

ІНЖЕНЕРНІ МЕРЕЖІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

УДК 621.577.4

DOI: 10.31649/2311-1429-2025-1-176-184

Н. М. Слободян
О. І. Ободянська
В. О. Гончарук

ВИБІР ПОВІТРЯНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ СИСТЕМ
АВТОНОМНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

У статті проведено розрахунки техніко-економічних показників з урахуванням прогнозованих капітальних вкладень та експлуатаційних витрат на влаштування теплових насосів типу «повітря – вода». Така система теплозабезпечення виявляється економічно вигіднішою порівняно з використанням котлів на дизельному паливі. Проаналізовано питомі витрат на виробництво одиниці теплової енергії та підтверджено, що застосування теплових насосів дає змогу значно знизити загальні витрати на теплопостачання, особливо у довгостроковій перспективі.

Окрему увагу приділено аналізу бівалентного режиму роботи теплових насосів, при якому основне теплове навантаження покривається тепловим насосом, а резервний електричний або дизельний котел вмикається лише у пікові періоди знижених температур зовнішнього повітря. Такий підхід дозволяє зменшити встановлену потужність теплового насоса, уникнути перевищення електричних навантажень у мережі та зменшити інвестиційні витрати на систему. Бівалентна система поєднує переваги енергоефективності теплових насосів з надійністю резервного джерела тепла.

Результати моделювання показали, що капітальні витрати на впровадження теплової насосної системи є вищими у порівнянні з дизельною установкою, однак цей недолік компенсується нижчими щорічними витратами на електроенергію, обслуговування та заміну витратних матеріалів. Розрахунковий термін окупності системи з тепловим насосом у базовому або бівалентному режимі становить 6 – 7 років, після чого відбувається чиста економія для власника. У випадку ж з дизельною системою витрати залишаються стабільно високими, і залежність від коливань цін на паливо є критичним фактором ризику.

Виявлено економічні та екологічні фактори впливу на вибір системи теплозабезпечення, що дає можливість рекомендувати впровадження теплових насосів типу «повітря – вода» для реконструкції систем теплопостачання автономних об'єктів, особливо в умовах відсутності підключення до централізованого газопостачання. Така система відповідає сучасним вимогам щодо енергоефективності, сталого розвитку та мінімізації впливу на довкілля.

Ключові слова: тепловий насос, електричний котел, теплопостачання, автономна система, фанкойл, бівалентний режим, відновлювальні джерела енергії, теплоносії, коефіцієнт трансформації теплоти, енергоефективність.

Вступ

Забезпечення надійного, ефективного та екологічно безпечного теплопостачання є однією з ключових складових стійкого розвитку енергетичного сектору України. В умовах зростання цін на енергоносії, необхідності зниження залежності від імпортованих джерел палива та актуалізації питань енергетичної безпеки держави особливого значення набуває впровадження альтернативних технологій виробництва теплової енергії. Одним із пріоритетних напрямів реалізації сучасної енергетичної політики є поступове заміщення традиційних джерел теплопостачання – таких як вугілля, мазут чи дизельне паливо – на відновлювані та низьковуглецеві технології. У цьому контексті особливої уваги заслуговують теплонасосні системи, які здатні забезпечити теплопостачання на високому рівні енергоефективності та з мінімальним впливом на довкілля.

Використання теплових насосів для теплозабезпечення автономних об'єктів – житлових, адміністративних або виробничих будівель – є перспективним напрямом як з технічної, так і з економічної точки зору. Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати на опалення, зменшити експлуатаційні витрати та знизити викиди парникових газів. Теплові насоси можуть ефективно працювати як у нових, так і в реконструйованих системах теплопостачання, особливо у випадках, коли централізоване теплопостачання є технічно неможливим або економічно недоцільним.

Повітряні теплові насоси, як один із найбільш поширених типів таких систем, демонструють високу гнучкість у застосуванні, простоту монтажу та помірну вартість обладнання. У порівнянні з геотермальними чи водяними тепловими насосами, повітряні системи не потребують значного обсягу земляних робіт чи спеціального доступу до водних ресурсів, що робить їх зручними для впровадження в умовах обмеженого простору або існуючої інфраструктури. Однак, при виборі конкретної моделі теплонасосної установки необхідно враховувати низку факторів, зокрема кліматичні умови регіону, сезонні коливання температур, рівень теплових втрат об'єкта, необхідне теплове навантаження, параметри гарячого водопостачання, тип внутрішньої розподільчої мережі

тощо.

