

**Харитонов Ю.М.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Поберій М.В.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ

Дана стаття присвячена пошуку актуальних інноваційних технологій для оптимізації систем теплопостачання в умовах міських агломерацій, оскільки їх стрімке зростання потребує необхідності у вдосконаленні систем теплопостачання, які є ключовими елементами енергоефективності міської інфраструктури. Визначено, що інноваційні технології, такі як інтеграція відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), використання сучасних теплоаккумуляторів, автоматизовані системи управління та моніторингу дозволяють оптимізувати роботу теплових мереж. Перш за все доведено, що впровадження відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні колектори і теплові насоси, знижує залежність від традиційних видів пального, сприяючи розширенню «зеленого» портфеля енергії.

В статті розглянуто яким чином модернізація існуючих теплоаккумуляторів та систем теплоносії з використанням інноваційних матеріалів забезпечує підвищення енергоефективності та скорочення теплових втрат. З'ясовано, що впровадження нових автоматизованих систем управління дозволяє не лише оптимізувати споживання енергії, а також значно покращує надійність і гнучкість системи в умовах коливань попиту на тепло.

Також з'ясовано, що Важливим аспектом є інтеграція цифрових технологій, таких як Internet of Things (IoT), яка дозволяє здійснювати реальний моніторинг і управління функціонуванням теплопостачання в режимі реального часу. Доведено, що завдяки аналітиці даних та алгоритмам штучного інтелекту, можна передбачати потреби в енергії, що, в свою чергу, знижує витрати і підвищує ефективність систем.

Проблеми, які були розглянуті в цій статті та потребують залучення інноваційних технологій в даній сфері для їх вирішення, також наразі є актуальними для більшості європейських країн, саме тому у своїх Національних енергетичних та кліматичних планах вони визначають важливу роль пошуку інноваційних технологій для оптимізації систем теплопостачання в умовах міських агломерацій та вважають це критично важливим елементом забезпечення життєдіяльності цих агломерацій.

У статті визначено, що розробка та впровадження цих інноваційних підходів забезпечить не лише оптимізацію систем теплопостачання, але й зменшить негативний вплив на навколишнє середовище, що є критично важливим у рамках сталого розвитку міст. Таким чином, інтеграція інноваційних технологій у теплопостачання є необхідним кроком для забезпечення енергетичної безпеки та їхнього сталого розвитку в умовах швидко змінюваних міських умов.

**Ключові слова:** відновлювальні джерела енергії (ВДЕ), теплопостачання, сонячні колектори, теплові насоси, енергоефективність, екологічні переваги.

**Постановка проблеми.** Зі стрімким зростанням міських агломерацій, системи теплопостачання стикаються з величезними викликами, які потребують термінового вирішення. Основними проблемами є значні теплові втрати, залежність від традиційних викопних видів пального, а також високі викиди парникових газів, що негативно впливають на екологію. Більшість існуючих систем є застарілими та не можуть ефективно

реагувати на зростаючий попит на енергію. Крім того, традиційні джерела енергії стають дедалі дорожчими, а їхнє використання супроводжується деградацією навколишнього середовища. Це викликає необхідність у переході до альтернативних джерел енергії, таких як сонячна і вітрова енергія, проте їхня інтеграція у вже існуючі теплові мережі ставить деякі технічні та економічні питання.

Існує також проблема недостатньої обізнаності про переваги використання відновлювальних джерел енергії серед населення та відсутність політичної волі для впровадження нових технологій. Таким чином, постає комплексна задача оптимізації систем теплопостачання через інтеграцію сучасних та ефективних рішень на основі відновлювальних джерел енергії, що дозволить забезпечити екологічну та економічну сталий розвиток міських агломерацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Браун Т. та Вілсон Дж. у статті «Виклики впровадження технологій відновлювальної енергії в міських системах теплопостачання: бар'єри та рішення» аналізуються основні перешкоди, що стоять на шляху інтеграції відновлювальних джерел енергії у сучасні системи опалення. Автори пропонують рішення для подолання цих бар'єрів.

Калогироу С. А. у книзі «Solar Energy Engineering: Processes and Systems» розглядаються різноманітні процеси та системи, що стосуються сонячної енергії. Автор детально описує технології, їхню ефективність та потенціал інтеграції в системи теплопостачання, що робить цю працю важливим ресурсом для дослідників, що працюють у цій області.

