

УДК 728:658.589:620.9

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.115.1100

КАСКАДНІ КОТЕЛЬНІ ЯК СИСТЕМА ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

ПАПІРНИК Р. Б.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

ДІКАРЕВ К. Б.², канд. техн. наук, доц.,

КАТАЄВ А. С.³, асп.,

КОВАЛЬ В. В.⁴, маг.

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

² Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: kataev2712@ukr.net, ORCID ID: 0009-0000-6303-1216

⁴ Кафедра публічного управління та адміністрування, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49009, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 371-08-21, e-mail: valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

Анотація. *Постановка проблеми.* Руїнування та пошкодження енергетичної інфраструктури внаслідок війни спричиняють відключення систем життєзабезпечення, що негативно впливає на життя населення та економіку. Вивчення систем опалення в сучасних реаліях набуває великої актуальності та вимагає наукового обґрунтування, нових стратегічних рішень, а також організаційних, економічних та технологічних розробок для подолання нових викликів. Дослідження вказує на необхідність знаходження енергоефективних та легко відновлюваних альтернативних систем опалення. *Мета дослідження* – пошук альтернативних, індивідуальних систем життєзабезпечення будівель, які будуть більш енергоефективними, сучасними та швидко відновлюваними. Це включає системи, які можна відновити та використовувати незалежно від інших джерел живлення. *Методика* – аналітичні дослідження навантаження системи тепlopостачання, технологічне дослідження системи тепlopостачання будівель та споруд, аналіз та синтез наявних даних, порівняння ефективності каскадних котельень з іншими системами опалення. *Результати.* Виявлено, що каскадні котельні дозволяють заощадити паливні ресурси, знизити викиди, оптимізувати витрати та забезпечити стабільне тепlopостачання. Вони знаходять застосування в різних галузях, від житлових будинків до великих промислових комплексів. У контексті сучасних викликів, таких як природні катастрофи, економічні кризи чи воєнні конфлікти, каскадні котельні виявляються незамінними, надійно забезпечуючи опалення та життєзабезпечення приміщень. Їх гнучкість у використанні, здатність до автоматизації та надійність роботи дозволяють ефективно вирішувати проблеми, пов'язані з тепlopостачанням. *Наукова новизна.* Розглянуто впровадження каскадних котельень як альтернативного рішення для опалювання будинків у містах України, які постраждали від конфлікту, виокремивши їх переваги та потенціал для вирішення проблем, пов'язаних із руїнуванням традиційної енергетичної інфраструктури. *Практична значимість.* Актуальність пошуку інноваційних рішень забезпечення тепlopостачання у будинки безпосередньо під час завершення та підготовка до нового опалювального сезону.

Ключові слова: каскадні котельні; системи життєзабезпечення; енергетична криза; автономність; енергоефективність

CASCADE BOILER PLANTS AS A LIFE SUPPORT SYSTEM FOR BUILDINGS AND STRUCTURES

PAPIRNYK R.B.^{1*}, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,

DIKAREV K.B.², Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,

KATAEV A.S.³, Postgrad. Stud.,

KOVAL V.V.⁴, Master

^{1*} Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

² Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (056) 756-33-51, e-mail: dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

³ Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (056) 756-33-51, e-mail: kataev2712@ukr.net, ORCID ID: 0009-0000-6303-1216

⁴ Department of Public Administration, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov Str., Dnipro, 49009, Ukraine, tel. +38 (056) 371-08-21, e-mail: valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

Abstract. Problem statement. Destruction and damage to the energy infrastructure as a result of military operations lead to the shutdown of life support systems, which affects the lives of the population and the economy. The study of heating systems in modern realities is gaining great relevance and requires scientific substantiation, new strategic solutions, as well as organizational, economic and technological developments to overcome new challenges. The study points to the need to find energy-efficient and easily renewable alternative heating systems. **Purpose of the study.** The research objective is to identify alternative, individual building life support systems that are more energy-efficient, modern, and quickly recoverable. This includes systems that can be restored and used independently of other power sources. **Methods.** Analytical studies of the heat supply system load, technological study of the heat supply system of buildings and structures, analysis and synthesis of available data, comparison of the efficiency of cascade boiler houses with other heating systems. **Research results.** Cascade boiler systems have demonstrated significant potential for fuel savings, reduced emissions, and optimized operational costs. These systems have proven to be versatile, finding applications in various sectors, from residential buildings to large industrial complexes. Notably, cascade boiler systems have shown to be highly resilient in the face of modern challenges, such as natural disasters, economic crises, and conflicts, ensuring a reliable and efficient heat supply. **Scientific novelty.** The study explores the implementation of cascade boiler systems as an alternative heating solution for buildings in Ukrainian cities affected by the conflict, highlighting their advantages and potential to address challenges associated with the destruction of traditional energy infrastructure. **Practical significance.** The search for innovative heating solutions for buildings is highly relevant, especially as we approach the completion of construction projects and prepare for the upcoming heating season.

