

УДК 004:519.2

С. В. ІНОСОВ, О. В. БОНДАРЧУК, М. І. САМОЙЛЕНКО, В. Ю. ЛУЦЕНКО
Київський національний університет будівництва і архітектури**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ
ПРИ ДВОТЕМПЕРАТУРНОМУ РЕЖИМІ ОПАЛЕННЯ**

В наш час назріла потреба раціонального використання енергоресурсів та енергоефективних технологій як в промисловості так і в житлово-комунальному господарстві. Системи опалення будинків є головними споживачами енергії, на долю опалення припадає більше половини енергоспоживання будівлі. Для оптимізації енергоспоживання системи опалення будинку часто використовують так зване «двохрежимне опалення». Суть такого опалення наступна: в приміщенні підтримують комфортні умови за присутності людей, а решту часу – економну температуру. Дана стаття присвячена дослідженню та оцінці економічного ефекту від використання двотемпературного режиму опалення приміщення. В роботі досліджується залежність економії витрат теплової енергії при використанні двотемпературного режиму опалення від температури приміщення. Відсоток економії залежить від кліматичних умов (розподілу середньодобових температур) в місті знаходження будівлі. Для статистичних розрахунків використовувався масив даних середньодобової температури в м. Києві за 100 років (з 1900 року по 2000 рік). Згідно з нормативними документами тепловтрати будівлі обчислювались як сума втрат тепла через огорожувальні конструкції та втрати тепла на нагрів повітря, що видаляється витяжною вентиляцією. При сталих умовах всі тепловтрати в приміщенні пропорційні різниці температур внутрішнього та зовнішнього повітря. Тепловий опір для тепловтрат масштабовано таким чином, щоб при кімнатній температурі 22 градуси тепловитрата складала 100 %. Для Києва значення масштабованого теплового опору складає 0.145 град/%. Завдяки масштабуванню результати моделювання стають універсальними, придатними для будь-яких будівель (одноповерхових, багатоповерхових, з різною товщиною і теплоізоляцією стін, тощо) і будь-яких систем опалення. Порівнюються два типи приміщень, офісне та житлове. різних за призначенням та періодичністю експлуатації, з точки зору економії тепловитрат. Використання двохлапимного опалення доцільно, дійсно дозволяє заощаджувати теплову енергію, однак масове використання двохлапимного опалення в умовах централізованого теплопостачання неминуче призведе до пікових навантажень системи теплопостачання. При автономному опаленні приватного будинку чи котеджу таких обмежень нема.

Ключові слова: автоматизація, двотемпературне опалення, статистичний аналіз, математична модель, тепловий об'єкт, економія, тепла енергія.

S. V. INOSOV, O. V. BONDARCHUK, M. I. SAMOYLENKO, V. Yu. LUTSENKO
Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture**RESEARCH ON THERMAL ENERGY SAVINGS
IN A TWO-TEMPERATURE HEATING MODE**

Nowadays, there is a need for rational use of energy resources and energy-efficient technologies both in industry and in housing and communal services. House heating systems are the main consumers of energy, heating accounts for more than half of the building's energy consumption. To optimize the energy consumption of house heating systems, the so-called "dual-mode heating" is often used. The essence of such heating is as follows: comfortable conditions are maintained in the room when people are present, and the rest of the time – an economical temperature. This article is devoted to the study and assessment of the economic effect of using a two-temperature mode of heating the room. The work investigates the dependence of thermal energy savings when using a two-temperature mode of heating on the room temperature. The percentage of savings depends on the climatic conditions (distribution of average daily temperatures) in the city where the building is located. For statistical calculations, an array of data on the average daily temperature in Kyiv for 100 years (from 1900 to 2000) was used. According to regulatory documents, the heat loss of the building was calculated as the sum of heat loss through the enclosing structures and heat loss due to heating of the air removed by exhaust ventilation. Under constant conditions, all heat loss in the room is proportional to the difference in temperature between the indoor and outdoor air. The thermal resistance for heat loss was scaled so that at a room temperature of 22 degrees, the heat loss was 100 %. For Kyiv, the value of the scaled thermal resistance is 0.145 deg/%. Due to scaling, the modeling results become universal, suitable for any building (single-story, multi-story, with different wall thickness and thermal insulation, etc.) and any heating systems. Two types of premises were compared, office and residential. different in purpose and frequency of operation, in terms of heat saving. The use of two-mode heating is advisable, it really allows you to save thermal energy, however, the mass use of two-mode heating in conditions of centralized heating will inevitably lead to peak loads on the heating system. With autonomous heating of a private house or cottage, there are no such restrictions

Keywords: automation, two-temperature heating, statistical analysis, mathematical model, thermal object, savings, thermal energy.