Зростаюча увага до проблем енергоефективності та екологічної безпеки визначає потребу у проведенні комплексних досліджень, спрямованих на розроблення ефективних рішень для модернізації систем автономного теплопостачання з використанням теплових насосів. Станом на сьогодні більшість досліджень у цій сфері зосереджені на вивченні енергоефективних показників обладнання, моделей оптимізації роботи теплонасосних систем, а також порівнянні витрат на різні джерела енергії. Тим не менш, значна частина питань залишається відкритою – зокрема, щодо вибору обладнання з урахуванням локальних кліматичних та економічних умов, розробки адаптивних теплових схем та моделювання варіантів експлуатації в реальних умовах.

Постановка проблеми

Як об'єкт дослідження було обрано систему автономного теплопостачання виробничо-технічного відділу автобазу «БЕРКУТ-ТРАНС», що розташовано у місті Вінниця. Теплофікаційне навантаження охоплює системи опалення та гарячого водопостачання і на даний момент забезпечується рідкопаливним котлом Riello 3300 з дизельним пальником, номінальна теплова потужність якого становить 40 кВт. Метою даного дослідження є техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування повітряних теплових насосів для теплопостачання об'єктів із заданим тепловим навантаженням. Основними завданнями дослідження є:

- оцінка теплового навантаження автономного об'єкта з урахуванням кліматичних умов і нормативних розрахункових характеристик;
- вибір режиму роботи теплонасосної установки та основного обладнання;
- розроблення принципової теплової схеми;
- виконання оцінки річних витрат на виробництво теплової енергії;
- порівняльний аналіз ефективності роботи теплового насоса та існуючого дизельного теплогенератора.

Основна частина

Тепловий насос – це пристрій, що працює за принципом зворотного термодинамічного циклу і забезпечує виробництво теплової енергії шляхом відбору теплоти з навколишнього середовища та її передачі до споживача. Для роботи теплових насосів можуть використовуватись різні природні джерела теплоти, зокрема: зовнішнє повітря, вода наземних або підземних джерел, тепло ґрунту, а також теплові вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) [1].

Залежно від джерела первинної енергії теплові насоси поділяються на ґрунтові, повітряні та водяні. У контурі опалення теплоносієм може виступати як повітря, так і рідкий теплоносій (вода або антифризні суміші). Повітряні теплові насоси (рис. 1) перетворюють низькопотенційну енергію зовнішнього повітря на теплову енергію з вищим температурним потенціалом, придатну для використання у системах опалення та гарячого водопостачання. Такі установки можуть ефективно функціонувати при температурі зовнішнього повітря до $-20...-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, а окремі моделі – навіть до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 1) [2].

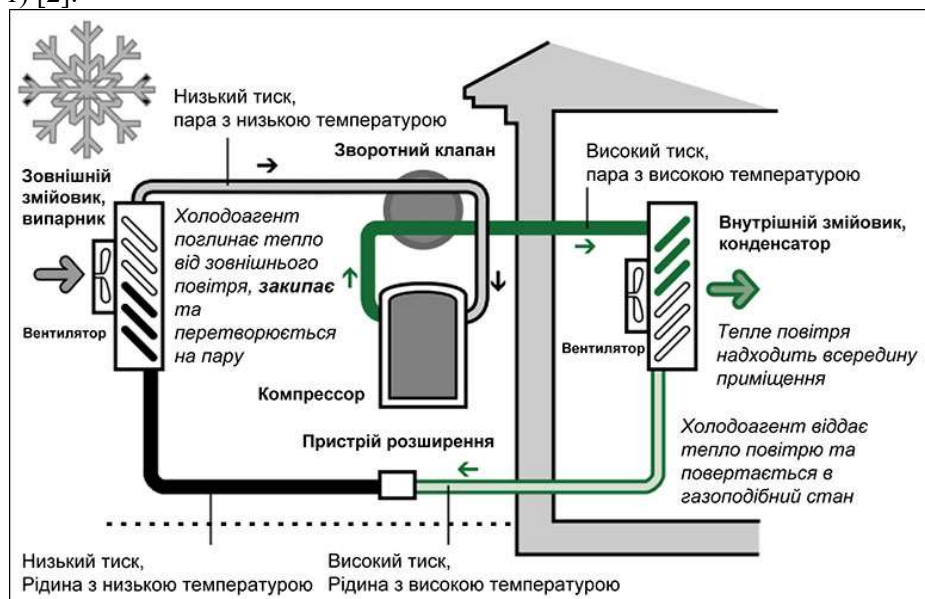


Рисунок 1 – Опалювальний цикл повітряного теплового насоса.