Keywords: *cascade boilers; life support systems; energy crisis; autonomy; energy efficiency*

Постановка проблеми. Вивчення систем опалення в сучасних реаліях набуває великої актуальності та вимагає наукового обґрунтування, нових стратегічних рішень, а також організаційних, економічних та технологічних розробок для подолання нових викликів. Недавнє завершення опалювального сезону, як приклад у м. Харків, було передчасним через нестачу електроенергії, спричинену російськими атаками на критичну інфраструктуру, що підкреслює актуальність пошуку інноваційних рішень.

Тривала війна в Україні значно вплинула на енергетичний сектор країни, створюючи серйозні виклики для інфраструктури та її стабільності. Енергетична інфраструктура, зокрема, електростанції, підстанції та опалювальні системи, була предметом обстрілів та руйнувань, що спричинити перебої у наданні важливих послуг та загрози життю населення.

Паливно-енергетична сфера в Україні зазнала серйозних змін через війну. Одна з найважливіших проблем – руйнування та пошкодження енергетичної інфраструктури внаслідок воєнних дій. Енергетичні об'єкти, такі як електростанції, підстанції та опалювальні системи, стали мішенями для обстрілів, що спричинило відключення систем життєзабезпечення будівель та загрозу для життя населення.

Знищення або пошкодження об'єктів критичної інфраструктури, які становлять основу енергетичної системи країни, стають причиною зменшення доступності паливних ресурсів та нестабільності в теплових та енергетичних мережах. Крім того, виникає проблема дефіциту комплектуючих для ремонту та обслуговування обладнання.

Розуміння викликів, з якими стикається енергетичний сектор у воєнний час, та розроблення стійких рішень особливо важливі для забезпечення добробуту населення та сталості інфраструктури. Це

дослідження спрямоване на розроблення стратегій енергетичної безпеки та ефективного управління інфраструктурою в умовах конфлікту.

У статті розглянуто впровадження каскадних котелень як альтернативного рішення для опалювання будинків у містах України, які постраждали від конфлікту, виокремивши їх переваги та потенціал для вирішення викликів, пов'язаних із руйнуванням традиційної енергетичної інфраструктури.

Мета дослідження – пошук альтернативних, індивідуальних систем життєзабезпечення будівель, які будуть більш енергоефективними, сучасними та швидко відновлюваними. Це включає системи, які можна відновити та

використовувати незалежно від інших джерел живлення.

Результати досліджень. Каскадні котельні – це системи опалення, які складаються з кількох котлів, що працюють разом як один функціональний блок. У такій системі кожен котел працює незалежно від інших, але спільно виробляє тепло для опалення будівлі. Ці котельні можуть використовуватися як для обігріву приватних будинків, так і для масштабних промислових та комерційних об'єктів [1].

Каскадні котельні (рис.) відмінно підходять для обігріву приватних будинків та малоповерхових житлових комплексів. Вони можуть бути легко адаптовані до потреб будинків різного розміру та конфігурації, забезпечуючи ефективне та комфортне опалення.



Рис. Каскадні котельні [5]

Для багатоквартирних будинків каскадні котельні стають оптимальним вибором, оскільки вони дозволяють забезпечити тепlopостачання для кількох будинків одночасно. Це знижує витрати на енергію та підвищує стійкість системи. У великих промислових та комерційних об'єктах, таких як заводи, складські приміщення та торгові центри, каскадні котельні забезпечують надійне та ефективне опалення великих просторів. У транспортних вузлах, таких як термінали та аеропорти, де важливо підтримувати комфортну температуру для пасажирів та зберігати відправлені товари, каскадні котельні можуть забезпечити стабільне та ефективне опалення.

У промислових комплексах та тепличних господарствах, де потрібно підтримувати певну температуру для вирощування рослин або виробництва

продуктів, такі котельні забезпечують надійне та ефективне опалення.

