

## ТЕПЛОВІ НАСОСИ ТА ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ: ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ВІДМІННОСТІ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Розглядаються принципи роботи теплових насосів і холодильних машин, їхні конструктивні особливості та функціональні відмінності. Аналізується процес переходу між режимами роботи цих систем за допомогою клапана оборотності циклу, що дозволяє змінювати призначення випарника і конденсатора. Наведено порівняння ефективності різних типів теплових насосів залежно від джерела тепла (повітря, вода, ґрунт) та їхніх експлуатаційних характеристик. Особливу увагу приділено рентабельності використання теплових насосів, критеріям їх вибору та впливу зовнішніх факторів на продуктивність системи. Розглянуто перспективи розвитку технологій у сфері енергоефективного теплопостачання та охолодження.

**Ключові слова:** енергоефективність, теплові насоси, холодильні машини, джерело тепла, рентабельність, опалення, охолодження, холодоагент, компресор, теплообмінник.

### Abstract

The principles of operation of heat pumps and chillers, their design features and functional differences are discussed. The process of switching between the operating modes of these systems using a cycle reversal valve, which allows changing the purpose of the evaporator and condenser, is analysed. The article compares the efficiency of different types of heat pumps depending on the heat source (air, water, soil) and their performance characteristics. Particular attention is paid to the profitability of heat pumps, the criteria for their selection and the impact of external factors on system performance. The prospects for the development of technologies in the field of energy-efficient heating and cooling are considered.

**Keywords:** energy efficiency, heat pumps, refrigeration machines, heat source, profitability, heating, cooling, refrigerant, compressor, heat exchanger.

### Вступ

Теплові насоси використовують електричну енергію значно ефективніше будь-яких котлів, які спалюють паливо. Використання теплових насосів дозволяє знизити витрати на опалення в 2-3 рази порівняно з газовими або електронагрівальними системами. Відсутність шкідливих викидів  $\text{CO}_2$  у процесі експлуатації робить теплові насоси екологічно безпечнішими ніж більшість традиційних систем опалення. Можливість інтеграції з відновлюваними джерелами енергії, наприклад, сонячними панелями, робить теплові насоси доречними в застосуванні, та спрощують процес перетворення електричної енергії в теплову [1].

Можливість роботи з різними джерелами тепла, такими як повітря, вода, ґрунт, та використання для різних цілей, таких як опалення, охолодження та гаряче водопостачання робить теплові насоси досить універсальними. Завдяки середньому терміну служби в 15-25 років вони мають мінімальні витрати на технічне обслуговування у порівнянні з традиційними котлами. Для України теплові насоси є ефективною альтернативою традиційним системам опалення та кондиціонування повітря. Вони використовують енергію навколишнього середовища (повітря, воду або ґрунт) для обігріву або охолодження приміщень [1, 2].

### Результати дослідження

Якщо холодильна система використовується по черзі для виробництва корисного холоду, а потім для виробництва корисного тепла, то вона називається відповідно холодильною машиною або тепловим насосом. Перехід від роботи в режимі холодильної машини до роботи в режимі теплового

насоса відбувається за допомогою клапана оборотності циклу, при цьому випарник стає конденсатором, і навпаки [3].

Тепловий насос – це машина, яка під час здійснення над нею роботи здатна перенести тепло від більш холодного до більш гарячого тіла. Повна кількість отриманого тепла кратна тепловому еквіваленту витраченої роботи. Наприклад, за деяких умов тепловий насос із компресором, що має як привід електродвигун потужністю 1 кВт, може забезпечити теплову потужність 3 кВт, хоча відомо, що просте виділення тепла на опорі за електричної потужності 1 кВт не може бути більшим за 1 кВт. Повна теплова потужність складається з двох частин: тепла, що переноситься з низького температурного рівня на високий температурний рівень, і теплового еквівалента роботи, що здійснюється двигуном компресора [1 – 4].

З погляду конструкції тепловий насос повністю подібний до холодильної машини, і принципи їхньої роботи однакові. Однак у випадку теплового насоса більше цікавить не виробництво холоду у випарнику, а виробництво тепла в конденсаторі [5].

Тепловий насос складається здебільшого, як і холодильна машина, з компресора, конденсатора, випарника та регулювального вентиля. Компресор всмоктує пари холодоагенту, що надходять із випарника, і стискає їх до більш високого тиску. Тепло, необхідне для перетворення холодоагенту на пару, відводиться від середовища, в якому знаходиться випарник. Це середовище, отже, є джерелом тепла (в цій якості виступає холодне джерело), яким може бути повітря, вода або ґрунт. Передача тепла, відібраного від джерела тепла, як і теплового еквівалента роботи компресора, відбувається в конденсаторі. Це тепло може використовуватися для різних цілей, наприклад для нагрівання води. Перетворившись на рідину після конденсації, холодоагент проходить через пристрій розширення, в якому його тиск знижується до тиску випаровування, і цикл повторюється [5, 7, 8].

