

Куницький М.О.

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне,
Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У КОМБІНОВАНІЙ СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ ДЛЯ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

В умовах сучасного світу, де спостерігається стрімке зростання попиту на енергоефективні технології, теплові насоси відіграють дедалі важливішу роль у системах опалення. Ці пристрої забезпечують раціональне використання енергії, що дозволяє суттєво зменшити обсяги споживання традиційних енергоносіїв. Окрім цього, використання теплових насосів сприяє значному скороченню викидів парникових газів, що є критично важливим у боротьбі зі змінами клімату.

Ключові слова: теплові насоси, міська інфраструктура, комбінована система опалення, енергоефективність, відновлювані джерела енергії, екологічна стійкість.

Вступ

Інтеграція теплових насосів у міську інфраструктуру створює широкі можливості для оптимізації енергетичних систем. Завдяки їх застосуванню міста можуть досягти більш високого рівня енергоефективності, що позитивно позначається на екологічній ситуації. Водночас, такі технології дозволяють знизити залежність від викопних енергоносіїв, сприяючи переходу до більш стійких джерел енергії.

Втім, упровадження теплових насосів супроводжується рядом технічних і економічних викликів. Для забезпечення стабільної роботи цих систем необхідна адаптація існуючої інфраструктури, яка часто не пристосована для роботи з низькотемпературними джерелами тепла. Також одним із основних бар'єрів є висока вартість впровадження цих технологій на початковому етапі, хоча з часом експлуатаційні витрати суттєво знижуються.

Ще одним важливим аспектом є адаптація теплових насосів до кліматичних умов конкретного регіону. У міських умовах, де є висока щільність населення та велике енергетичне навантаження, теплові насоси можуть стати основою для комбінованих систем опалення. Такі системи дозволяють поєднувати роботу теплових насосів із традиційними джерелами енергії, забезпечуючи гнучкість і надійність теплопостачання.

Загалом, застосування теплових насосів є перспективним напрямом розвитку енергозберігаючих технологій у міській інфраструктурі. Їх впровадження сприяє зниженню вуглецевого сліду, підвищенню енергетичної незалежності та покращенню якості життя населення. Проте для успішної реалізації таких

проектів необхідні подальші дослідження, модернізація інфраструктури та створення ефективних економічних моделей впровадження цих технологій.

Актуальність теми дослідження

Зростання вартості традиційних енергоносіїв і погіршення екологічної ситуації стимулюють розвиток альтернативних джерел енергії. Теплові насоси як технологія, що використовує низько потенційне тепло довкілля, є перспективним рішенням. У міській інфраструктурі, яка характеризується високою щільністю споживачів і різноманітністю потреб, комбіновані системи опалення з використанням теплових насосів здатні забезпечити оптимальний баланс між енергоефективністю та екологічністю.

Постановка проблеми та її опис

Однією з основних проблем сучасної міської інфраструктури є надмірне споживання енергії та значні викиди парникових газів. Традиційні системи опалення, які базуються на викопному паливі, не лише мають низький коефіцієнт корисної дії, але й спричиняють значне забруднення довкілля. Використання теплових насосів у комбінованих системах опалення може значно зменшити споживання енергії завдяки залученню відновлюваних джерел, але для цього необхідно вирішити такі завдання:

1. Оптимізація роботи теплових насосів у поєднанні з традиційними джерелами тепла.
2. Забезпечення стабільності енергопостачання в умовах змінних кліматичних умов.

3. Інтеграція теплових насосів у вже існуючі системи міської інфраструктури.

