

ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОТИ У МІСЬКИХ УМОВАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто теплові насоси як перспективне та енергоефективне джерело теплопостачання будівель. Проаналізовано принцип роботи парокомпресійного теплового насоса, особливості термодинамічного циклу та основні конструктивні елементи установки. Розкрито фізичну сутність коефіцієнта перетворення (COP) як показника енергетичної ефективності та наведено його характерні значення для різних умов експлуатації.

Наведено класифікацію теплових насосів залежно від джерела низькопотенційної теплоти та виду нагріваного середовища (повітря-повітря, повітря-вода, вода-вода, ґрунт-вода), визначено їхні переваги, недоліки та сфери доцільного застосування. Обґрунтовано вплив температурних параметрів джерела та споживача теплоти на продуктивність системи.

Показано, що використання теплових насосів дозволяє суттєво знизити споживання первинних енергоресурсів, підвищити енергетичну незалежність та забезпечити екологічну безпеку систем теплопостачання. Зроблено висновок про доцільність широкого впровадження теплонасосних технологій у житловому та громадському будівництві.

Ключові слова: тепловий насос, теплопостачання, низькопотенційне джерело теплоти, коефіцієнт перетворення (COP), парокомпресійний цикл, енергоефективність, альтернативні джерела енергії, системи опалення.

Abstract

Heat pumps are considered as a promising and energy-efficient source of heat supply for buildings. The principle of operation of a vapor-compression heat pump, the features of the thermodynamic cycle and the main structural elements of the installation are analyzed. The physical essence of the coefficient of performance (COP) as an indicator of energy efficiency is revealed and its characteristic values for various operating conditions are given.

The classification of heat pumps is given depending on the source of low-potential heat and the type of heated medium (air-air, air-water, water-water, soil-water), their advantages, disadvantages and areas of appropriate application are determined. The influence of the temperature parameters of the heat source and consumer on the system performance is substantiated.

It is shown that the use of heat pumps allows to significantly reduce the consumption of primary energy resources, increase energy independence and ensure the environmental safety of heat supply systems. A conclusion is made on the feasibility of widespread implementation of heat pump technologies in residential and public construction.

Keywords: heat pump, heat supply, low-potential heat source, coefficient of performance (COP), steam-compressor cycle, energy efficiency, alternative energy sources, heating systems.

Вступ

У сучасних економічних умовах вибір оптимальної системи опалення будинку або квартири з точки зору витрат на обслуговування та її ефективності є досить актуальним. Звичні газові та твердопаливні котли стають усе дорожчими в обслуговуванні, а опалювати житло електроприладами (теплі підлоги, конвектори, інфрачервоні обігрівачі тощо) ще дорожче. Тому зараз усе частіше як на великих, так і на малих об'єктах використовується альтернативне джерело тепла, таке як тепловий насос для опалення будинку і навіть квартири.

Тепловим насосом називають пристрій, що дозволяє здійснювати перетворення і перенесення теплоти від будь-якого джерела з низькою температурою до споживача з більш високими температурними параметрами. Термодинамічний цикл і принцип роботи теплового насоса ідентичний холодильній машині або кондиціонеру. В основі даних пристроїв лежить один і той самий круговий процес – зворотний цикл Карно. Ключова різниця між даними пристроями полягає безпосередньо у призначенні обладнання та діапазоні робочих температур [1, 2].

Результати дослідження

На сьогоднішній день у світі успішно експлуатуються мільйони теплових насосів різних конструкцій і призначення. Однак найбільше поширення у сфері теплопостачання і кондиціонування будівель отримали саме парокомпресійні установки. У спеціальному теплообміннику, що називається випарником, здійснюється передача тепла від зовнішнього низькопотенційного джерела теплоти до робочого тіла теплового насоса – холодоагенту.

Низькопотенційним джерелом теплоти для теплового насоса може виступати будь-яке загальнодоступне середовище з невисокою температурою, наприклад, навколишнє повітря, ґрунт, підземні води або відкритий водойм, будь-який вторинний енергоресурс. Як холодоагент у сучасних теплонасосних установках застосовуються екологічні фреонові суміші.