Технічні характеристики повітряних теплових насосів

Виробник	Модель	Теплова потужність, кВт	Споживана потужність, кВт	COP	Температура джерела, °C	Максимальна температура в контурі, °C
NIBE (Швеція)	F2300-20	20	-	3,0	до -25	65
Mitsubishi (Японія)	PUHZSW 160VHA	22	5,2	4,2	до -20	60
Mitsubishi (Японія)	PUHZSW 220VHA	25	6,25	4,0	до -20	60
Cooper&Hunter (США)	CH-HP31UM NM	31	7,5	4,0	до -30	60
Cooper&Hunter (США)	CH-HP20UI MPRM	20	7,5	4,0	до -25	60
Meeting (Китай)	MD120D	40	10,1	4,0	до -25	60
Meeting (Китай)	MD50D	18	4,4	4,5	до -25	60

З конструктивної точки зору, повітряні теплові насоси поділяються на два основних типи: моноблочні та спліт-системи. У моноблочних моделях усі компоненти системи (компресор, теплообмінники, насосна група тощо) розміщені в одному корпусі. Вони, у свою чергу, бувають призначені для внутрішнього монтажу (встановлюються всередині приміщення) або для зовнішньої установки. Спліт-системи складаються з двох частин: зовнішнього блоку, що здійснює забір тепла з навколишнього середовища, та внутрішнього блоку, який монтується у приміщенні та відповідає за передачу теплової енергії до опалювального контуру [1].

Існує кілька режимів експлуатації теплонасосних установок, які класифікуються за типом взаємодії теплогенеруючого обладнання: моновалентний, бівалентний альтернативний, бівалентний паралельний та бівалентний комбінований режими [2 – 4]. У моновалентному режимі теплова енергія для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання забезпечується виключно тепловим насосом. При цьому температура подачі в систему опалення повинна бути дещо нижчою за гранично допустиму температуру, яку здатен забезпечити тепловий насос, аби підтримувати оптимальний режим роботи.

У випадках, коли необхідні вищі температурні графіки функціонування системи опалення, застосовується бівалентний режим. У такому випадку тепловий насос виконує функцію основного джерела тепла, а додаткове джерело – наприклад, електрокотел (так званий піковий котел) – забезпечує підвищення температури до необхідного рівня. У бівалентному паралельному режимі теплонасосна установка може самостійно покривати теплове навантаження лише до певного значення температури зовнішнього повітря. При зниженні температури нижче цієї межі в систему автоматично вмикається додатковий теплогенератор. Бівалентний альтернативний режим передбачає, що тепловий насос повністю забезпечує об'єкт теплом до досягнення точки бівалентності, після чого він вимикається, і теплове навантаження повністю передається другому джерелу тепла, яке здатне підтримувати необхідний температурний графік.

Попри численні переваги, впровадження теплонасосних систем в автономному теплопостачанні пов'язане з низкою труднощів, серед яких найбільш суттєвими є:

- висока вартість початкових інвестицій, обумовлена переважанням на ринку України імпортного обладнання виробництва Франції, Швеції, Німеччини, Японії, Китаю, США тощо;
- обмеження максимальної температури теплоносія, яку може забезпечити тепловий насос.

Для ефективної експлуатації установки з високим коефіцієнтом трансформації теплоти (COP) необхідно використовувати низькотемпературні системи опалення, які потребують збільшеної площі опалювальних приладів. У зв'язку з цим, при реконструкції існуючих систем виникає потреба у заміні опалювального обладнання, що призводить до додаткових витрат.

У таких випадках доцільним є використання фанкойлів замість традиційних радіаторів. Фанкойл – це кліматичний пристрій, призначений для обігріву або охолодження повітря у приміщенні (рис. 2). Його конструкція включає вентилятор (fan) та теплообмінник (coil), до якого подається нагрітий тепловим насосом рідкий теплоносіє.

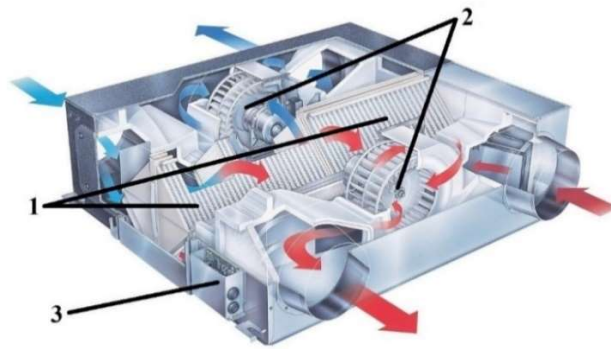


Рисунок 2 – Влаштування фанкойлу: 1 – теплообмінники для нагрівання або охолодження повітря, 2 – вентилятори для циркуляції повітряних потоків, 3 – пульт керування системою.

