies/>

11. Баласанян Г.А., Семеній А.А., Верстак В.О. Критерії оцінки ефективності систем теплозабезпечення будівель в режимі переривчастого опалення. IX Міжнародна науково-практична конференція «Formation of the personality of a specialist as a subject of self-creation», 29 жовтня – 01 листопада 2024 р., Острава, Чехія. С. 280-282.

<https://isg-konf.com/uk/formation-of-the-personality-of-a-specialist-as-a-subject-of-self-creation/>

### ABSTRACT

*Semenii A.A.* Combined heat supply systems in intermittent heating mode with renewable energy sources. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 144 - Thermal Power Engineering. - Odesa Polytechnic National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2025.

**The introduction** shows the relevance and features of using intermittent heating of buildings in combination with renewable energy sources in a single system - a combined heat supply system (CHSS), which is expedient due to the mutual compensation of limitations characteristic of intermittent heating and renewable energy sources. The advantages of each of the technologies combined in one system also complement each other to a certain extent.

Despite the relative prevalence of the intermittent heating mode (IHM) of buildings, there is no comprehensive approach to increase its efficiency, in particular, the use of hybrid systems with renewable energy sources, which is quite appropriate when using IHM. In order to substantiate decisions on improving the efficiency of the IHM, it is necessary to perform a justification and select the criteria for the effectiveness of the KST functioning, to develop mathematical models of the CHSS of buildings in the IHM and alternative energy sources of various configurations, to determine the parameters that affect its effectiveness. The existing methods and approaches to increase the effectiveness of IHM are insufficient to solve the tasks.

The research direction of this work contains solutions to such issues as development and research of new CHSS schemes; development of theoretical foundations for creating thermal schemes of CHSS; systems operation modes; development of methods of their analysis; determination of optimal parameters of system functioning, selection and justification of technological processes, which are best combined with energy and operational capabilities of primary energy sources used in CHSS.

The object, subject, tasks and research methods are defined; the scientific novelty and practical significance of the results obtained in the work are formulated; personal contribution of the acquirer is indicated.

In the first **section** analysis of literary sources and promising directions for improving the efficiency of heat supply systems of buildings in IHM. In known publications, there are methods of comparative analysis, efficiency assessment and optimization of heating systems in intermittent mode, or their elements, but no mathematical models for optimizing parameters, load modes and circuit solutions for the proposed CHSS by the author have been found.

Therefore, one of the determining factors of the effectiveness of the intermittent heating mode is the efficiency of the heating, which consists in achieving a comfortable temperature in the room in the minimum time and with the minimum consumption of energy resources. In turn, the reduction of the flooding time is possible under the condition of: the maximum power of the heating system during flooding; optimization of the flood start time. Fulfillment of these conditions requires solving the problem of optimal management and providing appropriate technical solutions to increase the efficiency of the flood.

Thus, it is possible to formulate promising directions for increasing the efficiency of building heat supply systems in intermittent heating mode: increasing the capacity of the heating system in flood mode; use of low-inertia heating systems; the use of heat accumulators in relation to the flooding of premises; thermal modernization of buildings; application of combined heat supply systems with alternative energy sources. The configuration of the CHSS is presented, which takes

into account promising directions for increasing the efficiency of the heat supply systems of buildings in the IHM.

The **first point** of scientific novelty is formulated the technical possibility of creating promising combined systems of effective heat supply of buildings in the mode of intermittent heating with alternative energy sources that provide comprehensive heat supply to consumers while increasing the efficiency of the use of various energy sources is theoretically substantiated.

In order to comprehensively assess the effectiveness of the heat supply systems of buildings in IHM, it is proposed to conduct it according to the following groups of criteria: comparison by energy indicators; comparison by technical indicators; comparison by economic indicators.

The **second point** of scientific novelty is formulated - a system of criteria for comprehensive evaluation of the efficiency of combined heat supply systems is proposed, a theoretically justified selection of criteria is developed, and a methodology for their calculation is developed.

The main researches of this work are aimed at increasing the efficiency of the morning heating of the room, but no indicators evaluating this process have been proposed in known publications. The author proposed a universal indicator that characterizes the properties of the premises in terms of the efficiency of flooding and is a specific indicator that does not depend on the size of the premises and is quite simply calculated.

The **third point** of scientific novelty was formulated - for the first time, an indicator of the effectiveness of the heating of the room was proposed, which unambiguously characterizes the inertial and constructive properties of the room, the heating system and their thermal efficiency.

In the **second section** analysis of the operating conditions of the heat supply systems of buildings in the IHM was performed, taking into account the main provisions that determine the principles of building mathematical models of CHSS.

The task of complex optimization of the KST is formulated, namely, to determine such a combination of thermal technical, consumption, structural, mode

parameters and configuration of the system, in which the specified volumes of electric and thermal energy are provided at minimum costs while meeting all external and internal limitations of its functioning.