Постановка проблеми

В наш час назріла потреба раціонального використання енергоносіїв та впровадженню енергозберігаючих технологій. Дана стаття присвячена дослідженню та оцінці економічного ефекту від використання двотемпературного режиму опалення приміщення. Суть такого опалення наступна: в приміщенні підтримують комфортні умови за присутності людей, а решту часу – температуру економну. Порівнюються два типи приміщень, різних за призначенням та періодичністю експлуатації: житлова кімната та офіс. Офісне приміщення експлуатується в робочий час з 9:00 до 18:00, тобто лише дев'ять годин. Житлове приміщення, навпаки, не експлуатується з 9:00 до 18:00, експлуатується решту 15 годин доби. Відсоток економії залежить від кліматичних умов (розподілу середньодобових температур) в місті знаходження будівлі. В якості джерела для статистичних розрахунків використаний масив даних середньодобової температури в м. Києві за 100 років (з 1900 року по 2000 рік).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Згідно з нормативними документами та методичними рекомендаціями [1; 2; 3; 4] тепловтрати будівлі обчислюють як суму втрат тепла через огорожувальні конструкції або трансмісійних втрат тепла та втрати тепла на нагрів повітря, що видаляється витяжною вентиляцією. У варіанті EN 12831 вираз для визначення повних проектних втрат тепла опалюваного простору Φ_i має такий вигляд:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}, \quad (1)$$

де: $\Phi_{T,i}$ та $\Phi_{V,i}$ – розраховані проектні втрати тепла через огорожувальні конструкції та втрати тепла з витяжним повітрям відповідно.

Стандарт EN 12831 пропонує такий вираз для розрахунку проектних втрат тепла опалюваного простору внаслідок теплопередачі:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ij} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (2)$$

де: $H_{T,ie}$ – коефіцієнт втрат тепла внаслідок теплопередачі з опалюваного простору до навколишнього середовища через оболонку будівлі, Вт/К; $H_{T,iue}$ – коефіцієнт втрат тепла внаслідок теплопередачі з опалюваного простору до навколишнього середовища через неопалювальні простори, Вт/К; $H_{T,ij}$ – коефіцієнт втрат тепла внаслідок теплопередачі з опалюваного простору до суміжного опалювального простору, Вт/К; $H_{T,ig}$ – коефіцієнт втрат тепла внаслідок теплопередачі з опалюваного простору до навколишнього середовища через підлогу до ґрунту, Вт/К; $\theta_{int,i}$ – проектна внутрішня температура опалюваного простору, °С; θ_e – проектна температура зовнішнього повітря, °С.

Основний висновок для подальшого: при сталих умовах всі тепловтрати в приміщенні пропорційні різниці температур внутрішнього та зовнішнього повітря.

Мета дослідження

Оцінити залежність економії витрат теплової енергії при використанні двотемпературного режиму опалення від температури приміщення для кліматичних умов м. Києва. Порівняти два типи приміщень, офісне та житлове. різних за призначенням та періодичністю експлуатації, з точки зору економії тепловитрат.

Виклад основного матеріалу

На рис. 1 наведено графік зміни середньодобової температури в м. Києві. Джерелом відповідного масиву даних є Гідрометцентр України.. Вказаний масив даних за 100 років (з 1900 року по 2000 рік), який вже використовувався в попередніх публікаціях [5; 6; 7; 8], є основою для подальших статистичних розрахунків. Температура відображена в градусах, час відображено в днях. Для наочності на графіку відображені тільки останні 4 роки.