До основних переваг впровадження теплових насосів у системи автономного теплопостачання належать [5, 6]:

1. Використання відновлюваних джерел енергії – зокрема, низькопотенційної теплової енергії навколишнього середовища (повітря, ґрунту, води).
2. Високий рівень безпеки – відсутність потреби у спалюванні пального забезпечує вибухо- та пожежобезпечність обладнання.
3. Можливість організації системи холодопостачання – тепла насосна установка може працювати в реверсивному режимі, забезпечуючи як опалення, так і кондиціювання.
4. Екологічність експлуатації – низький рівень шуму та вібрації, відсутність шкідливих викидів у атмосферу.
5. Відсутність необхідності у підведенні паливних мереж – не потребується прокладання газопроводів чи влаштування систем димовидалення.
6. Економічність – за рахунок високого коефіцієнта трансформації теплоти (COP) та використання енергії навколишнього середовища зменшується споживання електроенергії у порівнянні з традиційними системами опалення.

Середньомісячні теплові навантаження та орієнтовне річне споживання теплоти на опалення визначаються на основі нормативних методик розрахунку [2]. Для цього використовувалися такі формули:

- середньомісячна витрата теплоти на опалення будівлі, Вт:

$$Q_{on.mic} = Q_{on} \cdot \frac{t_g - t_{z.cer}}{t_g - t_{z.pich}} \cdot Z_{mic}, \quad (1)$$

де t_g – розрахункова температура всередині будівлі, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{z.cer}$ – середньомісячна температура зовнішнього повітря за опалювальний період, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{z.pich}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря в холодну пору року, $^{\circ}\text{C}$;

Z_{mic} – тривалість місяця опалювального періоду, доби.

- запланований річний відпуск теплової енергії на опалення будівлі, Вт·год/рік:

$$Q_{on.pich} = Q_{on.mic} \cdot i, \quad (2)$$

де i – тривалість опалювального періоду, доби.

Відношення переданої споживачу теплової енергії до витраченої електричної енергії називається коефіцієнтом трансформації теплоти, або coefficient of performance (COP), також його називають коефіцієнтом теплової продуктивності. Цей коефіцієнт дозволяє оцінити витрати електричної енергії на виробництво тепла. Коефіцієнт трансформації теплоти можна обчислити за такою формулою:

$$COP = \frac{Q}{W}, \quad (3)$$

де Q – кількість переданої (корисної) теплоти, кВт·год;

W – витрачена електрична енергія, кВт·год.

За допомогою коефіцієнта трансформації теплоти (COP) можна кількісно оцінити енергоефективність роботи теплового насоса. Цей показник визначає співвідношення між кількістю теплової енергії, переданої до споживача, та витратою електричної енергії для її отримання. Чим вище значення COP, тим менше електроенергії споживає теплонасосна система для генерації одиниці тепла, що, у свою чергу, знижує експлуатаційні витрати.

Коефіцієнт COP залежить від кількох факторів, зокрема [7]:

- типу теплового насоса (повітря – повітря, повітря – вода, вода – вода тощо);
- температур зовнішнього повітря або джерела теплоти;
- температури теплоносія у системі опалення;
- характеристик компресора, теплообмінників та системи керування.

У холодних кліматичних умовах, таких як більшість регіонів України, COP повітряних теплових насосів помітно знижується при зменшенні температури навколишнього середовища. Наприклад, при зовнішній температурі $+7^{\circ}\text{C}$ значення COP може становити 3,0–4,0, а при -7°C – вже 1,8–2,5. Тому для забезпечення стабільної ефективності на практиці іноді використовують буферні ємності або комбіновані системи з резервним джерелом теплоти (наприклад, електрокотлом).

Значення COP зазвичай наводиться виробниками в технічній документації до обладнання для різних умов експлуатації (див. табл. 1). Це дає змогу інженерам та проєктантам здійснювати енергоекономічні розрахунки, а також порівнювати ефективність різних моделей теплових насосів.

На рисунку 3 представлено графік зміни COP для повітряного теплового насоса Meeting, модель MD50D, залежно від зовнішньої температури. Ці дані є важливими для вибору оптимальної моделі з урахуванням кліматичних умов конкретного регіону, типу об'єкта та режиму його експлуатації.

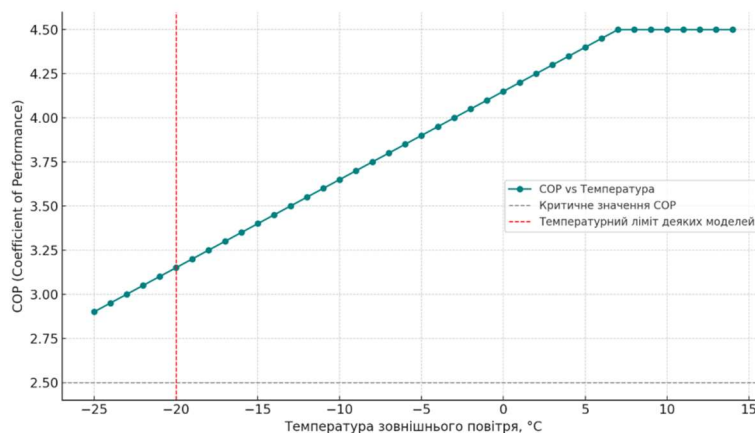


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта перетворення (COP) від температури зовнішнього повітря.