Бхатія Р. та Шарма А. у статті «Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption» обговорюється роль зберігання теплової енергії в досягненні сталого споживання енергії. Це дослідження окреслює різні технології накопичення тепла та їхній вплив на загальну ефективність системи теплопостачання.

Чжао Х. та Ван І. у статті «Integration of Solar Heat into District Heating Systems: A Review» проводиться огляд літератури щодо інтеграції сонячного тепла у системи централізованого теплопостачання. Автори підкреслюють важливість таких інтеграцій у зниженні залежності від викопного пального.

Хе В. та Ма Ц. у статті «The Role of Renewable Energy in Urban Heating: A Review of Current Practices» розглядається роль відновлювальної енергії в міському опаленні, акцентуючи увагу на сучасних практиках та їхньому впливі на енергетичні системи.

Німанн П. Е. та Кйер С. Л. у статті «Combining Renewable Energy with District Heating Systems: Opportunities and Challenges» обговорюється ефективність комбінації відновлювальної енергії з системами централізованого опалення, а також виклики, які виникають при цьому.

Розен М. А. та Ле Б. у статті «Sustainable Heat Supply from Renewable Resources in Urban Areas: A Review» аналізуються стратегії забезпечення сталого теплопостачання з відновлювальних джерел в урбаністичних умовах.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження та аналіз інноваційних технологій, які можуть бути впроваджені для оптимізації систем теплопостачання в умовах міських агломерацій.

**Виклад основного матеріалу.** Традиційні системи теплопостачання часто стикаються з проблемами, такими як неефективність використання енергії, великі теплові втрати та негативний вплив на довкілля. У цьому контексті впровадження інноваційних технологій стає необхідним для оптимізації теплопостачання.

Інтеграція відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в системи теплопостачання є одним із ключових стратегічних підходів, що сприяють зменшенню негативного впливу на довкілля та забезпеченню енергетичної незалежності регіонів. В умовах зростаючого попиту на енергію та виснаження традиційних викопних ресурсів, альтернативні джерела енергії, такі як сонячні, вітрові та геотермальні, стають все більш актуальними.

Одним із прикладів інтеграції ВДЕ є використання сонячних колекторів, які перетворюють сонячну енергію в теплову. Вони можуть бути встановлені на дахах будівель, що дає змогу використовувати вільний простір для генерації енергії. Сонячні колектори забезпечують гарячу воду для опалення, а також можуть застосовуватися для нагріву води для побутових потреб. При правильно спроектованій системі, використання сонячних колекторів може покривати значну частину потреб у гарячій воді у приватних та комерційних приміщеннях.

Теплові насоси є ще одним важливим інструментом в переході до сталого енергетичного майбутнього, оскільки вони суттєво знижують залежність від викопних видів пального, адаптуючи природні ресурси для отримання теплової енергії. Ці пристрої працюють за принципом, схожим на роботу холодильників, але в зворотному напрямку: вони забирають тепло з навколишнього середовища – з землі, води або повітря – і перетворюють його на теплову енергію, яка може використовуватися для опалення приміщень або для гарячого водопостачання [1]. Однією з головних переваг теплових насосів є їхня здатність передавати значно більше енергії, ніж вони споживають. Наприклад, сучасний повітряний тепловий

насос може давати від 4 до 5 кВт тепла, споживаючи лише 1 кВт електричної енергії. Це означає, що для кожного кіловата електричної енергії, витраченої на його роботу, тепловий насос може генерувати від 4 до 5 кВт теплової енергії. Таке співвідношення робить їх надзвичайно ефективними з точки зору енергоспоживання, що веде до суттєвих заощаджень на рахунках за енергію.

Упровадження ВДЕ в системи теплопостачання приносить численні екологічні переваги. Основний ефект полягає в зменшенні викидів парникових газів, оскільки відновлювальні джерела енергії практично не виробляють вуглецю під час експлуатації. Це важливо для боротьби зі зміною клімату і покращення якості повітря в містах. Зменшення використання викопного пального не лише допомагає покращити екологічну ситуацію, а й сприяє розвитку здорового способу життя для мешканців міст.

