

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.577:658

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.06>

ТЕПЛОВІ НАСОСИ ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ МАШИНОБУДУВАННЯ

М.В. Босий

старший викладач кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва
Центральноукраїнський національний технічний університет,
Кропивницький, Україна
ORCID ID: 0000-0002-3090-0427

Анотація

Вступ. У статті розглядається проблема використання теплових насосів (ТН), що працюють на альтернативних джерелах енергії для теплопостачання та гарячого водопостачання будівель підприємств машинобудування. У своїй роботі ТН використовують низькопотенційну теплоту повітря, водойм і надр землі. **Метою** роботи є обґрунтування та дослідження доцільності використання ТН на підприємствах машинобудування. **Результати.** Виконано аналіз характеристик ТН, що працюють з різними джерелами низькопотенційної теплоти. Визначено фактори, які впливають на енергетичну ефективність ТН, оцінені особливості роботи ґрунтових, водяних та повітряних ТН для кліматичних умов України. Проаналізовано вплив тривалості температур повітря різних величин на теплопродуктивність ТН. Для підвищення ефективності роботи теплонасосної системи запропоновано схему вилучення низькопотенційної теплоти з використанням ґрунтового ТН і повітряного теплообмінника. На підставі проведених досліджень встановлено, що перевагою повітря як теплоносія, є те, що повітряні ТН можуть працювати практично повсюди і не вимагають облаштування низькотемпературного контуру. Перспективним способом підвищення ефективності ТН при річному циклі його роботи є комбіноване використання низькопотенційної теплоти ґрунту та повітря. Теплонасосна система з двома джерелами енергії забезпечує високу теплопродуктивність ТН протягом всього року і має більш високий показник енергетичної ефективності у порівнянні з традиційними рішеннями. ТН мають значну перевагу перед іншими теплоенергетичними установками. Вони споживають енергію поновлюваних джерел, знижують витрати на електропостачання більш, ніж в половину – це повністю автоматизований пристрій. **Висновки.** Використання ТН для утилізації низькопотенційних теплових потоків економічно вигідно. Аналіз ефективності систем теплопостачання показує, що в сучасних економічних умовах тенденція систем теплопостачання може розвиватися в наступних напрямках: застосування парокомпресійних

ТН, використання вторинних енергоресурсів промислових підприємств машинобудування, підвищення теплотехнічних характеристик будівель. Модернізація із застосуванням даних заходів може суттєво підвищити економічні і технічні характеристики тепlopостачального обладнання для будівель підприємств машинобудування.

Ключові слова: тепловий насос, термодинамічний цикл, тепла енергія, низькопотенційне джерело теплоти, системи тепlopостачання, коефіцієнт трансформації.

HEAT PUMPS FOR HEAT SUPPLY AND HOT WATER SUPPLY OF MARITIME TRANSPORT COMPANIES

M.V. Bosyi

Senior Lecturer at the Department of Materials Science and Foundry
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-3090-0427

Summary

Introduction. *The article examines the problem of using heat pumps (TN) operating on alternative energy sources for heat supply and hot water supply of buildings of machine-building enterprises. **The purpose of the work** is to substantiate and investigate the expediency of using TN at machine-building enterprises. **The results.** An analysis of the characteristics of TNs operating with various sources of low-potential heat was performed. The factors affecting the energy efficiency of TN are determined, the peculiarities of the operation of soil, water and air TN for the climatic conditions of Ukraine are evaluated. The influence of the duration of air temperatures of different values on the thermal productivity of TN was analyzed. In order to increase the efficiency of the heat pump system, a scheme for extracting low-potential heat with the use of soil TN and an air heat exchanger is proposed. On the basis of the conducted research, it was established that the advantage of air as a heat carrier is that air heaters can work almost everywhere and do not require the arrangement of a low-temperature circuit. A promising way to increase the efficiency of the TN during the annual cycle of its operation is the combined use of low-potential heat of the soil and air. A heat pump system with two sources of energy ensures high thermal productivity of the heating system throughout the year and has a higher energy efficiency index compared to traditional solutions. TNs have a significant advantage over other thermal power plants. They consume energy from renewable sources, reduce electricity costs by more than half. It is a fully automated device. **Conclusions.** The use of TN for the disposal of low-potential heat flows is economically beneficial. The analysis of the efficiency of heat supply systems shows that in modern economic conditions, the trend of heat supply systems can develop in the following directions: the use of steam-compression heating systems, the use of secondary energy resources of industrial engineering enterprises, and the improvement of the thermal characteristics of buildings. Modernization with the application of these measures can significantly improve the economic and technical characteristics of heat supply equipment for buildings of machine-building enterprises.*