Так, надходячи у випарник у рідкому стані і під низьким тиском, холодоагент теплового насоса приймає теплоту від зовнішнього джерела і випаровується, після чого у газоподібному стані потрапляє у компресор. У компресорі теплового насоса відбувається стиснення фреону з різким підвищенням його температури. При цьому основне споживання електроенергії тепловим насосом припадає якраз саме на живлення компресора [3, 4].

Після компресора стиснений і розігрітий до високих температур фреон надходить у наступний спеціальний теплообмінник – конденсатор. У конденсаторі відбувається передача перетвореного до високого потенціалу тепла від робочого тіла теплового насоса (фреону) до споживача – повітря опалюваних приміщень або теплоносія (води) системи опалення будівлі.

Передаючи тепло у конденсаторі, фреон переходить назад у рідкий стан і, після проходження через редуційний пристрій (розширювальний клапан), повертається до першого теплообмінника-випарника з початковими параметрами – низьким тиском і температурою.

Парокомпресійний цикл замикається. Таким чином, витрачаючи лише енергію на привід компресора, у тепловому насосі відбувається перетворення і передача тепла від джерела з низькою температурою до споживача з більш високим потенціалом. При цьому до теплового насоса потрібно підвести у кілька разів менше енергії, ніж можна отримати на виході.

Співвідношення кількості виробленого тепла до витраченої енергії називається коефіцієнтом перетворення теплового насоса або коефіцієнтом трансформації (позначається як COP). Для сучасних теплових насосів величина COP може досягати 5 – 5,5. Значення $COP = 5$ показує, що при підведенні до теплового насоса 1 кВт електричної енергії можна отримати 5 кВт тепла [5, 6].

COP – це спеціальна безрозмірна величина, що дозволяє оцінити ефективність використання теплового насоса, а також об'єктивно порівняти різні теплові насоси між собою.

Необхідно зазначити, що часто величину COP плутають з коефіцієнтом корисної дії (ККД) пристрою. COP теплового насоса в основному варіюється у діапазоні від 2 до 5, а ККД будь-якої установки не може бути вище 1 (більше 100%), адже у кожному процесі існують неминучі втрати і відступи від ідеальних умов. Справа у тому, що у значенні COP не враховується та кількість енергії, яка підводиться до теплового насоса від низькопотенційного джерела. Величина COP відображає ефективність трансформації тепла від джерела тепла до споживача.

Тепловий насос дозволяє використовувати загальнодоступне і «безкоштовне» зовнішнє тепло, акумульоване у ґрунті, водоймах, навколишньому повітрі. Споживачем при цьому витрачається у кілька разів менше енергії лише на електроживлення установки (робота, спрямована на перетворення теплоти від джерела). Таким чином, значення COP для споживача прийнято об'єктивно використовувати замість ККД, як величину, що показує безпосередню ефективність роботи теплового насоса.

Чим вища температура використовуваного низькопотенційного джерела і чим нижча температура нагріваного середовища, тим вища продуктивність і ефективність роботи теплового насоса. Цим обумовлюється висока ефективність застосування теплових насосів з низькотемпературними системами опалення. Так, при роботі з радіаторним опаленням, COP теплового насоса приблизно дорівнює 3,5. При роботі теплового насоса з низькотемпературною системою, наприклад, підлоговим опаленням, COP досягає величини 4,5 – 5,1. Тобто, у випадку з підлоговим опаленням тепловий насос буде споживати на 30...40% менше електричної енергії у порівнянні з варіантом застосування звичайної радіаторної системи [7].

Залежно від використовуваного джерела тепла, а також нагріваного (охолоджуваного) середовища розрізняють наступні теплові насоси: повітря-повітря, повітря-вода, вода-вода, ґрунт-вода тощо. Розглянемо особливості пристрою та експлуатації основних типів теплових насосів [8].

Теплові насоси типу «повітря-повітря» використовують енергію найбільш загальнодоступного джерела тепла – навколишнього повітря, нагріваючи при цьому повітря опалюваних приміщень.

Найпоширеніший приклад такого теплового насоса – побутовий кондиціонер з функцією обігріву. Особливо популярні такі теплові насоси у країнах з більш теплим кліматом, де немає необхідності встановлення повноцінної системи опалення, а функція обігріву потрібна лише у короткочасні періоди року [11].