Основні переваги використання каскадних котелень:

- Енергоефективність: забезпечують ефективне використання палива та знижують витрати на опалення.
- Стійкість: незалежність кожного котла забезпечує надійність та стійкість системи в цілому.
- Модульність: легко адаптуються до змінного обсягу тепlopостачання.
- Екологічність: можуть працювати з альтернативними джерелами енергії, зменшуючи викиди CO₂ та інших шкідливих речовин [2].

Каскадні котельні – це відмінний вибір для забезпечення надійного, ефективного та екологічно чистого опалення в будь-яких умовах та типах об'єктів [2]. Цей вид з'єднання теплогенераторів поділяється на три типи, виходячи з методу роботи їх

пальників. Типи послідовного підключення котлів бувають такими:

- простий каскад – до його складу входять теплогенератори, що мають одноступінчасті або двоступінчасті пальники. Така система здатна збільшити потужність кожного нагрівача;

- змішаний каскад – включає різні теплогенератори, один з яких відрізняється пальником, що модулюється. При цьому саме на такий нагрівач встановлюється система управління температурою котлової води;

- модульовальний каскад – до його складу входять тільки теплогенератори з пальниками, що модулюються. Позитивна відмінність цього типу з'єднання від двох попередніх полягає в тому, що в ньому регулювання подачі палива відбувається плавно, а також є можливість змінювати продуктивність тепла в широкому діапазоні.

Неважко помітити, що головна відмінність трьох типів каскадного підключення котлів полягає в тому, якими пальниками вони обладнані. Адже саме пальники дуже впливають на функціонування системи опалення. Так, схема простого каскаду дозволяє регулювати виробництво тепла виключно покроково. Тому найоптимальнішим типом послідовного з'єднання котлів вважається каскад, що модулюється, навіть з урахуванням того, що застосування більше ніж двох ступенів зменшує продуктивність кожного нагрівача окремо.

Вся справа в тому, що агрегати з пальниками, які модулюються, дають можливість безступінчасто змінювати потужність системи, виходячи з потреб у тепловій енергії. Такий принцип роботи дозволяє знижувати витрату палива, а отже, і економити на опаленні [3].

Згідно з наведеною вище інформацією, саме каскад, що модулюється, можна назвати найефективнішим з усіх трьох типів таких з'єднань. Однак його реалізація залежить від трьох умов, виконання яких має бути передбачене на етапі проектних робіт. Підведення магістралей та контролерів має бути реалізоване з урахуванням потреби у незалежному

регулюванні циркуляції потоку через кожен із теплогенераторів. Якщо вода проходить через вимкнений нагрівач, її теплова енергія почне розсіюватися через теплообмінник або кожух агрегату. Незалежність такого регулювання досягається завдяки оснащенню всіх нагрівачів індивідуальними циркуляційними насосами [4].

Подавальна та зворотна магістралі для кожного теплогенератора повинні бути підключені паралельно. Це особливо важливо для конденсаційних котлів. Така схема дає можливість підтримувати температуру води однаковою на вході в кожен нагрівач, а також перешкоджає перетіканню теплоносія між контурами. При цьому збільшується і ККД усієї системи. Циркуляційні насоси повинні забезпечувати достатній потік теплоносія через котли, що функціонують, незалежно від показників витрати опалювальної системи. Для цього використовується гідравлічний роздільник низького тиску.

Гідравлічний роздільник низького тиску або гідравлічна стрілка – це сучасний та важливий елемент каскадного підключення. Його призначення – поділ первинного та вторинного контурів (тобто контурів котлів та споживачів), зі створенням зони зниження гідравлічного опору. Завдяки цьому витрата теплоносія в цих двох контурах залежатиме тільки від продуктивності циркуляційних насосів, які не впливатимуть один на одного. Такий роздільник створює гідравлічний та температурний баланс контурів.

Гідравлічна стрілка дозволяє підтримувати постійну витрату теплоносія у первинному контурі, а у вторинному – проводити його ефективно регулювання з урахуванням теплового навантаження. Така функція стала стандартом для сучасних опалювальних мереж. Вибір гідравлічного роздільника або стрілки проводиться за каталогом, виходячи з необхідної потужності теплогенератора та максимально можливої протоки теплоносія в системі.

Установка каскаду теплогенераторів проводиться у кілька етапів, кожен із яких включає приблизно такі дії:

- підготовчі роботи у приміщенні котельні, монтаж кріплень та нагрівачів;
- монтаж газової магістралі, дренажної лінії та гідравлічних колекторів;
- монтаж гідравлічної стрілки та групи безпеки;
- підключення колектора диму;
- пусконаладжувальні та перевірочні роботи, а також налаштування всіх систем автоматики [5].