Key words: heat pump, thermodynamic cycle, thermal energy, low-potential heat source, heat supply systems, transformation coefficient.

Вступ. Натепер зі скороченням запасів твердих, рідких і газоподібних видів органічного палива та зростанням цін на енергоносії, як в Україні, так і у світі в цілому, необхідно на сучасному етапі використовувати та впроваджувати найновіші технології з використанням відновлювальних альтернативних природних джерел енергії, які відкривають для сьогодення можливість до енергозбереження і зменшення викидів парникових газів в довкілля – це теплові насоси [1–9].

На теперішньому етапі розвитку енергоефективних екологічно чистих теплонасосних технологій для систем теплопостачання сучасним екологічним та найефективнішим джерелом енергії для системи опалення є використання енергії землі, що міститься у повітрі, ґрунті та воді. Тому ТН типу «повітря–вода», «ґрунт–вода» і «вода–вода» працюють з високими показниками ефективності і за опалювальний період заощаджують до 70% коштів у порівнянні із традиційною системою опалення газовим котлом, що є вигідною інвестицією на майбутнє [9–15].

Постановка проблеми. Використання для теплопостачання традиційних джерел енергії потребує відповідних фінансових затрат зі скороченням запасів твердих, рідких і газоподібних видів органічного палива та зростанням цін на енергоносії. Тому, необхідно впроваджувати теплонасосні технології з використанням поновлюваних альтернативних джерел енергії, які відкривають можливість до енергозбереження і зменшення викидів парникових газів в атмосферу. Проблема зниження затрат на опалення та гаряче водопостачання актуальна натепер і для підприємств машинобудування [12–15].

Підвищення енергоефективності ТН, які використовують геотермальну теплоту, в наш час є одним із найважливіших питань для подальшого розвитку та впровадження технологій застосування відновлювальних джерел енергії в системах теплопостачання і також для підприємств машинобудування [13–15].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ТН сприяють зменшенню використання органічного палива шляхом заміщення первинної енергії вторинними енергетичними ресурсами, є одним з перспективних напрямків розвитку сучасної енергетики і знаходиться в центрі уваги зарубіжних і українських дослідників. В країнах Європи, Америки та Азії ТН використовуються більше 35 років для теплопостачання житлових і офісних будівель, а також різних приміщень. Найбільші енергетичні компанії займаються проектуванням, виготовленням і впровадженням ТН. Міжнародне Енергетичне Агентство (МЕА), в яку асоційованими членами входять 28 енергетично розвинених країн і метою діяльності якого є забезпечення енергетичної безпеки і пошук шляхів поліпшення екологічної ситуації є головним координатором політики впровадження ТН. Досвід зарубіжних країн, таких як Швеція, Фінляндія, Німеччина і інших доводить доцільність застосування ТН. При проектуванні та реконструкції сучасних систем теплопостачання необхідно враховувати можливість використання технології ТН. Застосування ТН в комплексі з традиційною стемою теплопостачання для систем опалення, кондиціонування і вентиляції великих об'єктів забезпечує повну автономність зон регулювання та істотну економію паливно-енергетичних ресурсів навіть при використанні традиційних джерел енергії [13–15].