Залежно з графіка, коефіцієнт перетворення повітряних теплових насосів є функцією температури зовнішнього повітря та температури теплоносія у системі тепlopостачання. Для всіх моделей теплових насосів, представлених у таблиці 1, наведені значення COP відповідають режиму роботи з температурою джерела низькопотенційної теплоти 0°C та температурою теплоносія на стороні споживача 35°C .

Вибір автономної системи тепlopостачання на базі теплових насосів типу «повітря–вода» здійснено для виробничо-технічного відділу автобази «БЕРКУТ-ТРАНС». Наразі будівля опалюється котлом, що працює на дизельному паливі. Теплоносієм у системі опалення є вода з параметрами $70/50^{\circ}\text{C}$. Опалювальні прилади – алюмінієві радіатори. Гаряче водопостачання для господарсько-побутових потреб у зимовий період забезпечується теплом від дизельного котла у проточному режимі. Поза опалювальним сезоном нагрівання води для гарячого водопостачання здійснюється за допомогою електричних накопичувальних бойлерів.

Пропонується впровадження системи тепlopостачання з використанням повітряних теплових насосів на досліджуваному об'єкті з метою зменшення витрат енергоресурсів та зниження експлуатаційних витрат на вироблення теплової енергії. Основними чинниками економії є [8]:

- перехід від використання дизельного палива до сучасного енергоефективного теплогенеруючого обладнання;
- повна автоматизація роботи основного та допоміжного обладнання котельні, що усуває необхідність постійної присутності персоналу;
- автоматизація відпуску теплової енергії відповідно до погодозалежних графіків, що сприяє зменшенню виробництва надлишкової теплової енергії.

З метою обґрунтування доцільності впровадження теплових насосів для автономної системи тепlopостачання виробничо-технічного відділу було виконано орієнтовний розрахунок витрат на тепlopостачання в опалювальний період для кількох варіантів системи.

У першому варіанті як джерело теплоти розглядається дизельна котельня. У другому – система, що складається з двох повітряних теплових насосів та додаткового електричного котла, підключеного паралельно. У третьому варіанті передбачено один повітряний тепловий насос і

паралельно підключений електричний котел. Для обох варіантів із тепловими насосами прийнято бівалентний паралельний режим роботи системи.

Попередньо було проведено порівняльний аналіз моделей теплових насосів різних виробників з відповідними технічними характеристиками (див. табл. 1). Враховуючи повноту доступних технічних даних і наявність обладнання на ринку, для другого варіанта обрано два повітряні теплові насоси китайського виробника Meeting, модель MD50D, тепловою потужністю по 18 кВт кожен. Для третього варіанта було вибрано одну установку тієї ж марки – модель MD120D, з тепловою потужністю 40 кВт. У обох випадках в якості пікового джерела теплоти (доводчика) запропоновано використання електричного котла потужністю 30 кВт.

Для розглянутих варіантів з тепловими насосами розроблено відповідні теплові схеми. Принципову теплову схему третього варіанта автономної системи тепlopостачання наведено на рисунку 4.