Основні переваги даного типу обладнання: легкість монтажу і відносно невисока вартість, можливість роботи як у режимі опалення, так і у режимі кондиціонера без встановлення додаткових приладів.

Основний недолік: ефективність роботи теплового насоса, що використовує як джерело тепла зовнішнє повітря, залежить від температури останнього.

Теплові насоси, що також використовують як джерело тепла зовнішнє повітря, але як нагріване середовище виступає теплоносієм водяної системи опалення або гарячого водопостачання будівлі. Випускаються моделі як невеликої потужності у кілька кіловат, так і промислові установки високої продуктивності. Можуть працювати і в режимі нагріву, і в режимі охолодження [9].

Ефективність роботи таких теплових насосів співставна з моделями «повітря-повітря». Мінімальна робоча температура зовнішнього повітря -25°C , максимальна температура нагріваного теплоносія $+65^{\circ}\text{C}$. Середньорічний коефіцієнт перетворення для систем «повітря-вода» дорівнює приблизно 3, при цьому у теплий період року значення COP може дорівнювати 5 і вище.

Переваги: легкість монтажу, можливість інтеграції у загальну бівалентну систему практично з будь-яким діючим джерелом тепла, розвинена система автоматики.

Недоліки: обмеження за використовуваною температурою, зниження продуктивності при від'ємних температурах зовнішнього повітря. Такі теплові насоси найчастіше використовуються у системах опалення і гарячого водопостачання разом із традиційними джерелами тепла, такими як дизельний, електричний або газовий котел.

Теплові насоси, що використовують як джерело тепла енергію, акумульовану у ґрунті – найбільш дорогі у монтажі, але й найбільш надійні та ефективні джерела теплопостачання серед теплонасосних установок. Випускаються теплові насоси у широкому діапазоні потужностей – від компактних теплових насосів для приватних житлових будинків продуктивністю у кілька кіловат до каскадних промислових пристроїв потужністю у сотні кіловат [10].

Температура ґрунту на глибині залишається постійною протягом усього року і практично не піддається сезонним впливам. Залежно від типу геотермального контуру розрізняють теплові насоси з вертикальним контуром – свердловинами, і горизонтальним – з укладанням у землі замкнутого горизонтального контуру. У першому випадку у пробурені свердловини опускаються U-подібні зонди, кількість і глибина свердловин залежать від теплової потужності встановлюваного обладнання. У випадку горизонтального укладання – геотермальний колектор петлями укладається по території на глибині, що перевищує глибину промерзання ґрунту (1,2...1,5 м).

Теплові насоси «ґрунт-вода» також здатні працювати і як кондиціонер влітку, буквально «закачуючи» у землю тепло і охолоджуючи будівлю. Окрім ґрунту горизонтальний геотермальний контур може бути укладений і на дно водойми [5, 6].

Теплові насоси «розсіл-вода» можуть працювати не лише з улаштуванням геотермального контуру, вони також дозволяють раціонально використовувати енергію вторинних ресурсів, наприклад, на підприємствах, відбирати тепло від каналізаційних стоків, систем водопостачання і водовідведення, технологічних рідин тощо.

COP теплових насосів «ґрунт-вода» залишається практично незмінним протягом усього часу експлуатації обладнання і становить для сучасних установок близько 3,5 – для високотемпературних систем опалення, і від 4,5 до 5 – для низькотемпературного опалення.

Переваги: можливість використання теплового насоса як основного і єдиного джерела теплопостачання будинку, надійність, повна автономність системи і автоматизація усіх процесів, висока ефективність роботи.

Недоліки: дорожняча монтажу вертикального контуру або необхідність наявності великої території для горизонтального укладання геотермального колектора.

Різновид теплових насосів, що дозволяють здійснювати відбір тепла від води без організації проміжного контуру, наприклад, з улаштуванням системи переливних свердловин, або з використанням води як проміжного теплоносія замість розсолного розчину. Умовно даний тип теплових насосів можна віднести до попередніх установок «грунт-вода» і «розсіл-вода» [12].

Висновки

Таким чином, використання теплових насосів має ряд переваг.