Термодинамічний цикл теплового насосу аналогічний холодильній машині, але навпаки. У тепловому насосі конденсатор є теплообмінним апаратом, що

виділяє теплоту для споживача, а випарник – теплообмінним апаратом, що утилізує низькопотенційну теплоту (вторинні енергетичні ресурси і нетрадиційні поновлювані джерела енергії). Залежно від принципу роботи ТН поділяються на компресійні і абсорбційні. Компресійні теплові насоси завжди приводяться в дію за допомогою механічної енергії (електроенергії), у той час, як абсорбційні ТН можуть також використовувати теплоту в якості джерела енергії (за допомогою електроенергії або палива). Найбільше розповсюдження отримали компресійні ТН [13–16]. Принципова схема теплового насоса наведена на рис. 1.

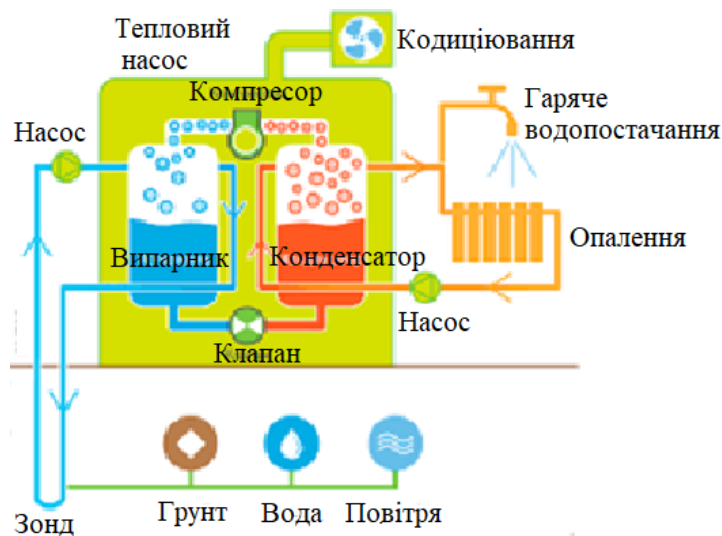


Рис. 1. Принципова схема ТН [7; 13–15]

Формулювання цілей статті. Метою статті є обґрунтування та дослідження доцільності використання ТН на підприємствах машинобудування.

Виклад основного матеріалу. Залежно від джерела відбору низькопотенційної теплоти ТН поділяють на: геотермальні ґрунтові (ґрунт-вода), водяні (вода-вода) та повітряні (повітря-вода), а також ТН, які використовують вторинну теплоту. Горизонтальний колектор у геотермальних ТН, які використовують теплоту землі, наземних або підземних ґрунтових вод, ґрунту розміщується кільцями або спіралями нижче глибини промерзання ґрунту (зазвичай від 1,5 м і більше) з розрахунку: один метр труби еквівалентний 25–35 Вт. Труби заповнюються антифризом (розчин пропілен-гліколю). Відстань між трубами повинна бути не менше 0,5–0,6 м. Після нескладних математичних підрахунків визначаємо, що для отримання 15 кВт енергії, буде потрібно контур довжиною 350–550 метрів. Контур укладається досить компактно, займаючи приблизно до 650 квадратних метрів площі. Такий спосіб є найбільш економічно ефективним для об'єктів підприємств машинобудування за умови відсутності дефіциту земельної площі під контур [17; 18].

Колектор геотермального ТН може розміщуватись і вертикально в свердловині, кожен метр труби буде дорівнювати 55–65 Вт енергії. Для нормальної

роботи геотермального насоса потужністю 15 кВт, буде потрібно створити контур загальною глибиною 180–250 м. Труби заповнюються, як правило, антифризом (розчин пропілен–гліколю). Свердловина заповнюється ґрунтовими водами природним шляхом і вода передає теплоту до теплоносія. При недостатній довжині свердловини або спробі отримати від ґрунту надлишкову потужність, ця вода і, навіть, антифриз можуть замерзнути, що і обмежує максимальну теплову потужність таких систем. Цей спосіб застосовується у випадках, коли площа земельної ділянки не дозволяє розмістити контур горизонтально [14; 15; 19; 20].