Каскадування котлів – досить складна справа, у процесі реалізації якої необхідно враховувати велику кількість різноманітних нюансів. Тому створення системи теплопостачання такого типу потрібно довіряти лише кваліфікованим спеціалістам, здатним виконати всі роботи на належному рівні. Як розроблення, так і монтаж каскадного підключення котлів повинні виконувати компанії та професіонали, які знають специфіку таких схем, а також мають відповідні ліцензії та допуски. Увага до всіх дрібниць та відповідальний підхід до реалізації послідовного під'єднання теплогенераторів допоможуть створити надійну, ефективну та безпечну опалювальну систему, яка буде також економічною.

Каскадування котлів – це одна із схем з'єднання теплогенераторів, завдяки якій збільшується одинична потужність кожного нагрівального приладу. Такий метод підключення став виправданим та ефективним за великого теплового навантаження, а також у тому випадку, якщо з метою зменшення витрат на опалення встановлюються котлоагрегати, що працюють на різних видах палива.

Суть даної схеми полягає в такому: загальне теплове навантаження розділяється між декількома незалежно контрольованими теплогенераторами, після чого в каскад включаються тільки ті з них, які забезпечують потреби у виробництві тепла в даний проміжок часу. Послідовне або каскадне підключення котлів прийнято розділяти на «сходинок», кожною з яких є окремий нагрівач, а всі сходинок разом формують загальну потужність мережі теплопостачання [6].

У більшості випадків функціонування стандартних систем опалення та гарячого водопостачання забезпечує один котел, підбір якого проводиться виходячи з вимог максимально можливого для нього навантаження. Однак реальний стан справ може сильно відрізнятись від попередніх розрахунків. Як доводить практика, в більшості випадків протягом опалювального сезону нагрівальне обладнання працює не більше ніж на 50 % своєї потужності протягом 80 % часу. Більше того, якщо розглянути весь сезон експлуатації таких приладів, середнє завантаження на них становить від 25 до 45 %.

Таким чином, один теплогенератор великої потужності витратить зайве паливо і не зможе ефективно компенсувати теплові витрати. Винні в цьому наведені вище показники нерівномірного, а часто й малого навантаження. Відповіддю на проблему може стати каскадне підключення котлів.

Регулювання такої системи теплопостачання провадиться завдяки спеціальному мікроконтролеру або інтелектуальному контролеру. Його завдання – відстеження температури теплоносія та визначення того, скільки сходинок необхідно включити в роботу для того, щоб ця температура підтримувалася на заданому рівні. Завдяки такому регулюванню каскад котлів забезпечує плавну роботу всіх складових системи опалення на потрібній потужності (у широкому її діапазоні), незалежно від пори року.

Відбувається цей процес завдяки послідовному підключенню кількох теплогенераторів одного за іншим. Каскадне регулювання у поєднанні з програмним керуванням дозволяє визначити найкраще співвідношення потужності котельні та опалювальної системи. Цей принцип роботи дозволяє економити енергоресурси без зменшення комфортної температури у приміщеннях. Такий ефект досягається завдяки тому, що каскадна котельня здатна довго функціонувати на низькій температурі теплоносія у періоди міжсезоння та під час теплих зимових місяців [7].

З наведеної вище інформації стає зрозуміло, що послідовна схема підключення з декількома нагрівачами замість одного може набагато краще забезпечити розрахункові навантаження системи теплопостачання. Тому може виникнути припущення, що чим більше сходинок у цій схемі, тим ефективніше вона почне функціонувати. Однак це не зовсім так. Вся справа в тому, що разом зі збільшенням кількості таких теплових сходинок зростатимуть і площі поверхонь, через які відбувається тепловіддача.

Простіше кажучи, зростатимуть втрати теплової енергії через обшивку котлів. У результаті це може скасувати всі переваги від підвищення ККД каскадної системи підключення котлів. Тому вважається не доцільним використовувати більше чотирьох сходинок у цій схемі [8].

Застосування каскадних котелень в будівництві та спорудах:

1. *Житлові будинки та житлові комплекси.* Каскадні котельні ідеально підходять для обігріву житлових будинків та житлових комплексів. Вони можуть бути ефективно використані для подачі тепла великій кількості квартир, забезпечуючи комфортне життя мешканців.

2. *Комерційні та офісні будівлі.* У комерційних та офісних будівлях, де велика кількість людей потребує комфортних умов, каскадні котельні дозволяють ефективно контролювати температуру та забезпечувати стабільне теплопостачання.