На рис. 2 відображено відповідний розрахунковий графік зміни потужності тепловитрат на опалення при температурі в приміщенні 22 градуси. Потужність тепловитрат відображена

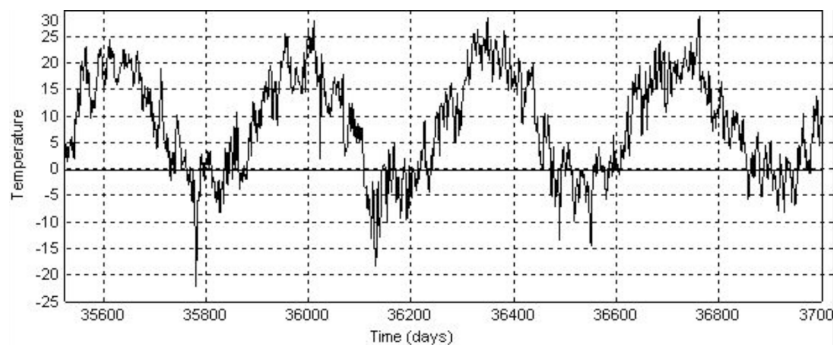


Рис. 1. Графік зміни середньодобової температури в м. Києві

у відсотках від номінального значення. В якості номінального значення (100 %) прийнята середня річна тепловитрата при температурі в приміщенні 22 градуси. Суцільна горизонтальна пряма на графіку якраз відповідає цьому номінальному значенню. Процедура статистичного розрахунку буде розглянута далі.

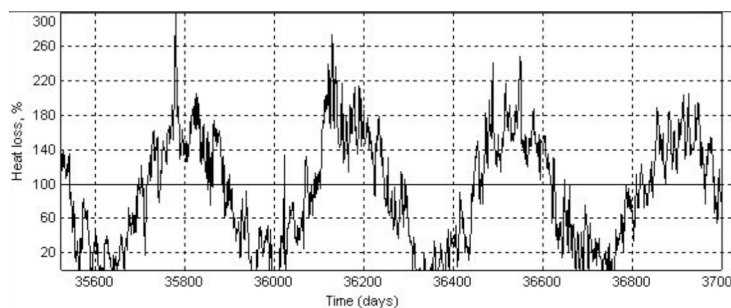


Рис. 2. Розрахунковий графік зміни потужності тепловитрат на опалення при температурі в приміщенні 22 градуси

На рис. 3 графік розподілу (гістограма) потужності тепловитрат на опалення при температурі в приміщенні 22 градуси. По горизонталі відкладено потужність тепловитрати у відсотках. Кількість комірок для сортування даних дорівнює 30. По вертикалі відкладено кількість відповідних випадків по комірках за 100 років. Як видно з графіку, розрахункова потужність тепловитрати не перевищувала 300 % від номінального значення за всі 100 років.

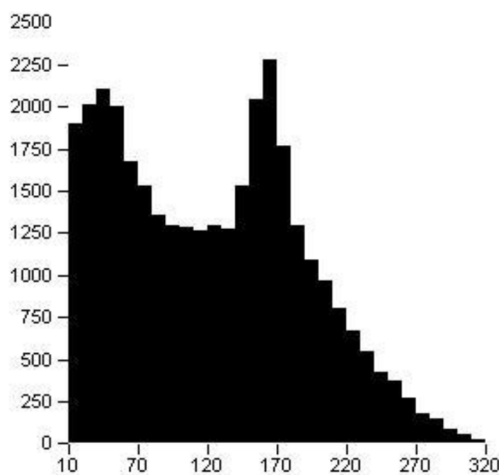


Рис. 3. Розподіл потужності тепловитрат на опалення при температурі в приміщенні 22 градуси

На рис. 4 відображено розрахунковий графік зміни потужності тепловитрат на опалення при температурі в приміщенні 19 градусів. Середнє значення складає 81,6 %. Суцільна

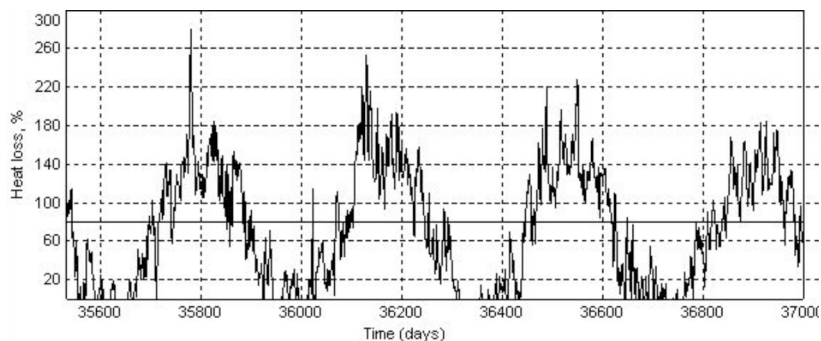


Рис. 4. Розрахунковий графік зміни потужності тепловитрат на опалення при температурі в приміщенні 19 градусів

горизонтальна пряма на графіку якраз відповідає цьому середньому значенню. Тобто економія тепловитрат складає 18,4 % при зменшенні температури в приміщенні на 3 градуси.