Геотермальний ТН з вертикальним контуром (система «ґрунт-вода»), в якому колектор розміщується спіралями або кільцями у водоймі (морі, озері, ставку, річці) нижче глибини промерзання. Такий варіант є ідеальним за всіма показниками: короткий контур, найбільш висока температура навколишнього середовища, як наслідок висока ефективність роботи. Один метр труби підводного контуру дорівнює 35 Вт теплової енергії. Для отримання 15 кВт теплоти, потрібно 350 метра контурної труби. Це найбільш дешевий варіант, але є вимоги по мінімальній глибині і обсягу води у водоймі для конкретного регіону підприємств машинобудування. Геотермальний ТН з притопленим контуром (система «вода-вода») – водні (ґрунтові води). Ґрунтові води є кращим джерелом енергії, завдяки тому, що навіть в зимовий час температура цього ресурсу не опускається нижче негативної позначки та знаходиться в діапазоні від +5 до +15 °С. ТН, які отримують енергію від ґрунтових вод, мають найбільш високий ККД. Проходячи через нього, вода віддає свою теплоту [20].

Повітряні ТН використовують як джерело низькопотенційної теплової енергії повітря. Причому джерелом теплоти може бути не тільки зовнішнє (атмосферне) повітря, а й витягнє вентиляційне повітря (загальнообмінної або місцевої) вентиляції будівель підприємств машинобудування. Даний ТН не вимагає монтажу підземного чи підводного контуру. Як правило, установки даного типу використовуються в тому випадку, коли інші варіанти відбору теплоти не можуть бути реалізовані. Теплова енергія повітря використовується до позначки –15 °С. При великих морозах і температурі нижче цього показника, використовується додатковий теплогенератор. Для ТН Heloitem, які мають робочий діапазон температур від –25 до +45 °С додатковий теплогенератор не потрібний [21]. Існують також повітряні ТН, які відбирають низькопотенційну теплоту з повітря і використовують його для обігріву приміщень в будинку за допомогою повітряної каналної системи (система «повітря-повітря»). Особливість даного типу повітряного ТН в тому, що вони працюють або в режимі нагріву, або в режимі охолодження. Повітряне опалення використовується в офісних будівлях, торгових центрах, промислових і складських приміщеннях [22].

ТН, які використовують вторинну теплоту (наприклад, теплоту трубопроводу центрального опалення, вентиляційні викиди тощо) є найбільш доцільним варіантом для промислових об'єктів машинобудування, де є джерела скидної теплоти, які вимагають утилізації. Одним з найефективніших джерел даного типу є використання відпрацьованої теплоти повітряних та холодильних компресорів, оскільки вона має високу температуру. За останні роки в різних засобах масової інформації, включаючи Інтернет видання, з'явилися численні публікації, що

стосуються використання технології ТН в системах опалення і гарячого водопостачання об'єктів різної сфери – від окремих будинків до житлових мікрорайонів [3; 7; 10–15; 19–22]. Внаслідок зниження питомих тепловтрат будівлі актуальною стала тематика низькопотенційних систем опалення. Актуалізація сталася через те, що знизилися розрахункові температурні режими систем, а це спричинило зменшення габаритних розмірів опалювальних приладів (у більшості випадків радіаторів). Основною перевагою ТН є можливість перемикання з режиму опалення взимку на режим кондиціонування влітку: просто замість радіаторів до зовнішнього колектору підключаються фанкойли або (система «холодні стелі»).