Аналіз досліджень і публікацій

У світовій літературі активно досліджуються питання підвищення ефективності теплових насосів та їх інтеграції у міські системи. Зокрема, [1] розглядає можливості використання геотермальної енергії для живлення теплових насосів, тоді як [2, 3] аналізують ефективність комбінованих систем на основі теплових насосів та сонячної енергії. У роботах [4–6] акцентується увага на економічній доцільності впровадження цих технологій у міське середовище. Проте недостатньо розкрито питання адаптації теплових насосів до умов великого міста з високими тепловими навантаженнями. В умовах зростання попиту на енергозберігаючі технології та необхідності зниження негативного впливу на довкілля, теплові насоси набувають дедалі більшого значення у системах опалення. Їх використання забезпечує ефективне споживання енергії та зменшення викидів парникових газів. Застосування теплових насосів у міській інфраструктурі відкриває нові можливості для підвищення енергоефективності, але водночас створює певні технічні виклики.

Виділені проблеми

1. Висока вартість впровадження теплових насосів у масштабах міської інфраструктури.
2. Необхідність модернізації існуючих мереж теплопостачання.
3. Обмеженість інформації про довгострокову ефективність таких систем у різних кліматичних умовах.

Мета й завдання дослідження

Метою дослідження є оцінка можливостей та розробка рекомендацій щодо використання теплових насосів у комбінованих системах опалення для міської інфраструктури. Завдання дослідження:

1. Визначити оптимальні схеми інтеграції теплових насосів у міські системи теплопостачання.
2. Провести аналіз енергетичної ефективності таких систем.
3. Розробити рекомендації щодо впровадження теплових насосів у міській інфраструктурі.

Виклад основного матеріалу

Теплові насоси працюють за принципом перенесення тепла з низькопотенційного джерела (грунт, вода, повітря) до споживача. У комбінованих системах вони можуть поєднуватися з:

- традиційними котлами;
- сонячними колекторами;
- системами акумулювання тепла.

Використання теплових насосів дозволяє скоротити споживання енергії на 40–50%. Початкові витрати на встановлення теплових насосів вищі, ніж на традиційні системи, але середній термін окупності становить 5–8 років завдяки зниженню експлуатаційних витрат. Одним із важливих аспектів є адаптація теплових насосів до існуючих систем опалення. На рис. 2 показано схему комбінованої системи з використанням теплових насосів у міському середовищі. Основні технічні виклики включають:

- потребу в модернізації трубопроводів для роботи з низькотемпературними системами;
- забезпечення надійності системи в умовах пікових навантажень.

Виконати обрахунок продуктивності роботи теплового насоса проводиться згідно наступних формул:

Коефіцієнт продуктивності (COP):

$$COP = \frac{Q_{\text{тепло}}}{W_{\text{електроенергія}}} \quad (1.1)$$

$Q_{\text{тепло}}$: тепловий потік, який отримує система (Вт).

Велектроенергія: витрати електроенергії на роботу насоса (Вт).

Тепловий баланс системи:

$$Q_{\text{тепло}} = Q_{\text{вилучене}} + W_{\text{електроенергія}} \quad (1.2)$$

Енергія, вилучена з джерела тепла:

$$Q_{\text{вилучене}} = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1.3)$$

m - маса теплоносія (кг).

c - теплоємність середовища (Дж/кг·°C).

ΔT : різниця температур (°C).

Різниця температур для COP:

$$COP \approx \frac{T_{\text{гаряча}}}{T_{\text{гаряча}} - T_{\text{холодна}}} \quad (1.4)$$

$T_{\text{гаряча}}$: температура нагріву (в Кельвінах).

$T_{\text{холодна}}$: температура джерела тепла (в Кельвінах).

Серед особливостей використання теплових насосів запропоновано варіанти експлуатації з існуючою системою опалення та підігріву води:

- **гібридна система (тепловий насос + котел)**: Розподіл навантаження у міжсезоння (осінь, весна) тепловий насос забезпечує основне опалення та гаряче водопостачання. Взимку, коли температури значно знижуються, котел доповнює роботу теплового насоса. Тепловий насос працюватиме з максимальною ефективністю за помірних температур, тоді як котел вмикається лише в пікові періоди. Електроенергія, яка живить тепловий насос, дешевша за паливо для котла, що знижує витрати.