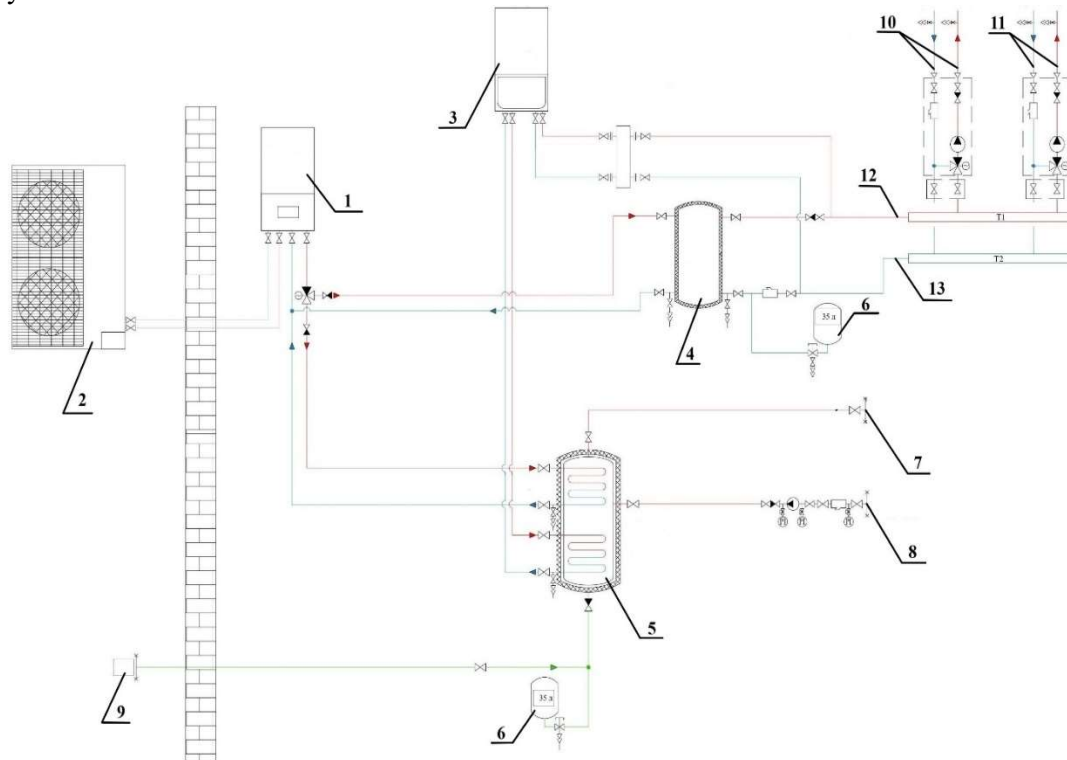


Рисунок 4 – Принципова теплова схема генерації теплоти з повітряним тепловим насосом: 1 – тепловий насос, 2 – зовнішній блок, 3 – електричний котел, 4 – бак-акумулятор тепла, 5 – бак водонагрівач непрямого нагріву, 6 – розширювальний бак, 7 – трубопровід до системи гарячого водопостачання (40 – 55 °C), 8 – трубопровід з рециркуляції системи гарячого водопостачання (35 – 40 °C), 9 – система холодного водопостачання, 10 – трубопроводи до системи фанкойлів, 11 – трубопроводи до системи опалення, 12 – подаючий трубопровід, 13 – зворотній трубопровід.

На основі формул (1) – (3), з урахуванням кліматичних даних для м. Вінниці [9] і залежності коефіцієнта трансформації теплоти (COP) обраних теплових насосів від температури зовнішнього повітря та температури теплоносія в системі опалення (див. рис. 3), було визначено середньомісячні витрати теплоти на опалення, а також відповідне споживання електроенергії тепловими насосами протягом опалювального періоду. Вихідні дані та результати розрахунків подано в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків теплового навантаження

Місяць	Середньомісячна температура, °C	COP	Розрахункове теплове навантаження по місяцям, ГДж/міс	Споживана електроенергія, Вт·год/міс
Жовтень	7,6	4,45	25,3	1946
Листопад	1,8	4,2	33,6	2585
Грудень	- 2,9	4,0	41,7	3208
Січень	- 5,1	3,85	46,3	3562
Лютий	- 3,8	3,95	44,4	3171
Березень	0,5	4,2	36,1	2777
Квітень	8,1	4,5	25,1	1931

Виконані розрахунки техніко-економічних показників з урахуванням прогнозованих капітальних вкладень та експлуатаційних витрат наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Основні техніко-економічні показники

Найменування показника	Дизельний котел	Два теплових насоси MD50D та електричний котел	Тепловий насос MD120D та електричний котел
Вартість палива, грн/л	56,05	-	-
Тариф на електроенергію, грн/кВт·год	-	4,32	4,32
Генерація теплової енергії, ГДж/рік	252,5	252,5	252,5
Питомі затрати із врахуванням амортизаційних відрахувань, грн/ГДж	2955	1098	1225

За результатами порівняння отриманих питомих витрат на теплопостачання для різних варіантів систем видно, що системи опалення, в яких використовуються теплові насоси типу «повітря–вода», виявляються значно економічно доцільнішими у порівнянні з традиційною системою на основі дизельного котла. Це пов'язано передусім із вищим коефіцієнтом трансформації теплоти (COP) у теплових насосах, який дозволяє отримувати кілька кіловат теплової енергії на кожен витрачений кіловат електроенергії. У той час як дизельні котли забезпечують виробництво теплової енергії виключно шляхом прямого спалювання палива, теплові насоси використовують низькопотенційну енергію навколишнього середовища, що значно підвищує ефективність їх роботи.

Проведені техніко-економічні розрахунки включали як оцінку капітальних вкладень, необхідних для впровадження кожної з розглянутих систем, так і аналіз експлуатаційних витрат, до яких входять витрати на паливо або електроенергію, обслуговування, а також амортизаційні відрахування. Отримані питомі витрати демонструють, що теплові насоси, попри вищі початкові інвестиції, забезпечують значно нижчі експлуатаційні витрати протягом усього опалювального сезону. Це особливо помітно у варіантах із бівалентним режимом роботи системи, де тепловий насос покриває базове навантаження, а електричний котел залучається лише в пікові періоди при низьких температурах зовнішнього повітря.