In order to evaluate the effectiveness of the operation of the CHSS in the IHM, it is necessary to develop a mathematical model of the system's constituent elements, including renewable energy sources, for which a mathematical modeling toolkit is used, namely, modeling of the thermal regime of the building, modeling of the wind turbine, modeling of the heat storage system, modeling of the heating system and modeling of the heat pump .

The developed mathematical model is the basis for further analysis, research, modeling and optimization of technical, cost, constructive, compositional, regime parameters and the influence of external conditions on the system.

The **fourth point** of scientific innovation was formulated - a mathematical model of thermal processes and modes of operation of combined heat supply systems was developed, with a ranking of the influence of determining parameters on the efficiency of the system.

In the **third section** comprehensive approach to the analysis of the CHSS operating modes was formulated and the CHSS classification was performed according to the power of traditional energy sources and the physical nature of alternative energy sources integrated into the CHSS, according to which we will analyze the operating modes of the specified CHS configurations.

Based on the analysis of the experimental studies, it was suggested that the process of heating the air in the building at the initial stage is determined by the rapid heating of the air in the room and the establishment of a thermal balance between it and the relatively cold walls when a certain limit of temperature difference between the air and the inner surface of the walls is reached. At the same time, gradual warming of the walls in depth occurs, but this process is ten times more inertial. Thus, the dynamics of further heating of the air in the room is determined by the dynamics of heating the walls while maintaining a constant temperature difference between the walls and the air at a constant power of the heating system. An

experimental model of the dynamics of air heating in the room is proposed, which approximates the obtained experimental data on the dynamics of air heating in the room with high accuracy.

Due to the fact that it is not always possible to conduct an experiment on the dynamics of air heating in the room, accordingly, an analytical model of the dynamics of air heating in the room was developed based on the thermophysical parameters of the room and using the theory of non-stationary heat exchange. When checking the adequacy of the proposed calculation model, the discrepancy between the experiment and the calculations does not exceed 2-3%.

The principles of optimal control (Pontryagin's maximum principle) regarding the optimization of the load on the RPO of buildings and increasing its efficiency during the morning heat are considered and, accordingly, it is concluded that the thermal load of the heating system should be as high as possible under technical conditions.

Increasing the duration of non-working time, due to reducing the duration of the morning rush hour to a minimum value, is an important task of optimizing ABM. The methodology for determining the optimal duration of morning heating of the room by searching for the conditional extremum of the function of many variables using the methods of variation calculation is proposed, and the conditions of its practical application in the heat engineering laboratory of NU "Odesa Polytechnic" are determined.

The **fifth point** of scientific novelty has been formulated - the mathematical model of the dynamics of air heating in the room has been improved, which takes into account the low-inertia component of the process and significantly increases the accuracy of the modeling during the initial period of time of flooding the room.

In the **fourth section** on the results of numerical simulation of the CHSS of various configurations, the dependencies of the indicators regarding the comprehensive analysis of the efficiency of the system and its components were determined, the analysis of the efficiency of the CHSS in the intermittent heating mode compared to the 24-hour mode was performed.

The results of modeling the operating modes of the CHSS with a wind turbine are presented, confirming the possibility of creating highly efficient autonomous heating systems based on modern energy technologies using alternative energy sources and taking into account their local potential.

Based on the results of modeling the dynamics of charge-discharge of a heat accumulator for an intermittent heating system with an electric boiler, the possibility of using a heat accumulator tank for the implementation of an effective heat supply system has been confirmed.

Based on the results of optimization of the load modes of the CHSS with heat accumulation when the outside air temperature changes from  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the optimal parameters of the operating modes of the main elements of the CHSS were obtained. In order to achieve the maximum efficiency of the IHM, the main directions of improving the heat supply of buildings in the IHM were also taken into account when modeling the IHM, which made it possible to obtain a reduction in energy consumption by 25.2 % compared to the 24-hour heating mode. Due to the daily accumulation of heat and optimization of the power of the heat generator, it was possible to reduce its maximum power compared to the maximum power of the heating system, depending on the external conditions, by 2.4-5.6 times.

The **sixth point** of scientific novelty was formulated - analytical dependencies were obtained for the scientific design of combined systems of effective heat supply of buildings in the mode of intermittent heating with alternative energy sources of different classes, taking into account their configurations and the nature of renewable energy sources using numerical methods.

In the fifth chapter experimental studies of CHSS efficiency indicators are presented, which were carried out in the premises of the Heat Engineering Laboratory of NU "Odesa Polytechnic", in which most of the proposals for improving the efficiency of CHSS in IHM, which are presented in this work, are implemented. At the same time, a system for monitoring the energy efficiency of the heating system was applied, which includes electric and heat meters, devices for controlling the microclimate in the premises, etc.