Автоматика теплового насоса дозволяє обігрівати будинок протягом усього опалювального сезону повністю автономно, без участі людини.

Можливість віддаленого контролю та управління: сучасні теплові насоси дозволяють здійснювати контроль і управління системою опалення будинку через мережу Інтернет.

Безпека та екологічність. Відсутність пожежонебезпечних процесів горіння органічного палива з появою шкідливих продуктів згоряння.

Надійність і довговічність. Тепловий насос окупиться приблизно за 6 сезонів, гарантія постачальників теплових насосів на обладнання становить від 1 до 5 років. Розрахунковий строк служби теплонасосного обладнання 20...30 років.

Тиха робота. За рівнем шуму під час роботи тепловий насос співставний з холодильником.

Можливість монтажу у будь-яких приміщеннях: для встановлення теплового насоса не потрібне спеціалізоване приміщення з окремим входом, тепловий насос може бути встановлений навіть на кухні або у ванній кімнаті.

Мінімальні витрати на технічне обслуговування: відсутність додаткових витрат на обслуговування системи у процесі експлуатації, окрім оплати за спожиту електроенергію.

Економічна ефективність. Тепловий насос споживає у середньому у 4 рази менше електроенергії, ніж електричний котел аналогічної потужності. Експлуатаційні витрати співставні з вартістю газу при роботі газового котла.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Редько А.О., Безродний М.Н., Загорученко М.В., Редько О.Ф., Ратушняк Г.С., Хмельнюк М.І. Низькопотенціальна енергетика. Навчальний посібник. Харків, 2016 - 412 с.
2. Г.Г. Півняк. Традиційні та нетрадиційні системи енергозабезпечення урбанізованих і промислових територій України: моногр. / Г.Г. Півняк, О.С. Бешта, М.М. Табаченко та ін.; під заг. ред. Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 333 с.
3. Бобров Є. А. Енергетична безпека держави / Є. А. Бобров ; Ун-т економіки та права, ВНЗ —КРОКІ. – Київ, 2013. – 306 с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2050 року: офіц. текст станом на 21.04.2023 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>.
5. Слободян Н. М., Ободянська О. І., Гончарук В. О. Теплопостачання на базі теплонасосних систем: техніко-економічна оптимізація у разі забору тепла з водотоків // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2025. № 3. С. 63–71.
6. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технікотехнологічний та екологічний аспекти: монографія / Горбань В.Б., Макаренко П.М., Калініченко О.В., Аранчій В.І. та інші. – Полтава: ПП «Астроя», 2019. – 312 с.
7. Слободян Н. М., Ободянська О. І., Гончарук В. О. Вибір повітряних теплових насосів для систем автономного теплопостачання // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2025. № 1. С. 176–184.
8. Екологічні проблеми при використанні альтернативних джерел енергії / О.І. Ободянська, В.В. Грибик // Лі науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15191>.
9. Особливості функціонування теплових насосів в системах тепло- та холодопостачання / О.І. Ободянська, А.С. Бровко // Лі науково-технічна конференція ФБТЕГП ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/11737>.
10. Теплові насоси та холодильні машини: принципи роботи та відмінності / О.І. Ободянська, В.В. Печій, Б.С. Шкробот // LIV науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2025. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24043>
11. Альтернативні джерела енергії, як енергоносії / О.І. Ободянська, О.А. Іванов, К.Р. Войновський // Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність в галузях економіки України» (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egau/egau2021/paper/view/13932>.
12. Енергоефективні стратегії теплопостачання будівель: інтеграція централізованих та автономних систем / Г.С. Ратушняк, О.І. Ободянська, О.С. Кирилюк // Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність в галузях економіки України» (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2025. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egau/egau2025/paper/viewFile/26276/21665>

Ободянська Ольга Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Майструк Владислава Романівна – здобувач групи СМ-23б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: majstrukvladislava@gmail.com.

Гарбузюк Емілія Федорівна – здобувачка групи ТГ-25м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: eye.em6989@gmail.com.

Obodyanska Olha – PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Maistruk Vladyslava – student group SM-23b of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: majstrukvladislava@gmail.com.

Harbuziuk Emiliia – student group TG-25 of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: eye.em6989@gmail.com.