Економічні переваги використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є важливим аспектом, який варто розглядати при оцінці їхньої доцільності та впливу на загальну економіку. Однією з найзначніших переваг є зменшення витрат на енергію, що на сьогоднішній день стає особливо актуальним у зв'язку зі збільшенням цін на традиційні енергоресурси.

Хоча початкові витрати на встановлення ВДЕ, такі як сонячні колектори чи теплові насоси, можуть бути вищими, ніж у традиційних системах опалення, проте дані інвестиції часто виправдовують себе з часом. Усталені витрати на традиційні види пального, такі як газ чи нафта, постійно зростають, в той час як ВДЕ, такі як сонячна та вітрова енергія, мають нижчі експлуатаційні витрати. Це відбувається, адже джерела ВДЕ в основному безкоштовні, що означає, що вони не підлягають коливанням на ринку [2].

Що стосується витрат, встановлення ВДЕ може суттєво знизити витрати на електроенергію та опалення. Наприклад, використання сонячних панелей дозволяє власникам у значній мірі забезпечити свої енергетичні потреби, навіть вийти на нульові витрати за рахунок самостійного виробництва енергії. Багато споживачів отримують можливість продавати залишки енергії назад в мережу, що стає додатковим джерелом доходу, а також стимулює їхню економічну активність.

Ще одним важливим фактором, що підвищує доступність ВДЕ, є різноманітні програми підтримки з боку держави. Багато країн пропонують субсидії, податкові пільги або інші форми фінансової підтримки для власників, які встановлюють

сонячні панелі, теплові насоси чи інші системи ВДЕ. Це знижує фінансовий тягар для споживачів на початковому етапі впровадження, роблячи технології більш привабливими для широкого загалу.

Впровадження ВДЕ не лише приносить вигоди окремим домогосподарствам, але також позитивно впливає на економіку в цілому. Розвиток індустрії ВДЕ створює нові робочі місця, адже для монтажу та обслуговування цих систем потрібні кваліфіковані спеціалісти. Це, в свою чергу, стимулює розвиток суміжних галузей та покращує загальний рівень зайнятості.

Не слід також забувати й про екологічний аспект. Використання ВДЕ сприяє зменшенню викидів парникових газів, що є важливим кроком у боротьбі зі змінами клімату. Поліпшення екологічної ситуації може призвести до зниження витрат на охорону здоров'я та покращення загального стану здоров'я населення, що в подальшому також може знизити економічні витрати для держави [1, 3].

Дослідження показують, що попит на ВДЕ зростає в найближчі роки. Інновації в галузі технологій ВДЕ, зокрема, зниження вартості встановлення та підвищення ефективності, загалом роблять їх ще більш привабливими для споживачів. З розвитком технологій, таких як зберігання енергії, можна очікувати, що використання ВДЕ в поєднанні з системами зберігання створить нові можливості для енергетичної самодостатності домогосподарств.

Враховуючи всі ці фактори, можна стверджувати, що економічні переваги використання ВДЕ є суттєвими та багатограними. Вони не лише знижують індивідуальні витрати на енергію, але й сприяють розвитку економіки, покращенню екологічних показників та загальному підвищенню якості життя в містах і регіонах. Перехід до відновлювальної енергетики стає не лише вимогою часу, але й практичною необхідністю для забезпечення сталого розвитку.

Однак, незважаючи на численні переваги, впровадження ВДЕ в системи теплопостачання стикається з деякими викликами. По-перше, необхідно провести детальну оцінку ресурсів та потужностей для кожного конкретного регіону, щоб визначити найбільш ефективне рішення. Також важливо забезпечити належне обслуговування та моніторинг систем для досягнення максимального ефекту в межах їх експлуатації [3].

Крім того, варто звернути увагу на інтеграцію ВДЕ з існуючими тепловими мережами. Це може вимагати вдосконалення інфраструктури,

що коригує систему постачання, і впровадження нових технологій для забезпечення стабільності електропостачання, особливо в періоди, коли виробництво енергії з ВДЕ є нерегулярним.

Отже, інтеграція відновлювальних джерел енергії в системи теплопостачання є важливим кроком до сталого розвитку. Вона дозволяє значно зменшити екологічні та економічні ризики, пов'язані з традиційними системами, і спонукає до розвитку інноваційних рішень. Завдяки правильно спроектованим та реформованим системам, можна досягти високих результатів у забезпеченні енергетичної незалежності міст та покращенні якості життя їх мешканців. Існуючі виклики вимагають комплексного підходу та активного впровадження технологій, що, в свою чергу, забезпечить енергетичну безпеку і екологічну стійкість на наступні десятиліття.