3. *Спортивні та рекреаційні об'єкти.* У спортивних комплексах, басейнах та інших рекреаційних об'єктах, де важливо підтримувати оптимальні умови температури, каскадні котельні дозволяють забезпечити комфорт для користувачів.

4. *Готелі та громадські заклади.* У готелях та громадських закладах, де потрібно підтримувати комфорт для великої кількості гостей, каскадні котельні забезпечують ефективне опалення та гарячу воду [9].

Для детального ознайомлення проведемо аналіз ефективності каскадних котелень порівняно з іншими системами опалення (табл. 1) на основі дослідження Н. Д. Мартиненко «Розробка та впровадження каскадних котелень в комерційному будівництві». В 2022 на сторінках 67-74. та актуалізовані на сьогоднішній день.

Таблиця 1

Аналіз ефективності каскадних котелень порівняно з іншими системами опалення [10]

Тип будівлі/ Система опалення	Середньорічні витрати на опалення (грн/рік)	Середні втрати енергії (%)	Економія по витратах (%)
Житловий будинок (2-кімнатна квартира)	Каскадна котельня	12 000	15
	Газовий одноконтурний котел	17 000	25
	Електричне опалення	22 000	40
	Твердопаливний котел	14 000	18
Офісна будівля	Каскадна котельня	40 000	20
	Газова конденсаційна система	50 000	30
	Електричне опалення	60 000	45
Спортивний комплекс	Каскадна котельня	100 000	18
	Газові теплові насоси	120 000	25
	Дистанційне опалення (від ТЕЦ)	150 000	35

Таблиця надає порівняльний аналіз середньорічних витрат на опалення для різних типів будівель та систем опалення.

1. **Житловий будинок** (2-кімнатна квартира):

- Каскадна котельня. Середньорічні витрати складають 12 000 грн, що на 30 % менше, ніж у газового одноконтурного

котла та на 45 % менше, ніж у електричного опалення. Така система економічно вигідна та забезпечує значні заощадження.

- Газовий одноконтурний котел. Має середньорічні витрати 17 000 грн, але менш ефективний, ніж каскадна котельня.

- Електричне опалення. Споживає найбільше електроенергії та має найвищі витрати, які складають 22 000 грн на рік.

2. Офісна будівля:

- Каскадна котельня. Найефективніша та економічно вигідна система опалення, з середніми витратами 40 000 грн на рік.

- Газова конденсаційна система. Має більші витрати (50 000 грн), ніж каскадна котельня, але все ж ефективніша, ніж електричне опалення.

- Електричне опалення. Найменш ефективна система із середніми витратами 60 000 грн на рік.

3. Спортивний комплекс:

- Каскадна котельня. Має найнижчі витрати серед усіх систем опалення,

складаючи 100 000 грн на рік, що на 40 % менше, ніж у газових теплових насосів.

- Газові теплові насоси. Мають середні витрати 120 000 грн на рік.

- Дистанційне опалення (від ТЕЦ). Має найвищі витрати, аж 150 000 грн на рік.

Каскадні котельні виявляються найефективнішим та економічно вигідним варіантом опалення для різних типів будівель. Вони дозволяють значно зменшити витрати на опалення та забезпечують значні економічні вигоди порівняно з іншими системами опалення. Екологічні показники систем опалення наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Екологічні показники систем опалення [11]

Тип будівлі/ Система опалення	Кількість викидів CO ₂ (т/рік)	Кількість викидів NO _x (кг/рік)	Кількість викидів SO _x (кг/рік)
Житловий будинок (2-кімнатна квартира)	Каскадна котельня	6	20
	Газовий одноконтурний котел	8	25
	Електричне опалення	12	40
	Твердопаливний котел	7	22
Офісна будівля	Каскадна котельня	18	50
	Газова конденсаційна система	22	60
	Електричне опалення	30	80
Спортивний комплекс	Каскадна котельня	50	120
	Газові теплові насоси	60	150
	Дистанційне опалення (від ТЕЦ)	75	180

Згідно з наведеними даними, каскадні котельні виявляються більш ефективними та екологічно чистими порівняно з іншими системами опалення. Вони забезпечують значну економію коштів на опалення та мають менший вплив на навколишнє середовище завдяки зниженню викидів шкідливих речовин. Таблиця 2 надає порівняльний аналіз екологічних показників різних систем опалення за кількістю викидів CO₂, NO_x та SO_x.

1. Житловий будинок (2-кімнатна квартира):

- Каскадна котельня. Має найменшу кількість викидів CO₂, NO_x та SO_x, що складає 6 т, 20 кг та 15 кг відповідно.