- **каскадне підключення**: Тепловий насос і котел працюють послідовно, тепловий насос підігріває воду до середньої температури (наприклад, 40–50 °C), а котел доводить її до необхідної температури (60–70 °C). Це дозволяє ефективно використовувати енергію теплового насоса для основного нагрівання, а котел використовується лише для "доведення" до потрібної температури.

- **резервна система:** Котел виступає як резервний пристрій у разі відмови теплового насоса. Такий підхід забезпечує надійність системи, особливо в умовах сильних морозів або перебоїв з електропостачанням.

- **розділення функцій:** Тепловий насос використовується для опалення приміщень, а котел – для підігріву гарячої води. Це ефективно в системах, де тепловий насос недостатньо продуктивний для обох функцій.

- **інтелектуальне керування:** Використання системи автоматизації для управління роботою теплового насоса та котла залежно від температури

зовнішнього середовища та потреб у теплі. Програмовані контролери дозволяють підвищити ефективність системи та уникнути перевитрат енергії.

- **використання буферних баків:** Буферні баки зберігають надлишкове тепло, вироблене тепловим насосом, що дозволяє забезпечити стабільне гаряче водопостачання навіть у пікові періоди.

Вибір відповідного типу теплового насоса:

Повітря-вода: Добре працює при помірних температурах, але ефективність знижується в сильні морози.