На рис. 5 наведені узагальнені результати статистичного дослідження у вигляді графіку залежності середньорічної потужності тепловитрат (у відсотках) від температури в приміщенні (в градусах). Наприклад, якщо підтримувати температуру в приміщенні 17 градусів, то річна потужність тепловитрат зменшиться на 30 відсотків від номінальної (100 %). Номінальний режим при температурі в приміщенні 22 градуси відмічено жирною крапкою. При необхідності, замість графіку можна використовувати розрахункову формулу, наведену в прямокутнику. Якщо замість x підставити температуру приміщення в градусах, то значення у буде відповідати потужності тепловитрат у відсотках.

На рис. 6 зображена структурна схема розрахункової моделі проведеного статистичного аналізу в програмному середовищі Visual Simulation.

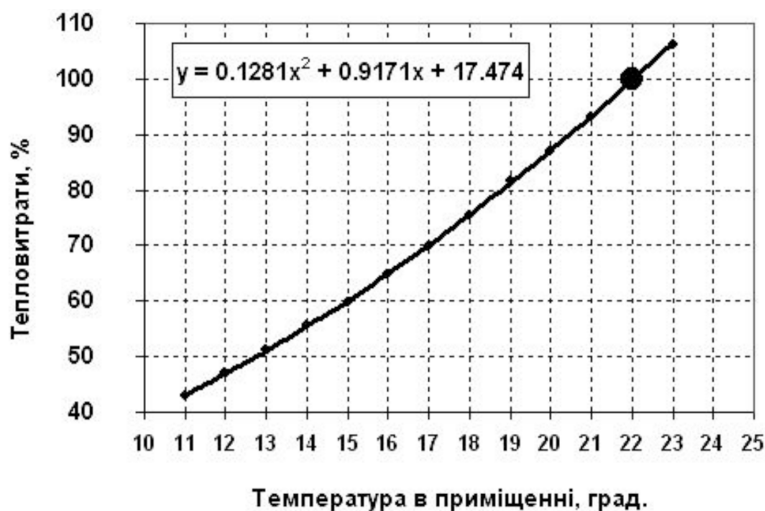


Рис. 5. Залежність тепловитрат від температури в приміщенні

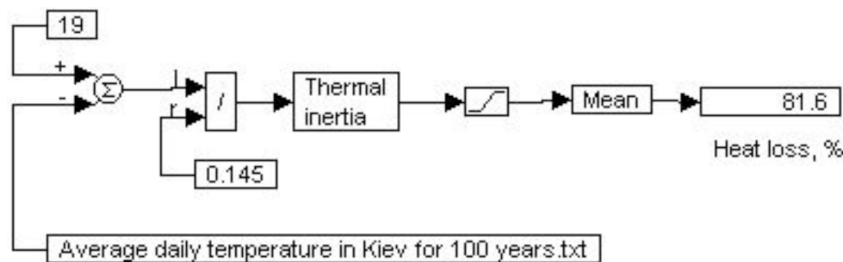


Рис. 6. Структурна схема розрахункової моделі

Значення середньодобових температур в м. Києві з 1900 по 2000 рік завантажуються потоком з файла Average daily temperature in Kiev for 100 years.txt.

Блок порівняння S вираховує відповідні перепади температур на огорожуваних конструкціях (стінах) при кімнатній температурі 19 градусів (для прикладу). Блок $[/]$ вираховує відповідні потужності тепловитрат шляхом ділення перепадів температур на тепловий опір для втрат тепла. Тепловий опір масштабовано таким чином, щоб при кімнатній температурі 22 градуси тепловитрата складала 100 %. Для Києва значення масштабованого теплового опору складає 0.145 град/% Завдяки масштабуванню результати моделювання стають універсальними, придатними для будь-яких будівель (одноповерхових, багатопверхових, з різною товщиною і теплоізоляцією стін, тощо) і будь-яких систем опалення.

При зміні перепаду температури тепловий потік не може змінитися миттєво, бо стіна має теплову інерцію. Блок Thermal inertia якраз враховує теплову інерцію огорожуваних конструкцій. Спрощеною моделлю теплової інерції прийнято аперіодичний блок першого порядку з передаточною функцією $1/(T \times p + 1)$. Стала часу T прийнята 0.5 доби (12 годин). Це відповідає стіні з керамічної цегли товщиною 40 см. Не плутати T з сталою часу прогріву всього будинку, яка значно більша! Моделювання показало, що зміна значення T в діапазоні від 0 до 2 діб практично не впливає на результат, тобто теплову інерцію огорожуваних конструкцій можна взагалі не враховувати. Тим не менше, залишаємо цей блок для повноти моделі.