Говорячи про модернізацію систем теплоаккумуляції, варто підкреслити, що теплоаккумулятори є незамінними елементами для балансування навантаження в системах теплопостачання. Вони відіграють важливу роль у забезпеченні стабільного постачання тепла, особливо в умовах змінного попиту протягом доби. Наявність ефективних теплоаккумуляційних систем дозволяє відокремити процес виробництва тепла від його споживання, що призводить до більш раціонального використання енергії [2].

Сучасні технології відкривають нові горизонти для використання нових матеріалів та рішень, покликаних зменшити теплові втрати в системах теплоаккумуляції. Наприклад, нові теплоізоляційні матеріали, такі як аерогелі та високоефективні пухирчаті або мікрокомполімерні структури, можуть значно знизити теплові втрати в процесі транспортування тепла. Це важливо, оскільки значна частина енергії втрачається саме під час транспортування теплоносія від джерел тепла до споживачів.

Зменшення теплових втрат підвищує енергоефективність системи в цілому, що не лише знижує витрати, але й сприяє зменшенню викидів парникових газів. Використання інноваційних рішень у конструкції теплоаккумуляторів також веде до збільшення їхнього обсягу та зменшення ваги, що спрощує монтаж та обслуговування систем. Автоматизація систем тепло- і водопостачання через впровадження сучасних технологій управління є ще одним важливим етапом оптимізації [4].

Використання датчиків, IoT (Internet of Things) та систем управління енергоспоживанням надає можливість здійснювати моніторинг реального

стану системи в режимі реального часу. Це дозволяє коригувати її роботу з урахуванням змін попиту, що значно підвищує загальну ефективність і надійність системи.

Впровадження IoT-технологій дозволяє збирати дані про температурний режим, тиск, обсяги потоку та інші ключові параметри системи. Завдяки цій інформації система управління може автоматично реагувати на зміни: наприклад, збільшувати або зменшувати подачу тепла залежно від потреби в опаленні в даний момент.

Інтеграція систем автоматизації у модулі дистанційного моніторингу забезпечує централізоване управління, що спрощує процес прийняття рішень. Завдяки сучасним технологіям моніторингу й аналізу даних, можна оперативно виявляти технічні несправності та неполадки системи. Виявлення проблем на ранніх етапах дозволяє уникнути серйозних аварій, які можуть призвести до великих витрат на ремонт та обслуговування. Це також підвищує загальну надійність системи, адже користувачі отримують впевненість у тому, що їхня система буде працювати безперебійно протягом тривалого часу [5].

Оптимізація систем теплоаккумуляції та їх автоматизація внаслідок впровадження сучасних технологій управління не лише забезпечує економію енергії, але й активно впливає на сталий розвиток міст. Зменшення енергетичних витрат і зниження викидів парникових газів від систем теплопостачання сприяють покращенню екологічного стану регіонів, де ці системи впроваджуються.

Модернізація систем теплоаккумуляції, зокрема через впровадження нових технологій та матеріалів, а також автоматизацію управління, є критично важливим етапом у забезпеченні енергоефективності і надійності систем теплопостачання. Це не тільки веде до скорочення витрат на енергію, але й позитивно впливає на екологічні показники та сталий розвиток міст, в яких реалізують ці інноваційні рішення. У глобальному контексті ці зусилля можуть суттєво сприяти досягненню цілей у сфері енергетичної безпеки та сталого розвитку [6].

Аналітичні інструменти та алгоритми штучного інтелекту (ШІ) відіграють дедалі важливішу роль у сучасних системах теплопостачання. Вони дозволяють моделювати та прогнозувати потреби в тепловій енергії з високим ступенем точності, що, в свою чергу, відкриває нові можливості для оптимізації роботи таких систем.