Висновки

На основі порівняння отриманих питомих витрат встановлено, що система опалення на базі теплових насосів типу «повітря – вода» в обох проаналізованих випадках є економічно доцільнішою у порівнянні з використанням котлів, що працюють на дизельному паливі. Такий результат пояснюється високим коефіцієнтом перетворення теплоти, характерним для теплових насосів, який у середньому коливається в межах 3,5–4,5 залежно від температури зовнішнього повітря та параметрів системи опалення.

Дизельні котли, попри порівняно невисоку вартість початкових капітальних вкладень, мають істотні недоліки. До них відносяться високі експлуатаційні витрати, значна залежність від коливань цін на паливо, а також екологічні ризики, пов'язані з викидами продуктів згоряння. У довгостроковій перспективі витрати на дизельне опалення стабільно залишаються високими, тоді як система з тепловим насосом, незважаючи на дещо вищу початкову вартість, характеризується нижчими щорічними витратами та коротшим терміном окупності.

Особливу увагу приділено варіанту реалізації бівалентного режиму, який передбачає спільну роботу теплового насоса та резервного джерела тепла (електричного або дизельного котла). Така схема дозволяє забезпечити надійне теплопостачання при пікових навантаженнях або в умовах критично низьких температур зовнішнього повітря, коли ефективність теплового насоса знижується. У міжсезоння і при помірних температурах основне теплове навантаження покривається тепловим насосом, що значно зменшує споживання енергоносіїв і експлуатаційні витрати.

Розрахунки показали, що при впровадженні бівалентної системи опалення на основі теплового насоса із резервом у вигляді електричного котла, річна вартість енерговитрат є на 25–40 % нижчою, ніж при використанні лише дизельного котла. Крім того, бівалентна система дає змогу зменшити встановлену електричну потужність, що необхідна для роботи теплового насоса, та уникнути перевантаження мережі у періоди найбільшого споживання.

З екологічної точки зору теплова насосна система має значні переваги: відсутність викидів шкідливих речовин на місці експлуатації, низький рівень шуму, можливість автоматизації та інтеграції з відновлюваними джерелами енергії, що відповідає сучасним вимогам до сталого розвитку енергетики.

Враховуючи вищезазначене, застосування теплових насосів типу «повітря – вода» можна рекомендувати як ефективну альтернативу традиційним джерелам тепла, особливо для реконструкції систем теплопостачання автономних об'єктів, що не мають доступу до централізованих мереж природного газу. Обрана стратегія забезпечує не лише економію коштів, а й підвищення енергоефективності та зменшення впливу на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Г. Г. Півняк, О. С. Бешта, М. М. Табаченко та ін., Традиційні та нетрадиційні системи енергозабезпечення урбанізованих і промислових територій України: монографія, під заг. ред. Г. Г. Півняка. Дніпро, Україна: Національний гірничий університет, 2013, 333 с.
2. Арсенєв В. М., Мелейчук С. С. **Теплові насоси: основи теорії і розрахунку** : навч. посіб. / В. М. Арсенєв, С. С. Мелейчук. – Суми : Сумський державний університет, 2018, 364 с.
3. ДСТУ Б В.2.5-44:2010, Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами. Національний стандарт України, чинний від 2010-09-01. Київ, 2010, 46 с.
4. В. Б. Горбань, П. М. Макаренко, О. В. Калініченко, В. І. Аранчій та ін., Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технікотехнологічний та екологічний аспекти: монографія. Полтава, Україна: ПП «Астроя», 2019, 312 с.
5. С. А. Бобров, Енергетична безпека держави. Київ, Україна: Університет економіки та права, ВНЗ «КРОК», 2013, 306 с.
6. О. І. Ободянська, А. С. Бровко, «Особливості функціонування теплових насосів в системах тепло- та холодопостачання» у Матеріали І науково-технічної конференції ФБТЕГП ВНТУ. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/11737>.
7. О. І. Ободянська, О. А. Іванов, К. Р. Войновський, «Використання енергії навколишнього середовища за допомогою теплових насосів» на Міжнародній наук.-техн. конф. «Інноваційні технології в будівництві». [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10834>.
8. Енергетична стратегія України на період до 2050 року: офіційний текст станом на 21.04.2023 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>. Дата звернення 19.03.2025.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Чинний від 01.10.2011. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010, 128 с.