Система опалення не може генерувати потік тепла з негативним знаком, тому блок \square (limiter) пропускає на вихід тільки позитивні значення.

Блок mean осереднює потік даних і вираховує середню потужність теплових втрат за минулий період (Heat loss, %). Цифровий індикатор показує відповідне чисельне значення (для прикладу 81,6 %).

З рис. 5 видно, що при зниженні температури в приміщенні з 22° до 16° тепловитрати через огорожувальні конструкції та тепловитрати з витяжним повітрям можна зекономити на 35 %. Температура 16° не комфортна для людей, тому доцільно використати так зване двохране опалення: температура в приміщенні підтримується на комфортному рівні, коли приміщення експлуатується (в ньому є люди), та на економному рівні, коли людей в приміщенні немає. Для офісу візьмемо, наприклад, тривалість комфортного періоду 9 годин (з 9.00 до 18.00), економного періоду відповідно 15 годин, комфортну температуру 22°, економну температуру 12°. При цьому середня температура буде якраз 16° $((22 \times 9 + 12 \times 15)/24)$ і ми отримаємо бажану економію 35 % (рис. 5). Осереднення температури припустиме, бо процес тепловитрати лінійний і до нього можна застосовувати принцип суперпозиції.

Важливе зауваження. Тепловитрата залежить від середньої фактичної (а не заданої) температури в приміщенні. Інерційність системи автоматичного програмного регулювання температури не дозволить миттєво змінювати температуру між комфортним і економним значеннями. Тому значення фактичної середньої температури повинно бути уточнено в результаті відповідного динамічного розрахунку перехідних процесів. Це питання виходить за межі даної статті.

Для житлового приміщення очікувана економія суттєво менша, бо воно експлуатується більшу частину доби. Візьмемо, наприклад, тривалість комфортного періоду 15 годин, тривалість економного періоду відповідно 9 годин, комфортну температуру 22°, економну температуру 16° (знижувати економну температуру нижче 16 С в житлових приміщеннях не бажано, враховуючи можливу наявність домашніх тварин чи квітів). Середня температура буде 20°, що дає нам економію 13 % (див. рис. 5).

Висновки

1. Використання двохраного опалення дозволяє зекономити теплову енергію.
2. Відсоток економії більший для офісних приміщень, котрі експлуатуються менше часу у порівнянні з житловими приміщеннями.

3. Відсоток економії залежить від кліматичних умов (розподілу середньодобових температур) в місті знаходження будівлі.

4. Масове використання двоережимного опалення в умовах централізованого теплопостачання неминуче призведе до пікових навантажень системи теплопостачання. При автономному опаленню приватного будинку чи котеджу таких обмежень нема.

Список використаної літератури

1. ДСТУ EN 12831-1:2017 (EN 12831-1:2017, IDT). Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Частина 1. Теплове навантаження, Модуль М3-3. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 96 с
2. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. Київ : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. 71с.
3. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітленні та гарячого водопостачання. Київ : ДП«УкрНДНЦ», 2022. 152с.
4. Бондар Є., Гордієнко А., Михайлов В., Німіч Г. Автоматизація систем вентиляції та кондиціонування повітря. Київ : ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост – Прим», 2005. 560 с.
5. Inosov S. V., Illarionov V. M., Sabalaeva N. O. Research on identification of the spontaneous electrical heating system in the district electrical network. *Progressive research in the modern world. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference*. BoScience Publisher. Boston, USA. 2022. Pp. 171–175. URL: <https://sci-conf.com.ua/iv-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-progressive-research-in-the-modern-world-28-30-12-2022-boston-ssha-arhiv/>
6. Іносов С., Ілларіонов В., Сабалаєва Н. Автоматизація захисту водогону від промерзання з регулюванням за збуренням. *Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології*, 2024. № 1 (07). С. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.36994/2788-5518-2024-01-07-08>
7. Іносов С., Соболевська Т., Самойленко Н., Сідун К. Дослідження температурних збурень для систем автоматизації опалення будівель. *Управління розвитком складних систем*. 2012. № 6. С. 159–161.
8. Іносов С.В. Статистична ідентифікація моделі автоматизованої системи централізованого теплопостачання. *Управління розвитком складних систем*. 2010. Випуск 2. КНУБА. С. 66–69. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2010.2.%25p>