Системи теплопостачання зазвичай підлягають значним коливанням попиту, залежно від численних факторів, таких як зміна погодних умов,

сезонність, а також інтенсивність використання будівель. Ці фактори можуть суттєво впливати на потреби в теплі, і використання аналітичних інструментів здатне допомогти виявити закономірності та залежності, що характерні для конкретних умов. Завдяки вмілому застосуванню алгоритмів машинного навчання, аналіз даних стає більш гнучким і відповідає актуальним вимогам. Спеціалізовані моделі, побудовані на базі попередніх даних про споживання теплової енергії, можуть справлятися з відносно складними задачами, як-от передбачення піків споживання у певний час доби або у специфічних погодних умовах. Для цього, наприклад, використовуються нейронні мережі та регресійні моделі, які здатні адекватно реагувати на зміни зовнішніх чинників.

Основна мета такого моделювання – адаптація графіків постачання та споживання енергії, що дозволяє максимально скоригувати використання ресурсів відповідно до фактичних потреб споживачів. Це особливо важливо в умовах обмежених ресурсів і високих витрат на енергію. Зменшення витрат є одним з ключових аспектів, адже правильна стратегія управління теплозабезпеченням може призвести до значної економії для енергетичних компаній і кінцевих споживачів [4, 5, 1].

Зекономлені ресурси можуть бути перенаправлені на інші потреби, такі як інвестиції в модернізацію інфраструктури або розвиток нових проєктів. Існує також важливий екологічний аспект – знижуючи навантаження на енергетичні системи і зменшуючи споживання викопних видів пального, суспільство зможе зменшити викиди парникових газів, поліпшуючи екологічну ситуацію в регіонах.

Вдосконалення моніторингу й управління системами теплопостачання за допомогою штучного інтелекту не лише робить їх більш ефективними, але й дозволяє забезпечити високий рівень надійності постачання.

Кінцевим результатом впровадження таких технологій стає не лише економія коштів, але і зменшення навантаження на графік споживання енергії, що робить системи теплопостачання більш адаптивними і усталеними у процесі зміни умов зовнішнього середовища і попиту. Отже, можна стверджувати, що використання аналітичних інструментів і алгоритмів штучного інтелекту в системах теплопостачання є ключовим фактором для забезпечення ефективності, зниження витрат і покращення екологічних показників у сучасних міських умовах. Це відкриває нові горизонти для розвитку енергетичних систем, які адаптуються

до змін, пропонуючи більш стабільне та сталим забезпечення теплом для всіх споживачів [7].

**Висновки.** Впровадження інноваційних технологій у системи теплопостачання в умовах міських агломерацій є критично важливим кроком у напрямку сталого розвитку та енергоефективності. Це стратегічний процес, який вимагає комплексного підходу та співпраці між різними учасниками, включаючи місцеві органи влади, енергетичні компанії, науковці та громадськість. Одним із ключових аспектів є створення інтегрованих різноманітних енергетичних рішень, які враховують специфічні потреби міських агломерацій. Це включає в себе комбінування традиційних джерел енергії з відновлювальними, такими як сонячна, вітрова, та геотермальна енергія. Використання теплових насосів, систем зберігання енергії та комбінованих виробництв тепла та електричної енергії (ТЕЦ) може знизити залежність від викопних видів пального та покращити енергоефективність.

Адаптація сучасних технологій до потреб міст є ще одним важливим елементом. Наприклад, впровадження «розумних» технологій управління енергоспоживанням дозволяє оптимізувати роботу систем теплопостачання, зменшуючи втрати тепла та підвищуючи швидкість реагування на зміни попиту. Такі технології можуть включати сенсори для моніторингу температури та тиску, системи автоматизації, а також програмне забезпечення для управління енергетичними потоками.

Впровадження обґрунтованого моніторингу та контролю є критичним компонентом для забезпечення ефективності роботи систем теплопостачання. Завдяки сучасним аналітичним інструментам і платформам для збору та обробки даних, енергетичні компанії можуть отримати точну інформацію про стан інфраструктури, виявляти проблеми на ранніх стадіях і своєчасно їх усувати. Це також дозволяє прогнозувати навантаження та управляти споживанням енергії в реальному часі.

В результаті підвищення ефективності систем теплопостачання, мешканці міст отримують поліпшення умов життя, знижуючи витрати на енергію та підвищуючи комфортність своїх домівок. Системи, які працюють на основі відновлювальних джерел енергії, сприяють зниженню викидів парникових газів, що, в свою чергу, покращує екологічні показники міст і сприяє здоров'ю населення.