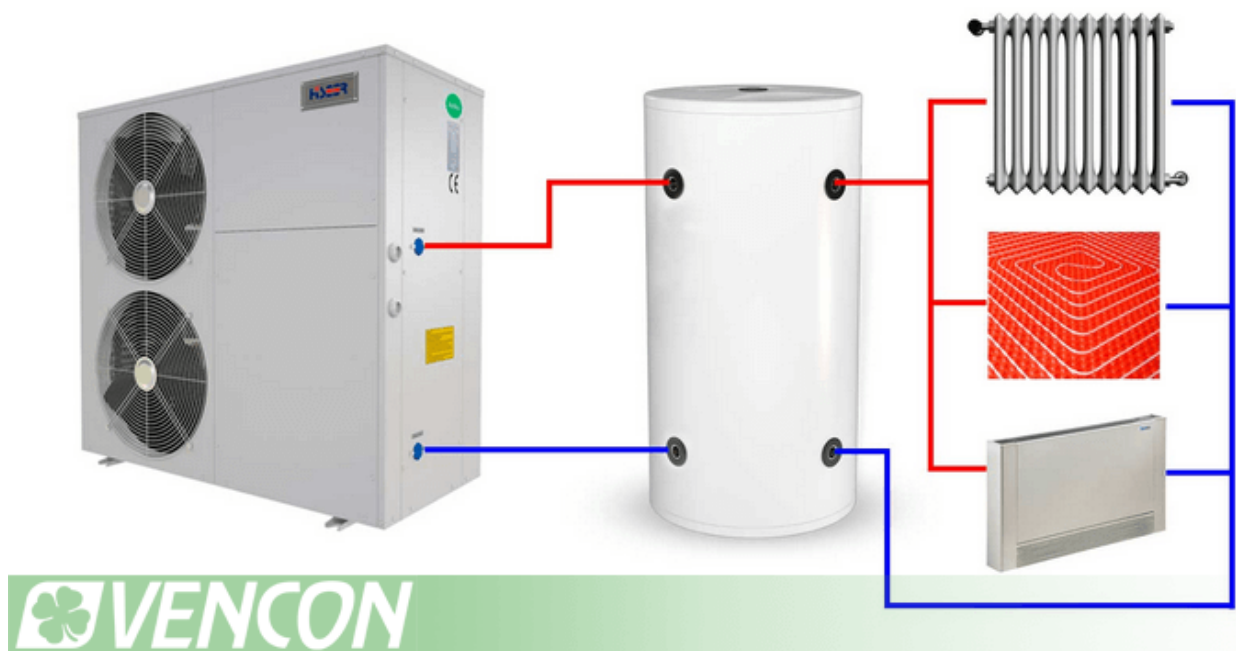


Рис. 1 Тепловий насос повітря - вода

Тепловий насос "повітря-вода" перетворює теплову енергію зовнішнього повітря в тепло для опалення або підігріву води. Працює за допомогою електроенергії, приводячи в дію компресор і теплообмінники. Більшість моделей ефективно працюють при температурах зовнішнього повітря від -25°C до $+35^{\circ}\text{C}$ (залежно від виробника). Має високий коефіцієнт перетворення (COP, Coefficient of Performance) – зазвичай 3-5 (тобто 1 кВт електроенергії виробляє 3-5 кВт теплової енергії). Використовує відновлюване джерело енергії – тепло навколишнього повітря. Весь пристрій є єдиною конструкцією, зручний у монтажі, або ж мають внутрішній і зовнішній блоки, підходять для великих будівель. Знижує витрати на опалення порівняно з традиційними газовими чи електричними котлами. Зменшує викиди CO_2 , використовуючи відновлювану енергію.

Підходить для опалення, охолодження приміщень і забезпечення гарячого водопостачання. Інвестиції у тепловий насос повертаються протягом

5-7 років завдяки економії на енергоносіях. Можливість інтеграції з існуючими системами опалення (радіатори, тепла підлога тощо).

Сфери застосування:

- приватні будинки: Основне або додаткове джерело опалення та гарячого водопостачання.

- багатоповерхові будівлі: Ефективне рішення для централізованого теплопостачання.

- комерційні об'єкти: Готелі, ресторани, офісні центри – для підтримання комфортного клімату.

- промисловість: Використання тепла для технологічних процесів або нагріву води.

- освітні та медичні заклади: Школи, лікарні та дитячі садки – для економного та екологічного опалення.

Основні локації в міській інфраструктурі для розміщення:

- дахи будівель: Зручне місце для встановлення зовнішніх блоків, особливо в багатоповерхових будинках.

- прилеглі території: Біля фасаду будівель або на технічних майданчиках.

- паркові зони: У будівлях обслуговування міської інфраструктури (санаторії, громадські заклади).

- підприємства ЖКГ: Як частина централізованих теплових пунктів для обігріву житлових масивів.

- транспортні вузли: Вокзали, аеропорти для забезпечення комфортного мікроклімату.

- громадські заклади: Басейни, спортивні комплекси – для підігріву води й підтримки комфортної температури.

Тепловий насос "повітря-вода" – це сучасне, економічне та екологічне рішення для забезпечення тепла та гарячої води в різних умовах. Він ідеально

підходить для міської інфраструктури, допомагаючи знижувати витрати та вплив на довкілля.

Грунт-вода: Забезпечує стабільну роботу навіть у зимовий період, але потребує початкових витрат на монтаж.

Тепловий насос "грунт-вода" використовує тепло, накопичене в ґрунті, для опалення будівель і нагріву води. Енергія отримується через ґрунтові зонди або горизонтальні колектори, які розміщуються в землі. Температура в ґрунті на глибині 1,5–2 м є стабільною (+5...+10 °С), що забезпечує ефективну роботу насоса протягом усього року. Високий коефіцієнт перетворення (COP) – 4-6, тобто 1 кВт електроенергії забезпечує 4-6 кВт тепла.