REFERENCES

1. H. H. Pivniak, O. S. Beshta, M. M. Tabachenko ta in., Tradytsiini ta netradytsiini systemy enerhozabezpechennia urbanizovanykh i promyslovykh terytorii Ukrainy: monohrafiia, pid zah. red. H. H. Pivniaka. Dnipro, Ukraina: Natsionalnyi hirnychiy universytet, 2013, 333 s.
2. Arseniev V. M., Meleichuk S. S. Teplovi nasosy: osnovy teorii i rozrakhunku : navch. posib. / V. M. Arseniev, S. S. Meleichuk. – Sumy : Sumskiy derzhavnyi universytet, 2018, 364 s.
3. DSTU B V.2.5-44:2010, Proiektuvannia system opalennia budivel z teplovymy nasosamy. Natsionalnyi standart Ukrainy, chynnyi vid 2010-09-01. Kyiv, 2010, 46 s.
4. V. B. Horban, P. M. Makarenko, O. V. Kalinichenko, V. I. Aranchii ta in., Enerhoefektyvnist ta enerhozberezhennia: ekonomichniy, tekhnikotekhnolohichniy ta ekolohichniy aspekty: monohrafiia. Poltava, Ukraina: PP «Astraiia», 2019, 312 s.
5. Ie. A. Bobrov, Enerhetychna bezpeka derzhavy. Kyiv, Ukraina: Universytet ekonomiky ta prava, VNZ «KROK», 2013, 306 s.
6. O. I. Obodianska, A. S. Brovko, «Osoblyvosti funktsionuvannia teplovykh nasosiv v systemakh teplo- ta kholodopostachannia» u Materialy I nauko-ve-tekhnichnoi konferentsii FBTEHP VNTU. [Elektronnyi resurs], Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/11737>.
7. O. I. Obodianska, O. A. Ivanov, K. R. Voinovskiy, «Vykorystannia enerhii navkolishnogo sredovyscha za dopomohoiu teplovykh nasosiv» na Mizhnarodnii nauk.-tekhn. konf. «Innovatsiini tekhnolohii v budivnytstvi». [Elektronnyi resurs], Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10834>.
8. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2050 roku: ofitsiyniy tekst stanom na 21.04.2023 [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>. Data zvernennia 19.03.2025.
9. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Budivelna klimatolohiia. Chynnyi vid 01.10.2011. Vyd. ofits. Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy, 2010, 128 s.

Слободян Наталія Михайлівна – к.т.н., доцент кафедри інженерних систем у будівництві. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: NSlobodian61@gmail.com. ORCID 0000-0002-2111-1434.

Ободянська Ольга Ігорівна – к.т.н., доцент кафедри інженерних систем у будівництві. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: olha.obodyanska@i.ua. ORCID 0000-0003-4464-3537.

Гончарук Віктор Олександрович – аспірант кафедри інженерних систем у будівництві. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: sanderlend@ukr.net.

**N. Slobodian
O. Obodyanska
V. Goncharuk**

SELECTION OF AIR-SOURCED HEAT PUMPS FOR AUTONOMOUS HEAT SUPPLY SYSTEMS

Vinnytsia National Technical University

The article calculates technical and economic indicators taking into account the projected capital investments and operating costs for the installation of air-to-water heat pumps. Such a heat supply system is more economically advantageous compared to the use of diesel-fired boilers. The specific costs for the production of a unit of thermal energy are analyzed and it is confirmed that the use of heat pumps allows you to significantly reduce the total costs of heat supply, especially in the long term.

Special attention is paid to the analysis of the bivalent mode of operation of heat pumps, in which the main heat load is covered by the heat pump, and the backup electric or diesel boiler is turned on only during peak periods of low outdoor temperatures. This approach allows you to reduce the installed power of the heat pump, avoid exceeding the electrical loads in the network and reduce investment costs for the system. The bivalent system combines the advantages of energy efficiency of heat pumps with the reliability of a backup heat source.

The simulation results showed that the capital costs for implementing a heat pump system are higher compared to a diesel installation, but this disadvantage is compensated by lower annual costs for electricity, maintenance and replacement of consumables. The estimated payback period of a heat pump system in basic or bivalent mode is 6-7 years, after which there is a net saving for the owner. In the case of a diesel system, the costs remain consistently high, and dependence on fluctuations in fuel prices is a critical risk factor.

Economic and environmental factors influencing the choice of a heat supply system have been identified, which makes it possible to recommend the implementation of air-to-water heat pumps for the reconstruction of heat supply systems of autonomous facilities, especially in conditions of lack of connection to centralized gas supply. Such a system meets modern requirements for energy efficiency, sustainable development and minimizing environmental impact.

Key words: heat pump, electric boiler, heat supply, autonomous system, fan coil, bivalent mode, renewable energy sources, coolant, heat transformation coefficient, energy efficiency..

Slobodian Natalia M. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Engineering Systems in Construction, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, email: NSlobodian61@gmail.com.

Obodyanska Olha I. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Engineering Systems in Construction, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, email: olha.obodyanska@i.ua.

Goncharuk Viktor O. – graduate student of the Chair of Engineering Systems in Construction, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia city, email: sanderlend@ukr.net.