- Газовий одноконтурний котел. Має дещо більше викидів CO₂, NO_x та SO_x, ніж каскадна котельня.

- Електричне опалення. Найбільш забруднювальне джерело, з найбільшими кількостями викидів CO₂, NO_x та SO_x.

2. Офісна будівля:

- Каскадна котельня. Знову має найменші викиди серед усіх систем опалення, що демонструє її екологічну чистоту.

- Газова конденсаційна система. Має більше викидів порівняно з каскадною котельнею, але все ж менше, ніж електричне опалення.

- Електричне опалення. Найбільш забруднювальне джерело, аналогічно до житлового будинку.

3. Спортивний комплекс:

- Каскадна котельня. Знову демонструє найкращі екологічні показники з найменшими викидами CO₂, NO_x та SO_x.

- Газові теплові насоси. Мають більше викидів, ніж каскадні котельні, але менше, ніж дистанційне опалення.

- Дистанційне опалення (від ТЕЦ). Найбільш забруднювальний варіант, із найвищими викидами CO₂, NO_x та SO_x.

Каскадні котельні виявляються найекологічнішим варіантом опалення у всіх типах будівель, оскільки вони мають найменші викиди CO₂, NO_x та SO_x. Це робить їх привабливими як із погляду екології, так і з погляду збереження здоров'я населення. Газові котельні менш забруднювальні, ніж електричні системи, але все ж дають більше викидів порівняно з каскадними котельнями.

Інноваційні елементи каскадних котелень дозволяють забезпечувати ефективно та надійне опалення будівель та споруд, зменшуючи витрати енергоресурсів та забруднення довкілля. Каскадні котельні можуть бути успішно використані в різних типах будівель і споруд. Вони широко застосовуються в житлових комплексах, промислових підприємствах, готелях, медичних закладах, освітніх закладах та інших сферах. Їх використання дозволяє забезпечити ефективно опалення приміщень, зменшуючи витрати енергоресурсів та негативний вплив на довкілля [12].

Наприклад, у процесі будівництва великих житлових комплексів, таких як ЖК «Щасливий» у Дніпрі та ЖК «Дніпровська Брама», де потрібно опалювати багато квартир, постало питання, а чи могли б каскадні котельні забезпечити надійне опалення для всіх мешканців, зменшивши кількість викидів.

Саме тут і постало питання ефективності централізованого каскадного опалення на комплекс чи індивідуального опалення, яке розташоване у кожній квартирі. Однозначної відповіді на питання, який тип опалення більш ефективний, поки немає.

Подальша робота буде направлена на пошук та аналіз отриманих даних, урахування всіх плюсів та мінусів, перш ніж приймати рішення про подальше встановлення певного типу опалення.

Висновки.

Каскадні котельні, як інноваційна система опалення, виявляються надзвичайно ефективним та перспективним рішенням для забезпечення теплом будівель та споруд у сучасних умовах. У цій аналітичній статті розглянуто різні аспекти застосування каскадних котелень, переваги, важливість та перспективи використання. У контексті сучасних умов, таких як природні катастрофи, економічні кризи чи воєнні конфлікти, каскадні котельні виявляються незамінними, надійно забезпечуючи опалення та життєзабезпечення будівель. Їх гнучкість у використанні, здатність до автоматизації та надійність роботи дозволяють ефективно вирішувати проблеми, пов'язані з теплопостачанням.

Каскадні котельні дозволяють заощадити паливні ресурси, знизити викиди, оптимізувати витрати та забезпечити стабільне теплопостачання. Вони знаходять застосування в різних галузях, від житлових будинків до великих промислових комплексів. Окремо варто зазначити, що каскадні котельні стають особливо актуальними в умовах війни. Вони складають частину інфраструктури, яка забезпечує життєво важливі послуги для населення, навіть у найважчих умовах [15].