Experimental studies of CHSS with a heat pump in IHM proved the high efficiency of the system according to the following indicators: the indicator of the efficiency of heating the room was:  $E_{\text{nat}} = 21\text{-}28 \text{ kJ}/(\text{°C}\cdot\text{m}^3)$ ; average monthly specific thermal power of the system with a heat pump -  $5.5 - 10 \text{ W}/\text{m}^2$ ; average monthly specific electric power of the heating system with a heat pump –  $1.8 - 4.3 \text{ W}/\text{m}^2$ ; average monthly specific cost of heating in intermittent mode -  $2.3 - 10 \text{ hryvnias}/(\text{m}^2\cdot\text{month})$ ; the effective value of the room flooding factor is  $2.0\text{-}3.0$ ; the rate of replacement by alternative sources -  $23\text{-}51 \%$ ; the average monthly conversion factor of the COP heat pump is  $1.8 - 2.8$ .

Experimental studies of the inertial properties of heating devices testify to the comparable thermal inertia of UFO infrared heaters, fan coils, and radiators, which proves their use in effective CHSS for IHM. A warm floor has an inertia 6-7 times higher than other heating devices and does not provide effective indicators of heating the room.

Key words: intermittent heating mode, combined heat supply systems, morning heating, alternative energy sources, mathematical modeling, heat pump, heat accumulator, energy efficiency, wind turbine, optimization of load modes, thermal power, thermal insulation.

## **LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION**

### **List of publications of the applicant on the topic of the dissertation**

1. Simulation of intermittent heating mode of the educational building / G. Balasarian, O. Klymchuk, A. Semenii, Ye. Babaiev, L. Sachenko // Proceedings of Odessa Polytechnic University. – Odessa, 2021. – Issue 2 (64). – P. 22–27.  
<http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/12493>
2. Balasarian, H. i Semenyii, A. 2023. Research of a combined heat supply system with alternative energy sources // Proceedings of Odessa Polytechnic University. – Odessa, 2023. – Issue 2(68). – P. 25–32.  
<https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.03>

3. Balasanian, H. i Semenii, A. Efficiency of an autonomous heating system in intermittent mode with a heat accumulator // Proceedings of Odessa Polytechnic University. – Odessa, 2024. – Issue 1(69), P. 57–62.

<https://doi.org/10.15276/opu.1.69.2024.07>

4. Balasanian, H. Semenii, A. Efficiency of an autonomous heating system in intermittent mode with a heat accumulator // Refrigeration Engineering and Technology. Volume 60 № 2 (2024). P.121-127.

<https://doi.org/10.15673/ret.v60i2.2823>

#### **Published works of approbation nature:**

5. The efficiency of the heating of the intermittent heating mode of the building. Balasanian H., Semenii A., Sachenko L. SCIENCE, INNOVATIONS AND EDUCATION: PROBLEMS AND PROSPECTS. Proceedings of VII International Scientific and Practical Conference Tokyo, Japan 9-11 February 2022. P. 205-210.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/02/SCIENCE-INNOVATIONS-AND-EDUCATION-PROBLEMS-AND-PROSPECTS-9-11.02.22.pdf>

6. Improving the Efficiency of Heating Systems of Buildings Due to Intermittent Heating. Balasanian H., i Semenii A. Zinoviy Blikharsky Editor. Proceedings of EcoComfort 2022. Lviv Polytechnic National University. Lviv, Ukraine. 06 August 2022. P.162-170.

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-14141-6\\_16](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-14141-6_16)

7. Combined energy supply system with alternative energy sources . Balasanian H., Luzanska H., Semenii A., Novikov K. The 1 st International scientific and practical conference “Eurasian scientific discussions” (February 13-15, 2022) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2022. P.184-190.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/02/EURASIAN-SCIENTIFIC-DISCUSSIONS-13-15.02.22.pdf>

8. Balasanian H., Krapiva N., Semenii A., Sachenko L., Lyashenko V. Optimization of the parameters and modes of operation of the heat storage tank of

the electric heating system in intermittent mode. International scientific conference "Information society: technological, economic and technical aspects of development (Issue 80)", Poland, September 19-20, 2023. P.177-182.

<http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-1275/>

9. Balasarian H., Krapiva N., Semenii A. Prospective directions for improving the efficiency of autonomous systems of heat supply of buildings in the mode of intermittent heating // VII International scientific and practical conference «Scientific Research: Theoretical Foundations and Practical Applications» (January 24-26, 2024) Vienna, Austria, International Scientific Unity. 2024. P. 532-536.

[https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/01/Scientific\\_research\\_theoretical\\_foundations\\_and\\_practical\\_applications.pdf](https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/01/Scientific_research_theoretical_foundations_and_practical_applications.pdf)

10. Balasarian H., Ostapenko A., Semenii A. Experimental studies of heating systems according to the inertial properties of heating devices. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. Sofia, Bulgaria. September 17-20, 2024. Pp. 236-240.

<https://isg-konf.com/modern-trends-in-the-development-of-science-and-information-technologies/>

11. Balasarian H., Semenii A., Verstak V. Criteria for evaluating the efficiency of building heat supply systems in the mode of intermittent heating IX International scientific and practical conference "Formation of the personality of a specialist as a subject of self-creation", October 29 - November 1, 2024, Ostrava, Czech Republic. – Pp. 280-282.

<https://isg-konf.com/formation-of-the-personality-of-a-specialist-as-a-subject-of-self-creation/>