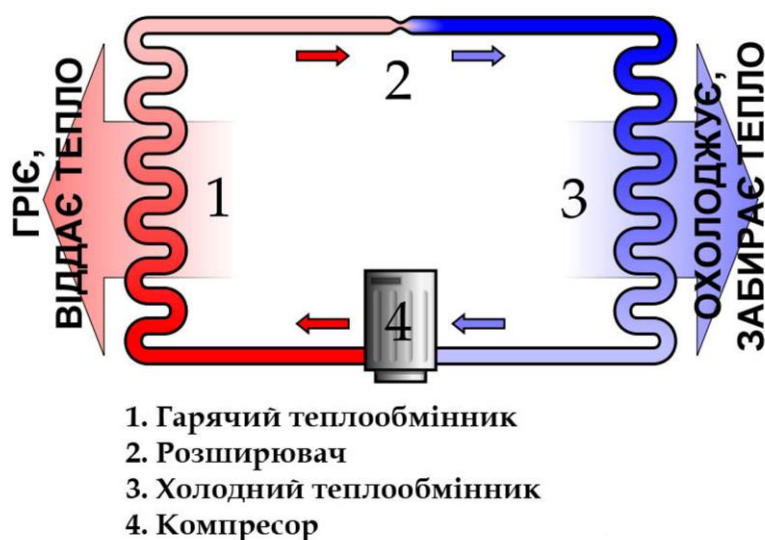


Рис. 1. Принцип дії теплового насоса

Зазвичай теплові насоси класифікують залежно, з одного боку, від природи джерела тепла та, з іншого боку, від середовища, якому передається тепло, що виділяється в конденсаторі. Тому розрізняють теплові насоси: повітря/повітря, повітря/вода, вода/повітря, вода/вода, ґрунт/повітря, ґрунт/вода, де джерело тепла завжди вказується першим [6, 7, 8].

Теплові насоси використовують зовнішнє повітря як джерело тепла, та передають тепло безпосередньо в повітря приміщення. До переваг таких теплових насосів можна віднести порівняно низьку вартість, досить швидко установку та можливість реверсу для охолодження. Проте великим недоліком таких систем є залежність від температур, адже при температурах нижче  $-15^{\circ}\text{C}$  ефективність значно знижується [1, 2, 3].

Ґрунтові теплові насоси використовують тепло ґрунту через горизонтальні або вертикальні колектори. Такі системи передають тепло ґрунту в систему опалення, або використовують геотермальне тепло для обігріву повітря в приміщенні. Ці теплові насоси такі переваги як висока стабільність ККД, ефективна робота незалежно від погоди та висока довговічність. До недоліків

грунтових систем можна віднести високу вартість установки, потребу в земельній ділянці та складний процес монтажу [1, 3].

Водяні теплові насоси використовують тепло підземних або поверхневих вод перекачуючи тепло водою або свердловин у систему опалення. Водяні теплові насоси є високоефективними, незалежними від сезонних змін температури та високу продуктивність, що робить їх ефективнішими ніж повітряні та дешевшими за ґрунтові теплові насоси. Ці переваги супроводжуються низкою недоліків таких як, доступ до водяного джерела, потреба в додатковому очищенні та обслуговуванні системи, додаткове споживання електроенергії на перекачування води, потрібен дозвіл на водозбір [7].

У кожній із цих груп можна також розрізнити моноблочні та двоблочні теплові насоси, останні називаються рознесеними системами. Вони складаються з двох частин: групи випарник-компресор, з одного боку, і конденсатор – з іншого; ці дві частини пов'язані між собою трубопроводами. Перевага такого рішення полягає в тому, що полегшується завдання розміщення конденсатора, оскільки для зниження шуму випарник і компресор можна розташовувати поза приміщенням [5, 11].

Рішення про створення теплового насоса має бути прийнято в результаті спеціального розгляду з урахуванням його рентабельності, яка залежить, зокрема, від того, чи виконуються такі умови [5, 9, 10]:

- невелика різниця між необхідною температурою корисного тепла і температурою джерела тепла, наявного в розпорядженні;

- рівень температури джерела тепла якомога вищий;

- температура джерела тепла, наскільки можливо, постійна в часі;

- необхідні витрати на введення в експлуатацію не більше 10-15% повної вартості установки для нагрівання;

- робота додаткових насосів і вентиляторів (між теплообмінником біля джерела тепла і випарника, між конденсатором і одним або декількома теплообмінниками, розташованими в середовищі, що охолоджується) повинна призводити тільки до дуже малого додаткового споживання енергії, з одного боку, щоб не збільшувати марно експлуатаційні витрати, і, з іншого боку, щоб не знижувати різко коефіцієнт перетворення;

- використовувані середовища між теплообмінником, розташованим біля джерела тепла, і випарником, між конденсатором і пристроями, що передають тепло, не повинно впливати на них ні хімічно, ні фізично, щоб уникнути будь-яких явищ корозії, забруднення і феризації.

