УДК 621.577

Н. Д. Степанова
К. П. Ільчук

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВІДНОВЛЮВАНОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ ДЛЯ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ У М. ВІННИЦЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі обґрунтовується вибір оптимального відновлюваного джерела теплоти для багатоквартирного житлового будинку в м. Вінниця. Проаналізовано техніко-економічні характеристики теплових насосів типів «повітря-вода», «ґрунт-вода» та «вода-вода». Встановлено, що для об'єкта потужністю близько 1 МВт найбільш ефективним рішенням є каскадна система теплових насосів «повітря-вода» із резервним електричним котлом. Це забезпечує оптимальний баланс між капітальними витратами та експлуатаційною ефективністю, та зниження викидів CO_2. Запропоновано комплекс додаткових енергоефективних заходів для максимізації ефективності системи.

Ключові слова: теплові насоси, енергоефективність, багатоквартирний житловий будинок, теплопостачання, опалення, відновлювані джерела енергії, техніко-економічне обґрунтування, система "повітря-вода".

Abstract

This paper justifies the choice of the optimal renewable heat source for a multi-apartment residential building in Vinnytsia. The technical and economic characteristics of air-to-water, ground-to-water, and water-to-water heat pumps are analyzed. It has been established that for a facility with a capacity of about 1 MW, the most effective solution is a cascade system of air-to-water heat pumps with a backup electric boiler. This provides an optimal balance between capital costs and operational efficiency, as well as a reduction in CO_2 emissions. A set of additional energy efficiency measures is proposed to maximize the efficiency of the system.

Keywords: heat pumps, energy efficiency, multi-family residential building, heat supply, heating, renewable energy sources, technical and economic justification, air-water system.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку енергетики дедалі більше орієнтуються на підвищення енергоефективності [1] та скорочення викидів парникових газів, що обумовлено як глобальними кліматичними викликами, так і необхідністю забезпечення енергетичної безпеки окремих країн та міст. Україна, у своїй стратегії інтеграції до європейського енергетичного простору, робить акцент на масштабному впровадженні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у секторі теплопостачання, який залишається одним із найбільш енергоємних. У контексті зростання вартості традиційних енергоносіїв та необхідності модернізації застарілих теплових мереж особливої актуальності набувають локальні, децентралізовані системи теплопостачання на основі екологічно чистих технологій.

Одним із найбільш перспективних напрямів переходу до низьковуглецевого теплопостачання є застосування теплових насосів, здатних ефективно акумулювати теплоту низькопотенційних природних джерел – атмосферного повітря, ґрунту, підземних та поверхневих вод. Такі системи забезпечують можливість суттєвого зменшення споживання природного газу та електроенергії, а також скорочення експлуатаційних витрат на опалення житлових будівель. Світовий досвід показує, що теплові насоси, інтегровані у централізовані та локальні системи теплопостачання, здатні працювати з високими сезонними коефіцієнтами перетворення та забезпечувати будівлі тепловою енергією протягом усього опалювального періоду.

Для українських міст, зокрема середніх за масштабом урбанізованих територій, ключовим завданням стає вибір оптимального відновлюваного джерела теплоти з урахуванням місцевих кліматичних умов, рівня урбанізації, технічної інфраструктури та специфічних характеристик будівельного фонду. Місто Вінниця, яке активно впроваджує сучасні енергетичні технології та бере участь у міжнародних програмах з підвищення енергоефективності, є показовим прикладом території, де можливості використання теплових насосів виглядають перспективними та економічно обґрунтованими. Особливої

уваги заслуговують багатоквартирні житлові будинки, що є основними споживачами тепла і водночас демонструють значний потенціал для використання екологічно чистих технологій.

Метою роботи є аналіз потенціалу та обґрунтування вибору найбільш ефективного виду відновлюваного джерела теплоти для теплопостачання багатоквартирного житлового будинку у м. Вінниця шляхом порівняння технічних, енергетичних, економічних та екологічних характеристик теплових насосів різних типів.

Результати дослідження

Сучасні дослідження в галузі теплопостачання одностайно підкреслюють зростаючу роль теплових насосів як ключової технології для скорочення викидів CO_2 та переходу до відновлюваних джерел теплоти [2]. Європейські аналітичні звіти вказують, що теплові насоси стають основою політики декарбонізації, а їхній ринок швидко розвивається, хоча ефективність рішень значною мірою залежить від умов експлуатації та правильного вибору джерела теплоти. Один із центральних висновків сучасної літератури – необхідність орієнтуватися на сезонний коефіцієнт перетворення, а не на лабораторні COP, оскільки саме він визначає реальні витрати електроенергії та економічність системи.