ТН надійний, його роботою керує автоматика. В процесі експлуатації система не потребує спеціального обслуговування. ТН компактний (його модуль за розмірами не перевищує звичайний холодильник) і практично безшумний. Період окупності ТН становить 4–6 років, при терміні служби 15–20 років до капітального ремонту. Реальні значення ефективності сучасних ТН становлять близько $COP = 2,5$ при температурі джерела теплоти $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і порядку $COP = 5,5$ при температурі джерела теплоти $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Всі, навіть, найефективніші ТН нагрівають воду в системі опалення не більше $+62\dots+65\text{ }^{\circ}\text{C}$, причому, чим вище температура води, що нагрівається, тим менше ефективність і надійність ТН. Якщо теплоти із зовнішнього контуру все ж недостатньо для опалення в сильні морози, практикується експлуатація ТН в парі з додатковим генератором теплоти (в таких випадках це використання бівалентної схеми опалення). Коли вулична температура опускається нижче розрахункового рівня (температури бівалентності), в роботу включається другий генератор теплоти – найчастіше невеликий електронагрівач, рідше газовий або твердопаливний котли. Оптимальна потужність теплонасосної установки становить 60–70 % від необхідної встановленої потужності, що також впливає на закупівельну вартість установки опалення ТН. В цьому випадку ТН забезпечує не менше 95 % потреби споживача в тепловій енергії за весь опалювальний період. При такій схемі середньосезонний коефіцієнт перетворення енергії для кліматичних умов України дорівнює порядку $COP = 3$ [19; 20; 22; 23].

Найвні ресурси теплової енергії довкілля багаторазово перевищують прогнозований рівень споживання всіма секторами промисловості України. На сьогоднішній день для вирішення проблем енергозбереження ТН є найбільш перспективним серед джерел нетрадиційної енергетики. Використання відновлювальних джерел енергії дає можливість обмежити використання традиційних видів палив, зменшити забруднення довкілля. Температурні рівні основних джерел теплоти: зовнішнє повітря $+5\dots+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, витяжна вентиляція $+15\dots+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, озерна вода $0\dots+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, річкова вода $0\dots+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, морська вода $+3\dots+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, ґрунт $0\dots+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, ґрунтові води $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$, геотермальна вода $+20\dots+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6; 9; 10; 17].

ТН компанії Heliotherm зарекомендували себе як високоякісні, ефективні та надійні джерела теплоти, вони включають в себе повітряні, ґрунтові та водяні ТН. Їх переваги: екологічність (абсолютно безпечні для навколишнього середовища); високий коефіцієнт перетворення ($COP = 5 - 7$ в залежності від виду ТН); система три в одному (опалення, гаряче водопостачання і охолодження будівлі); можливість дистанційного керування (функція Web-control) довговічність

конструкції; низький рівень шуму (до 55 дБ); можливість повної енергонезалежності (поєднання ТН з сонячною електростанцією).

ТН HelioTerm мають наступні модифікації [21]:

1. ТН «повітря-вода» Comfort Compact (теплова потужність 8–18 кВт, COP = 4,0 – 5,0) використовуються для опалення та гарячого водопостачання приватних будинків.

2. ТН «повітря-вода» Basic Comfort у поєднанні з сонячними батареями (теплова потужність 818 кВт, COP = 4,0 – 5,0) використовуються для опалення та гарячого водопостачання приватних будинків.

3. ТН «повітря-вода» Solid Split з можливістю встановлення сонячних батарей (теплова потужність 30–55 кВт, COP = 4,0 – 5,0) використовуються для опалення та гарячого водопостачання приватних та багатоквартирних будинків.

4. Грунтові ТН «розсіл-вода» Solid з можливістю встановлення сонячних батарей (теплова потужність 30–120 кВт, COP = 6,0 – 7,0) використовуються для опалення та гарячого водопостачання приватних, багатоквартирних та інших будинків.

5. Водяні ТН «вода-вода» Solid з можливістю встановлення сонячних батарей (теплова потужність 30–120 кВт, COP = 6,0 – 7,0) використовуються для опалення та гарячого водопостачання приватних, багатоквартирних та інших будинків [21].