Можна використовувати як джерело тепло, яке постачається конденсатором холодильної машини, при цьому тепловий насос вводиться до складу холодильної машини. Злиття контурів холодильної машини і теплового насоса може бути виконано двома способами [1, 5, 7]:

- якщо холодильна машина і тепловий насос працюють з одним і тим самим холодоагентом, з'єднання двох контурів може здійснюватися термічно за допомогою теплообмінника відкритого типу;

- якщо, з термодинамічних причин, тепловий насос і холодильна установка працюють з різними холодоагентами, то з'єднання двох контурів повинно здійснюватися за допомогою теплообмінника закритого типу, точно так само, як у каскадних холодильних машинах.

Якщо в останньому випадку один із контурів працює з аміаком, а другий – з іншим холодоагентом, то необхідно на етапі попереднього проєктування враховувати наслідки випадкового витоку аміаку і потрапляння його в контур іншого холодоагенту.

Ділянка високого тиску холодильної машини є джерелом тепла для теплового насоса. Перегріті газу, що нагнітаються компресором холодильної машини, відводяться до сепаратора теплового насоса, що грає одночасно роль проміжного охолоджувача і випарника. Там перегріті пари віддають частину свого тепла рідкому холодоагенту, що надходить із регульовального вентиля теплового насоса. Це сприяє перетворенню холодоагенту на пару.

Насичені пари в контурі теплового насоса всмоктуються потім компресором, після чого стискаються до тиску конденсації в тепловому насосі. Цей тиск конденсації залежить від використовуваного холодоагенту в тепловому насосі, а також від необхідного рівня температури під час виробництва корисного тепла [7, 8].

## Висновки

Теплові насоси та холодильні машини мають однаковий принцип роботи, однак їх основне функціональне призначення відрізняється. Теплові насоси використовуються для нагрівання, а холодильні машини – для охолодження. Основним елементом, що забезпечує зміну режимів роботи

системи, є клапан оборотності циклу, який дозволяє змінювати ролі випарника і конденсатора. Ефективність теплового насоса значною мірою залежить від джерела тепла. Найвищу стабільність і продуктивність демонструють ґрунтові та водяні теплові насоси, тоді як повітряні значно втрачають ефективність при низьких температурах. Вибір теплового насоса має базуватися на аналізі економічної доцільності, доступності джерела тепла, вартості монтажу та експлуатації, а також екологічних чинниках. Поєднання контурів теплового насоса і холодильної машини можливе для підвищення ефективності використання енергії, однак вимагає ретельного проєктування та врахування характеристик холодоагентів. Подальший розвиток технологій у сфері теплових насосів спрямований на підвищення їхньої ефективності, зниження впливу на довкілля та розширення сфер застосування.

## 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. 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 «Астрія», 2019. – 312 с.
6. 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>.
7. Особливості функціонування теплових насосів в системах тепло- та холодопостачання / О.І. Ободянська, А.С. Бровко // L 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>.
8. Використання енергії навколишнього середовища за допомогою теплових насосів / О.І. Ободянська, О.А. Іванов, К.Р. Войновський // Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10834>.
9. 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/egeu/egeu2021/paper/view/13932>.
10. Енергоефективні будинки та споруди / О.І. Ободянська, В.В. Грибик, А.Я. Панченко // 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/egeu/egeu2021/paper/view/14058>.
11. "Зелене" будівництво як новий етап еволюції будівельної галузі / О.І. Ободянська // XLIX науково-технічна конференція ФБТЕГП (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/9104>

**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](mailto:olha.obodyanska@i.ua).

**Печій Вадим Вадимович** – студент групи СМ-21б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: [vadumka2002@gmail.com](mailto:vadumka2002@gmail.com).

**Шкробот Богдан Сергійович** – студент групи СМ-22б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: [bshkrobot1@gmail.com](mailto:bshkrobot1@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](mailto:olha.obodyanska@i.ua).

**Pechiy Vadym** – student group SM-21b of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: [vadumka2002@gmail.com](mailto:vadumka2002@gmail.com).

**Shkrobot Bohdan** – student group SM-22b of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: [vladmoldiuk237@gmail.com](mailto:vladmoldiuk237@gmail.com).