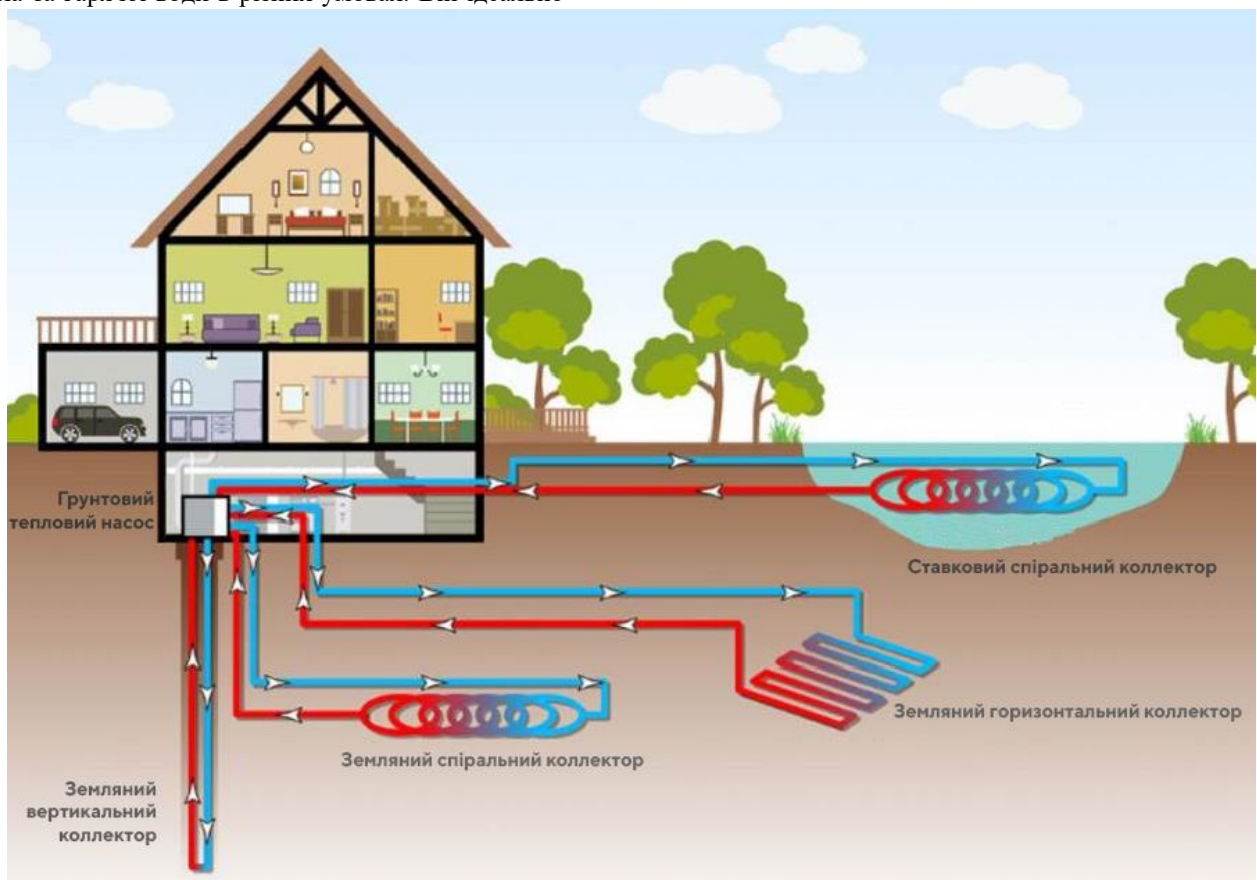


Рис.2 Тепловий насос грунт-вода

Типи систем:

- вертикальні зонди: буряться свердловини (20–150 м). Підходять для обмежених ділянок.

- горизонтальні колектори: трубопроводи закладаються на глибині 1,5–2 м. Потребують великої площі.

Система має ресурс роботи понад 25–50 років при належному обслуговуванні. Грунт забезпечує стабільну температуру, незалежно від сезонних змін, що робить тепловий насос надійним навіть у холодних кліматичних умовах. Знижує витрати на

опалення на 60–80% порівняно з традиційними системами. Використовує відновлюване джерело енергії, мінімізуючи викиди парникових газів. Підходить для опалення, охолодження (в літній період) і гарячого водопостачання. Система не залежить від зовнішніх джерел тепла, таких як газ чи тверде паливо. Хоча початкові інвестиції високі, економія енергії забезпечує окупність за 7–10 років. Все обладнання приховане під землею, що дозволяє зберегти ландшафт.