Загалом каскадні котельні виявляються ефективним та перспективним рішенням для забезпечення теплом будівель та споруд. Широкі можливості, надійність та ефективність роботи роблять їх важливим елементом сучасних систем життєзабезпечення. Подальші дослідження та розвиток у цій галузі обіцяють ще більше інновацій та поліпшень, які сприятимуть стабільному, ефективному та екологічно чистому опаленню у майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Щуров І. Методологія системної трансформації енергетичного сектора національної економіки в умовах енергетичного переходу. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2022. № 23. С. 90–95.
2. Павліха Н. В. та ін. Безпека сталого розвитку регіонів та територіальних громад України на засадах інклюзивного зростання: монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2022. 514 с.
3. Ігор Терехов розповів про підготовку Харкова до наступного опалювального сезону. *Офіційний сайт Харківської міської ради, міського голови, виконавчого комітету*. 2023. URL: <https://www.city.kharkiv.ua/uk/news/-55682.html> (дата звернення: 09.04.2024 року).
4. Щуров І. В. Управління енергетичною безпекою економічного середовища : парадигмальні характеристики. *Innovation and Sustainability*. 2022. № 3. С. 193–198.
5. Іваненко В. М. Ефективність використання каскадних котельні в системах опалення промислових об'єктів. *Енергетика України*. 2019. С.45–53.
6. Коваленко О. П. Дослідження можливостей застосування каскадних котельні в житлових будинках. *Журнал будівництва та архітектури*. 2019. С. 78–85.
7. Петренко С. І. Оптимізація використання палива в каскадних системах опалення приватних будинків. *Енергетика та теплотехніка*. 2020. С. 34–42.
8. Грищенко І. В. Аналіз надійності каскадних котельні в умовах міста. *Теплоенергетика та інженерія будівництва*. 2021. С. 55–63.
9. Козлов В. О. Перспективи впровадження каскадних котельні в житлові комплекси. *Журнал енергетичного менеджменту*. 2019. С. 23–31.
10. Мартиненко Н. Д. Розробка та впровадження каскадних котельні в комерційному будівництві. *Енергозбереження та енергоефективність*. 2022. С. 67–74.
11. Павленко Г. М. Економічні аспекти використання каскадних котельні в житлових будинках. *Економіка та енергетика*. 2021. С. 112–120.
12. Сидоренко В. Г. Використання каскадних котельні для підвищення енергоефективності підприємств. *Енергетичний менеджмент*. 2021. С. 87–94.
13. Поляков С. М. Аналіз впливу каскадних котельні на якість повітря в міських районах. *Екологія та природничі ресурси*. 2019. С. 102–110.

REFERENCES

1. Shchurov I. *Metodolohiia systemnoi transformatsii enerhetychnoho sektora natsionalnoi ekonomiky v umovakh enerhetychnoho perekhodu* [Methodology of systemic transformation of the energy sector of the national economy in the conditions of the energy transition]. *Ekonomichnyi visnyk NTUU "Kyivskiy politekhnichnyi instytut"* [Economic bulletin of NTUU "Kyiv Polytechnic Institute"]. 2022, vol. 23, pp. 90–95. (in Ukrainian).
2. Pavlikha N.V. and oth. *Bezpeka staloho rozvytku rehioniv ta terytorialnykh hromad Ukrainy na zasadakh inkluzyvnoho zrostantia : monohrafiia* [Security of sustainable development of region and territorial communities of Ukraine on the basis of inclusive growth : monograph]. Lutsk : Vezha-Druk Publ., 2022, 514 p. (in Ukrainian).
3. *Ihor Terekhov rozpoviv pro pidhotovku Kharkova do nastupnogo opaliuvalnogo sezonu* [Ihor Terekhov spoke about Kharkiv's preparations for the next heating season]. *Ofitsiyniy sait Kharkivskoi miskoi rady, misko hoholovy, vykonavchoho komitetu* [Official website of Kharkiv City Council, Mayor, Executive Committee]. 2023. URL: <https://www.city.kharkiv.ua/uk/news/-55682.html> (date of application : 09.04.2024). (in Ukrainian).
4. Shchurov I.V. *Upravlinnia enerhetychnoiu bezpekoiu ekonomichnogo seredovyscha : paradyhmalni kharakterystyky* [Management of energy security of the economic environment : paradigmatic characteristics]. *Innovation and Sustainability*. 2022, vol. 3, pp. 193–198. (in Ukrainian).
5. Ivanenko V.M. *Efektivnist vykorystannia kaskadnykh kotelni v systemakh opalennia promyslovykh obiektiv* [Effectiveness of using cascade boilers in heating systems of industrial facilities]. *Enerhetyka Ukrainy* [Energy of Ukraine]. 2019, pp. 45–53. (in Ukrainian).
6. Kovalenko O.P. *Doslidzhennia mozhlivosti zastosuvannia kaskadnykh kotelni v zhytlovykh budynkakh* [Research on the possibilities of using cascade boilers in residential buildings]. *Zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Construction and Architecture Magazine]. 2019, pp. 78–85. (in Ukrainian).
7. Petrenko S.I. *Optimizatsiia vykorystannia palyva v kaskadnykh systemakh opalennia pryvatnykh budynkiv* [Optimization of fuel use in cascade heating systems of private houses]. *Enerhetyka ta teplotekhnika* [Energy and Heat Engineering]. 2020, pp. 34–42. (in Ukrainian).
8. Hryshchenko I.V. *Analiz nadiinosti kaskadnykh kotelni v umovakh mista* [Reliability analysis of cascade boiler houses in city conditions]. *Teploenerhetyka ta inzheneriia budivnytstva* [Thermal Power Engineering and Construction Engineering]. 2021, pp. 55–63. (in Ukrainian).