References

1. Derzhavniy standart Ukrainy (DSTU) EN 12831-1:2017 (EN 12831-1:2017, IDT) (2017). Enerhoefektyvnist budivel. Metod rozrakhunku proektnoho teplovoho navantazhennia. Chastyna 1. Teplove navantazhennia, Modul M3-3. [Energy efficiency of buildings. Method for calculating the design heat load. Part 1. Heat load, Module M3-3]. Kyiv : DP “UkrNDNTs” [in Ukrainian]
2. Derzhavni budivelni normy (DBN) V.2.6-31:2006 (2006). Teplova izoliatsiia budivel [Thermal insulation of buildings]. Kyiv : Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy [in Ukrainian]
3. Derzhavniy standart Ukrainy (DSTU) 9190:2022. (2022). Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pid chas opalennia, okholodzhennia, ventyliatsii, osviltenni ta hariachoho vodopostachannia [Energy efficiency of buildings. A method for calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water]. Kyiv : DP “UkrNDNTs” [in Ukrainian].
4. Bondar, E., Gordienko, A., Mikhailov, V., & Nimich, G. (2005). *Avtomatyzatsiia system ventyliatsii ta kondytsionuvannia povitria* [Automation of ventilation and air conditioning systems]. Kyiv : TOV “Vydavnychiy budynok “Avanpost – Prym” [in Ukrainian].
5. Inosov S. V., Illarionov V. M., Sabalaeva N. O. (2022). Research on identification of the spontaneous electrical heating system in the district electrical network. *Progressive research*

in the modern world. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Boston, USA. 171–175. URL: <https://sci-conf.com.ua/iv-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-progressive-research-in-the-modern-world-28-30-12-2022-boston-ssha-arhiv/> [in English].

6. Inosov, S., Illarionov, V., & Sabalayeva, N. (2024). Avtomatyzatsiia zakhystu vodohonu vid promerzannia z rehuliuivanniam za zbuenniam [Automation of water supply protection against freezing with disturbance control]. *Infocommunication and computer technologies*, 1(07), 61–66. <https://doi.org/10.36994/2788-5518-2024-01-07-08> [in Ukrainian].
7. Inosov, S., Sobolevska, T., Samoilenko, N., & Sidun, K. (2012). Doslidzhennia temperaturnykh zburen dlia system avtomatyzatsii opalennia budivel [Research of temperature disturbances for building heating automation systems]. *Management of complex systems development*, 6, 159–161. [in Ukrainian].
8. Inosov, S. V. (2010). Statystychna identyfikatsiia modeli avtomatyzovanoi systemy tsentralizovanoho teplopostachannia [Statistical identification of the model of an automated system of centralized heating]. *Management of the development of complex systems*. KNUBA. 2, 66–69. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2010.2.%25p> [in Ukrainian].

Іносов Сергій Вікторович – к.т.н., доцент кафедри автоматизації технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури. E-mail: inosov.sv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8305-5514.

Бондарчук Ольга Вячеславівна – к.т.н., доцент кафедри автоматизації технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури. E-mail: bondarchuk.ov@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1893-1893.

Самойленко Микола Іванович – асистент кафедри автоматизації технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури. E-mail: samoilenko@atp.in.ua, ORCID: 0000-0001-9410-6962.

Луценко Вадим Юрійович – к.т.н., доцент кафедри автоматизації технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури. E-mail: lutsenko.viu@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9727-5574.

Inosov Serhiy Viktorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation of Technological Processes of the Kyiv National University of Construction and Architecture. E-mail: inosov.sv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8305-5514.

Bondarchuk Olga Vyacheslavivna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation of Technological Processes of the Kyiv National University of Construction and Architecture. E-mail: bondarchuk.ov@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1893-1893.

Samoilenko Mykola Ivanovych – Asistent at the Department of Automation of Technological Processes of the Kyiv National University of Construction and Architecture. E-mail: samoilenko@atp.in.ua, ORCID: 0000-0001-9410-6962.

Lutsenko Vadym Yuriyovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation of Technological Processes of the Kyiv National University of Construction and Architecture. E-mail: lutsenko.viu@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9727-5574.

Дата першого надходження статті до видання: 25.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 01.07.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)