Сфери застосування:

- приватні будинки: Опалення котеджів і забезпечення гарячого водопостачання.
- багатоквартирні будинки: Централізоване опалення для кількох квартир або будинків.
- комерційні будівлі: Офісні комплекси, готелі, торгові центри.
- промислові об'єкти: Використання в технологічних процесах або обігріві приміщень.
- громадські заклади: Школи, лікарні, басейни, спортивні комплекси.
- сільське господарство: Для підігріву теплиць або сушіння продукції.

Основні локації в міській інфраструктурі для розміщення:

- зелені зони: у парках або на території з вільним доступом до землі для розміщення горизонтальних колекторів.
- прилеглі території будівель: сади, газони або технічні зони, де можна розмістити зонди чи колектори.
- місця з обмеженою площею: використання вертикальних зондів дозволяє встановлення системи навіть на невеликих ділянках.

- інженерні зони: навколо міських котелень або теплопунктів для інтеграції в централізоване тепlopостачання.

- об'єкти ЖКГ: централізоване забезпечення теплом житлових масивів.

- очисні споруди: використання тепла очищених стічних вод для додаткової енергоефективності.

Тепловий насос "грунт-вода" є ідеальним рішенням для стабільного опалення та гарячого водопостачання в міській і приватній інфраструктурі. Його енергоефективність, екологічність та універсальність роблять цю систему привабливою для використання в різних умовах.

Теплові насоси використовують різні джерела тепла: повітря, ґрунт і воду. Їхня ефективність визначається коефіцієнтом продуктивності (COP) — відношенням отриманої теплової енергії до витраченої електроенергії. Характеристики подані в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння джерел тепла

Джерело тепла	Діапазон температур (°C)	Сезонна стабільність	Коефіцієнт ефективності (COP)	Особливості
Повітря	-25...+35	Низька	2.5–4	Ефективність знижується при низьких зовнішніх температурах.
Ґрунт	+5...+10 (на глибині)	Стабільна	3.5–5	Потребує монтажу зондів або колекторів.
Вода	+7...+12 (ґрунтові води)	Висока	4–6	Необхідний доступ до водойми або ґрунтових вод.

Ефективність використання теплових насосів у літній період

У літній період теплові насоси можуть працювати у режимі охолодження. Ефективність залежить від джерела:

Повітря: висока ефективність, оскільки різниця температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям незначна. COP для охолодження: 3–4.

Ґрунт: ґрунт залишається прохолодним навіть улітку, забезпечуючи стабільне охолодження. COP для охолодження: 4–5.

Вода: водойми або ґрунтові води мають стабільно низьку температуру, що забезпечує найкраще охолодження. COP для охолодження: 5–6.

Таблиця 2

Порівняльна таблиця ефективності теплових насосів

Характеристика	Повітря-вода	Ґрунт-вода	Вода-вода
COP (опалення, зима)	2.5–4	3.5–5	4–6
COP (охолодження, літо)	3–4	4–5	5–6

Вплив зовнішніх умов	Значний	Низький	Мінімальний
Сезонна стабільність	Низька	Висока	Висока
Складність монтажу	Низька	Висока (зонди)	Висока (доступ до води)
Вартість встановлення	Низька	Середня	Висока
Екологічність	Висока	Висока	Висока

- Тепловий насос "повітря-вода" підходить для регіонів із м'яким кліматом, має низькі витрати на встановлення.

- Тепловий насос "грунт-вода" забезпечує стабільну ефективність у будь-яких умовах, але потребує великих початкових інвестицій.