Теплові насоси типу «повітря–вода» є найбільш поширеними та привабливими завдяки невисокій вартості встановлення та простоті монтажу. Дослідження показують, що їх сезонний COP зазвичай перебуває в діапазоні 2,5–3,5 у помірному кліматі, але ефективність суттєво знижується при морозах нижче –5…–10 °C. Для таких систем важливими є буферні ємності та можливість резервного теплового джерела для пікових навантажень.

Системи ґрунт–вода демонструють одну з найвищих сезонних ефективностей серед доступних технологій – сезонний COP переважно сягає 3,5–5,0. Стабільність температури ґрунту робить їх особливо перспективними для базового теплопостачання. Проте література наголошує на значних початкових інвестиціях у буріння геотермальних зондів та обмеженнях для щільної міської забудови, де монтаж може бути ускладнений або технічно неможливий.

Застосування теплових насосів вода–вода з використанням поверхневих водойм (річок та озер) набуває популярності у країнах Європи, насамперед у містах поблизу водойм. Перевагами таких систем є стабільні температурні умови та високий потенційний сезонний COP (часто понад 4). Водночас наукові джерела підкреслюють необхідність врахування екологічних обмежень: вимоги до температурного впливу на водні екосистеми, очищення води від завислих часток, захисту обладнання від замулення та сезонних коливань рівня води.

Практика свідчить, що найбільш ефективними є комбіновані рішення, де стабільне джерело (ґрунт або річкова вода) покриває базове навантаження, а гнучке повітряне рішення використовується для пікових режимів.

Узагальнюючи вищенаведену інформацію, можна зробити висновок, що всі три типи теплових насосів є технічно доцільними для застосування у житловому секторі, однак оптимальний вибір залежить від локальних природних умов, доступності ресурсів та техніко-економічних характеристик конкретного об’єкта. Для багатоквартирного будинку в умовах міста особливо важливими є фактори доступності площі, близькість водних об’єктів, сезонна динаміка температур та можливості інтеграції з існуючою інфраструктурою.

Проаналізуємо перспективне джерело теплоти для житлового будинку з вбудованими приміщеннями громадського призначення у м. Вінниця, що має такі характеристики: максимальна потужність опалення житлової частини 582 кВт; максимальна потужність опалення приміщень громадського призначення 107 кВт; максимальна потужність системи вентиляції приміщень громадського призначення 83 кВт; потужність гарячого водопостачання 278 кВт. Попередньо виконано розрахунок енергоспоживання (а саме теплоспоживання) даного будинку , яке склало 2511917 кВт·год.

Виконано аналіз переваг і недоліків теплових насосів (ТН) різних типів і можливість їх використання для аналізованого об’єкту, результати якого зведено у табл. 1.

Аналізуючи характеристики енергоспоживання наведеного об’єкту видно, що пікова потужність джерела теплоти для нього має перевищувати 1 МВт.

Беручи до уваги дані, наведені у табл. 1, логічно, що для багатоквартирного будинку потужністю ~1 МВт варіант теплових насосів «повітря-вода» є найбільш реалістичним та економічно доцільним. Вони пропонують оптимальний баланс між капітальними витратами та експлуатаційною ефективністю, особливо для будинків із якісною теплоізоляцією. Сучасні моделі теплових насосів «повітря-

вода» здатні ефективно працювати навіть при низьких температурах, що робить їх прийнятним рішенням для кліматичних умов м. Вінниці.

Таблиця 1 – Порівняння типів теплонасосних систем застосовано щодо об’єкту аналізу