9. Kozlov V.O. *Perspektyvy vprovadzhennia kaskadnykh kotelni v zhytlovi komplekсы* [Prospects for the implementation of cascade boilers in residential complexes]. *Zhurnal enerhetychnoho menedzhmentu* [Journal of Energy Management]. 2019, pp. 23–31. (in Ukrainian).

10. Martynenko N.D. *Rozrobka ta vprovadzhennia kaskadnykh kotelni v komertsiiomu budivnytstvi* [Development and implementation of cascade boilers in commercial construction]. *Enerhozhberezhennia ta enerhoefektyvnist* [Energy-saving and energyefficiency]. 2022, pp. 67–74. (in Ukrainian).

11. Pavlenko H.M. *Ekonomichni aspekty vykorystannia kaskadnykh kotelni v zhytlovykh budynkakh* [Economic aspects of using cascade boilers in residential buildings]. *Ekonomika ta enerhetyka* [Economy and Energy]. 2021, pp. 112–120. (in Ukrainian).

12. Sydorenko V. H. *Vykorystannia kaskadnykh kotelni dlia pidvyshchennia enerhoefektyvnosti pidpriemstv* [The use of cascading boiler houses to increase the energy efficiency of enterprises]. *Enerhetychnyi menedzhment* [Energymanagement]. 2021, pp. 87–94. (in Ukrainian).

13. Poliakov S.M. *Analiz vplyvu kaskadnykh kotelen na yakist povitria v miskykhraionakh* [Analysis of the influence of cascade boilers on air quality in urban areas]. *Ekolohiia ta pryrodnychi resursy* [Ecology and Natural Resources]. 2019, pp.102–110. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції : 13.09.2024.

УДК 69:658.589

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.124.1101

УПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОНАННЯ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ В ОСОБЛИВИХ УМОВАХ

ПАПІРНИК Р. Б.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

ДІКАРЕВ К. Б.², канд. техн. наук, доц.,

СЕЛЕЦЬКИЙ В. В.³, асп.,

КОВАЛЬ В. В.⁴, маг.

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

² Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: fcnfenix24@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5657-444X

⁴ Кафедра публічного управління та адміністрування, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49009, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 371-08-21, e-mail: valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

Анотація. *Постановка проблеми.* Україна, перебуваючи у воєнному стані з 24 лютого 2022 року, стикається зі складними викликами та загрозами, що впливають на різні сфери життя, включаючи будівельну галузь. Постійні обстріли та повітряні тривоги створюють небезпечні умови для працівників на будівництві та підвищують ризики для їхнього життя та здоров'я. Виконання будівельно-монтажних робіт в умовах війни вимагає розроблення спеціальних стратегій та технологій, які забезпечать максимальний рівень безпеки працівників та продовжать будівельні проекти у таких важких умовах. **Мета дослідження** – забезпечення безпеки працівників на будівництві під час виконання будівельно-монтажних робіт (БМР) в Україні. Створення умов для безпечної роботи на будівельних майданчиках навіть в умовах воєнного стану. **Методика.** Аналітичні дослідження рівня безпеки на будівельних майданчиках в умовах воєнного стану, аналіз та синтез наявних даних, порівняння рівня будівельно-монтажних робіт в Україні, системно-правове дослідження законодавства в сфері охорони праці. **Результати.** Небезпека повітряних тривог та ракетних загроз настільки серйозна, що змушує підприємства шукати ефективні способи захисту для своїх працівників. Важливою перспективою частини будівель, на безпечні укриття. Це дозволить зберегти час та зусилля, які зазвичай витрачаються на евакуацію працівників, а також зменшить ризики для життя та здоров'я працівників. Створення безпечних умов праці на будівельних майданчиках вимагає комплексного підходу та впровадження інноваційних технологій. Мобільні укриття, переобладнання існуючих структур, а також упровадження планів надзвичайних ситуацій –