- Тепловий насос "вода-вода" є найефективнішим, проте вимагає доступу до водойми

Для більшості випадків у літній період оптимально використовувати теплові насоси грунт-вода або вода-вода через стабільну ефективність і високу продуктивність. Насос повітря-вода є економічно вигідним варіантом для регіонів із помірним кліматом.

Література

1. Волинець В.А., Калінік А.В., Сторожук Р.В. (2020). Особливості застосування теплових насосів в системах тепlopостачання індивідуальних житлових будівель. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2. 106-112.
2. Мандрика В.А. (2018). Підвищення еколого-економічної ефективності комунального тепlopостачання шляхом використання теплових насосів. *Маркетинг і менеджмент інновацій*, 1, 145-153.
3. Сірко З.С., Коренда В.А., Вишняков І.Ю. (2019) Використання теплових насосів для опалення та гарячого водопостачання будівель підприємств на прикладі установок Helioterm. *Техніка і енергетика АПК*, 2, 75-81.
4. Друківаний М.Ф., Мартинюк О.І., Шевчук С.В. (2017) Переваги застосування теплових насосів в Україні. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 4. 89-94.
5. Сторожук Р.В., Калінік А.В., Волинець В.А. (2022). Доцільність використання теплових насосів в енергозабезпеченні термокаталітичних реакторів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 1. 84-89.
6. Шовкошитний Ю.Ю. (2018). Використання теплових насосів у тепlopостачанні. *Журнал теплових насосів України*. 1. 15-22.
7. Кравченко О.В. (2021) Оцінка можливості використання теплових насосів різних типів в системах тепlopостачання. *Науковий вісник будівництва*. 103. 144-150.
8. Куницький М. (2023). Геопросторовий розподіл міської інфраструктури для практичного застосування теплових насосів. *Комунальне господарство міст*, 4(178),

Висновок

Використання теплових насосів у комбінованих системах опалення для міської інфраструктури є перспективним напрямом розвитку енергоефективних технологій. Це дозволяє знизити залежність від викопного палива, скоротити викиди CO₂ та зменшити експлуатаційні витрати.

Проте впровадження цих технологій вимагає значних інвестицій, модернізації існуючих систем і врахування кліматичних особливостей. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію схем інтеграції теплових насосів і розробку економічно обґрунтованих рішень для великих міст.

113-117. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-113-117>

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

References

1. Volynets V.A., Kalinik A.V., Storozhuk R.V. (2020). Features of using heat pumps in heating systems of individual residential buildings. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 2, 106-112.
2. Mandryka V.A. (2018). Improving the ecological and economic efficiency of municipal heating by using heat pumps. *Marketing and Management of Innovations*, 1, 145-153.
3. Sirko Z.S., Korenda V.A., Vishnyakov I.Yu. (2019). The use of heat pumps for heating and hot water supply of industrial buildings based on Helioterm installations. *Engineering and Energy of the Agro-Industrial Complex*, 2, 75-81.
4. Drukovanyi M.F., Martynuk O.I., Shevchuk S.V. (2017) . Advantages of using heat pumps in Ukraine. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 4, 89-94.
5. Storozhuk R.V., Kalinik A.V., Volynets V.A. (2022). The feasibility of using heat pumps in the energy supply of thermocatalytic reactors. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 1, 84-89.

6. Shovkoshytnyi Yu.Yu. (2018). The use of heat pumps in heating supply. *Journal of Heat Pumps of Ukraine*, 1, 15-22.

7. Kravchenko O.V. (2021). Evaluation of the feasibility of using different types of heat pumps in heating systems. *Scientific Bulletin of Construction*, 103, 144-150.