Тип ТН	Переваги	Недоліки	Можливість використання на об’єкті
«Повітря-вода»	- зниження експлуатаційних витрат у порівнянні із газовими котлами 50-75%; - можливість роботи (у сучасних моделях при температурах до -25°С; - відносно низькі капітальні витрати у порівнянні із іншими типами ТН	- залежність ефективності від зовнішньої температури [3]; - потреба в резервному джерелі при екстремальних морозах [4]; - значні експлуатаційні витрати при температурі нижче -5°С	Висока – оптимальний баланс між вартістю встановлення та експлуатації
«Грунт-вода»	- найвища ефективність (COP 4.0+) ; - стабільність цілий рік, незалежність від погодних умов	- найвища вартість встановлення; - складність монтажу в центрі міста; - неможливість буріння для будинку потужністю ~1 МВт	Низька – через неможливість реалізації в міських умовах
«Вода–вода» з використанням поверхневих водойм	- дуже висока ефективність (COP 5.0+); - стабільна температура джерела	- складність отримання дозвільної документації; - висока початкова вартість; - ризик забруднення теплообмінника	Середня – перспективний, але ризикований варіант через регуляторні бар'єри

Крім того для кліматичних умов Вінниці доцільно застосування бівалентної системи, де тепловий насос забезпечує основне опалення, а при температурах нижче -15°С підключається резервне джерело теплоти. Як резерв доцільно використовувати електричний котел, що дозволить знизити капітальні витрати на систему теплових насосів та забезпечити надійність теплопостачання в періоди екстремальних морозів.

Для аналізованого багатоквартирного будинку оптимальним рішенням є вибір промислових теплових насосів «повітря-вода» з наступними характеристиками:

- високотемпературні моделі (до 80°С) - для забезпечення сумісності з існуючими радіаторними системами без необхідності їх повної заміни;
- інверторні компресори - для плавного регулювання потужності та економії електроенергії;
- можливість роботи в каскаді - для забезпечення потрібної потужності та резервування;
- адаптація до низьких температур - здатність ефективно працювати при температурах до -25°С.

Для максимізації ефективності системи теплових насосів рекомендується впровадження додаткових енергоефективних рішень: встановлення сонячної електростанції, встановлення систем вентиляції з рекуперацією теплоти, індивідуальні теплові пункти.

Впровадження системи теплових насосів «повітря-вода» дозволить досягти наступних результатів: економія коштів на опалення та ГВП до 70% порівняно з електричним обігрівом; зниження викидів CO_2 до 60% порівняно з газовими системами; підвищення комфорту мешканців за рахунок стабільної температури в опалювальний період та можливості кондиціонування влітку; збільшення ринкової вартості нерухомості завдяки впровадженню сучасних енергоефективних технологій ; енергетична незалежність від централізованих систем теплопостачання та зменшення впливу коливань цін на традиційні енергоносії.

Висновки

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що теплові насоси «повітря-вода» є оптимальним вибором для теплопостачання багатоквартирного житлового будинку у м. Вінниця з річним енергоспоживанням 2 511 916,9 кВт·год.

Це рішення забезпечує оптимальний баланс між капітальними витратами та експлуатаційною ефективністю та дозволяє значно знизити вплив на довкілля. Для максимізації ефективності рекомендується реалізація проекту в поєднанні з сонячною електростанцією та системою рекуперації теплоти, що дозволить створити сучасний, енергоефективний та майже автономний житловий комплекс.

Реалізація такого проекту дозволить створити надійну та економічно ефективну систему теплопостачання, що відповідає сучасним вимогам енергоефективності та комфорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабенко О. В., Степанов Д. В., Степанова Н. Д. Моделювання енергоефектив-ності житлової будівлі за умов різних джерел теплової енергії. Вісник Хмель-ницького національного університету. Серія «Технічні науки». 2024. №3, т. 2. С. 27-32.

2. Дерев'янко Д. Г., Беспала Н. Г., Богойко І. І., Колодяжна А. О. Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для теплопостачання громадських і житлових будівель в україні. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. №2. С. 41 – 47.

3. Степанова, Н. Д., & Снісарчук, Д. М. (2025). Моделювання показників роботи рушникосушарки в низькотемпературній системі створення мікроклімату. Наука та прогрес транспорту, (1(109), 85–92.

4. Іванюк М. М., Степанова Н. Д. Енергоефективність двомодульної системи теплопостачання громадської будівлі у місті Вінниця. *Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)»,* 15.06.2025 – 16.06.2025, Вінниця: ВНТУ, URL : https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/23206/19209 (дата звернення 17.11.2025 р.).

Степанова Наталія Дмитрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovand@i.ua

Ільчук Катерина Петрівна , студенка групи ТЕ-22б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, katyaIlychuk@gmail.com.

Stepanova Nataliya D., Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, Stepanovand@i.ua

Ilchuk Kateryna P., student of TE-22b group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, katyaIlychuk @gmail.com.