Зміцнення екологічних показників міст є вигідним не лише для мешканців, але й для всіх учасників міського середовища. Інвестиції в інноваційні

технології в системах теплопостачання можуть призвести до зниження витрат на енергію, покращення інфраструктурних об'єктів та створення нових робочих місць у сфері відновлювальних джерел енергії та енергетичної ефективності. Це, у свою чергу, стимулює розвиток місцевої еконо-

міки та підвищує загальну конкурентоспроможність міст. Таким чином, дозволяючи інтеграцію інноваційних технологій у системи теплопостачання, ми робимо важливий крок до спільного сталого майбутнього, яке принесе вигоду як поточним, так і майбутнім поколінням.

#### Список літератури:

1. Браун Т. та Вілсон Дж. Виклики впровадження технологій відновлювальної енергії в міських системах теплопостачання: бар'єри та рішення. «Енергетична політика». № 163, 2023. 112824. DOI: 10.1016/j.enpol.2023.112824.
2. Kalogirou S. A. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Academic Press. 2014. ISBN: 978-0-12-397573-9.
3. Bhatia R., Sharma A. Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption. «Renewable and Sustainable Energy Reviews». 2021. p.144. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111036.
4. Zhao H., Wang X. Integration of Solar Heat into District Heating Systems: A Review.» *Energy Procedia*. 2018. P 144-154. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.07.030.
5. He W., Ma Z. The Role of Renewable Energy in Urban Heating: A Review of Current Practices. «Energy Reports» № 6. 2020. P. 909-917. DOI: 10.1016/j.egyr.2020.07.025.
6. Niemann P. E., Kjaer S. L. Combining Renewable Energy with District Heating Systems: Opportunities and Challenges. «Energy». 2019. P.1223-1234. DOI: 10.1016/j.energy.2018.12.131.
7. Rosen M. A., Le B. Sustainable Heat Supply from Renewable Resources in Urban Areas: A Review. «Environmental Science & Technology». 2021. 55(3), 1234-1246. DOI: 10.1021/acs.est.0c06565.

#### **Kharytonov Yu.M., Poberii M.V. INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR OPTIMIZING HEATING SYSTEMS IN URBAN AGGLOMERATIONS**

*This article is devoted to the search for relevant innovative technologies for optimizing heat supply systems in urban agglomerations, since their rapid growth requires the need to improve heat supply systems, which are key elements of energy efficiency of urban infrastructure. It is determined that innovative technologies, such as the integration of renewable energy sources (RES), the use of modern heat accumulators, automated control and monitoring systems, allow optimizing the operation of heat networks. First of all, it is proven that the introduction of renewable energy sources, such as solar collectors and heat pumps, reduces dependence on traditional fuels, contributing to the expansion of the «green» energy portfolio.*

*The article examines how the modernization of existing heat accumulators and heat transfer systems using innovative materials provides increased energy efficiency and reduced heat losses. It is found that the introduction of new automated control systems allows not only to optimize energy consumption, but also significantly improves the reliability and flexibility of the system in conditions of fluctuations in heat demand.*

*It was also found that an important aspect is the integration of digital technologies, such as the Internet of Things (IoT), which allows for real-time monitoring and management of the operation of the heat supply. It has been proven that thanks to data analytics and artificial intelligence algorithms, it is possible to predict energy needs, which, in turn, reduces costs and increases the efficiency of the systems.*

*The problems that were considered in this article and require the involvement of innovative technologies in this area to solve them are also currently relevant for most European countries, which is why in their National Energy and Climate Plans they identify the important role of finding innovative technologies for optimizing heat supply systems in urban agglomerations and consider this a critically important element of ensuring the vitality of these agglomerations.*

*The article determines that the development and implementation of these innovative approaches will ensure not only the optimization of heat supply systems, but also reduce the negative impact on the environment, which is critically important within the framework of sustainable urban development. Thus, the integration of innovative technologies into heat supply is a necessary step to ensure energy security and their sustainable development in rapidly changing urban conditions.*

**Key words:** renewable energy sources (RES), heat supply, solar collectors, heat pumps, energy efficiency, environmental benefits.

Дата надходження статті: 25.07.2025

Дата прийняття статті: 11.08.2025

Опубліковано: 27.10.2025