8. Kunytskyi M. (2023). GEOSPATIAL DISTRIBUTION OF CITY INFRASTRUCTURE FOR THE

PRACTICAL APPLICATION OF HEAT PUMPS. *Municipal Economy of Cities*, 4(178), 113–117. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-113-117>

9. Kunytskyi M. (2022). THEORETICAL BASIS OF THE ECONOMIC ATTRACTIVENESS OF USING HEAT PUMPS IN CITY INFRASTRUCTURE. *Municipal Economy of Cities*, 6(173), 76–80. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-76-80>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедри кібернетики, інформаційних технологій та інженерії П.М. Мартинюк, Національний університет водного господарства та природокористування, Україна.

Автор: КУНИЦЬКИЙ Михайло Олегович
Молодий науковий співробітник
Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне
E-mail: kunytskyi_az16@nuwm.edu.ua,
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1700-8167>

THE USE OF HEAT PUMPS IN COMBINED HEATING SYSTEMS FOR URBAN INFRASTRUCTURE

Kunytskyi M.O.

National university of water and environmental engineering

The article "The use of heat pumps in combined heating systems for urban infrastructure" delves into the potential of integrating heat pumps into modern urban heating systems, with a focus on energy efficiency and environmental sustainability. As urban areas expand and energy consumption continues to rise, the integration of heat pumps presents a promising solution to address both environmental and economic challenges. The introduction emphasizes the growing demand for energy-saving technologies, underscoring the need to reduce environmental impacts associated with traditional heating systems. Keywords such as heat pumps, combined heating systems, energy efficiency, and environmental sustainability are central to the discussion.

The relevance of the topic is particularly justified by the increasing costs of traditional energy sources, which are often based on fossil fuels. As global concerns about climate change grow, cities are under pressure to reduce greenhouse gas emissions, which are a significant byproduct of conventional heating methods. The adoption of more sustainable technologies like heat pumps is critical to reducing urban areas' carbon footprints. The problem statement in the article highlights the excessive energy consumption of conventional systems, as well as their significant contribution to greenhouse gas emissions. By transitioning to heat pumps, cities can not only address these environmental concerns but also ensure a more sustainable and energy-efficient future.

The section on the analysis of studies and publications reviews the advantages and challenges of implementing heat pumps in urban environments. One of the key advantages of heat pumps is their ability to harness renewable energy from the environment, such as air, water, or the ground, to generate heating and cooling. This process drastically reduces reliance on fossil fuels and cuts down on emissions. However, several challenges are identified, including the high upfront costs of installation and the modernization of existing heating networks to accommodate these systems. Moreover, there is limited long-term data on the operational efficiency of heat pumps in urban settings, making it difficult to predict their performance over time in various urban climates and infrastructure types.

The research aims to provide recommendations for the adoption of heat pumps in urban conditions. The tasks outlined include performing energy efficiency analyses to determine the optimal systems for different types of urban environments. Additionally, the research will explore integration schemes that combine heat pumps with existing heating infrastructure, as well as how to incorporate other renewable energy sources such as solar and wind to enhance overall system efficiency.

The main body of the article elaborates on the technical aspects of heat pump operations. Heat pumps work by transferring heat from one location to another, typically from the ground or air to a building, which makes them highly energy-efficient. Their ability to both heat and cool spaces makes them versatile for year-round use in urban infrastructures. The economic feasibility of implementing heat pumps is also addressed. While initial installation costs may be high, the long-term savings on energy bills, coupled with the environmental benefits, make heat pumps a viable option for cities looking to reduce their energy costs and carbon emissions.

Finally, the conclusions underscore the promising nature of heat pumps as a solution for urban heating and cooling needs. However, the article stresses the necessity of significant investments in both technology and infrastructure to ensure the successful integration of heat pumps into urban systems. The adaptation of existing heating networks, retrofitting older buildings, and overcoming technological limitations are key challenges that need to be addressed. In summary, the article suggests that while heat pumps offer a promising future for urban

infrastructure, they require careful planning, significant investments, and continued research to fully realize their potential for long-term environmental and economic sustainability.

Keywords: *heat pumps, urban infrastructure, combined heating system, energy efficiency, renewable energy sources, environmental sustainability.*