Розглянемо встановлення водяного ТН на прикладі підприємства машинобудування. На підприємстві знаходяться дві опалювані будівлі адміністративно-побутового (опалюваний об'єм 6473 м³) та господарського корпусів (опалюваний об'єм 8287 м³), крім цього в адміністративно-побутовому корпусі також є система гарячого водопостачання (в розрахунках орієнтуємось на 25 чоловік персоналу). Необхідна теплова потужність ТН на 1 м³ опалюваного об'єму становить 80 Вт/м³, для гарячого водопостачання при витраті на 1 людину 50 літрів води при температурі 45 °С – 800 Вт/людину. Теплове навантаження адміністративно-побутового корпусу становитиме 354 кВт (з них на гаряче водопостачання 18 кВт), господарського корпусу – 745 кВт. Тому для даного підприємства найбільш актуальним буде встановлення ґрунтового ТН.

Наступний приклад – це адміністративна будівля підприємства машинобудування. Опалюваний об'єм будівлі становитиме 2635 м³. Теплове навантаження системи опалення становитиме 50,0 кВт, системи гарячого водопостачання – 5 кВт, сумарне 55 кВт. Враховуючи географічне розташування будівлі, особливості ландшафту, правила пожежної безпеки та ін. для покриття теплового навантаження даної будівлі найбільше підходить ТН HelioTerm Solid Split (повітря-вода) потужністю 55 кВт [21].

У процесі роботи ТН компресор споживає електроенергію (рис. 1). Співвідношення теплової енергії, що виробляється і електричної, яка споживається називається коефіцієнтом трансформації (або коефіцієнтом продуктивності (англ. COP – скор. від coefficient of performance) і є показником ефективності ТН [17–19]. Для розрахунку коефіцієнта трансформації COP використовується наступний вираз

$$\text{COP} = Q/E, \quad (1)$$

де Q – теплота, отримана з системи, Дж; E – отримана електроенергія, Дж; C_v – питома масова теплоємність рідини в циклі опалення, Дж/кг·К; m – маса

теплоносія, кг; Δt – різниця температур теплоносія до і після віддачі теплової енергії, К.

$$Q = m \cdot C_v \cdot \Delta t, \quad (2)$$

де C_v – питома масова теплоємність рідини в циклі опалення, Дж/кг·К; m – маса теплоносія, кг; Δt – різниця температур теплоносія до і після віддачі теплової енергії, К.

$$E = U \cdot I \cdot t, \quad (3)$$

де U – напруга, В; I – струм, А; t – час, год.

З рівняння (2) і (3) розраховуємо Q і E :

$$Q = 1000 \cdot 4,19 \cdot 40 = 167600 \text{ кДж} = 46,55 \text{ кВт} \cdot \text{год}; \quad (4)$$

$$E = 0,380 \cdot 122 \cdot 0,27 = 12,51 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (5)$$

Коефіцієнт трансформації COP ТН розраховуємо за рівнянням (1)

$$\text{COP} = 46,55 / 12,51 = 3,72. \quad (6)$$

Тобто, при температурі води 8°C на кожний кіловат електричної енергії ми отримуємо 3,72 кВт теплової енергії.

Нами було досліджено ефективність ТН при різних значеннях температури зовнішнього джерела теплоти – води (рис. 2).

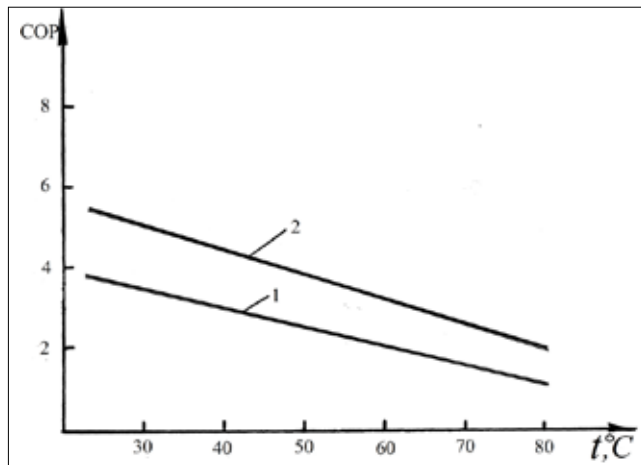


Рис. 2. Залежність COP ТН від температури системи опалення: при температурі джерела води: 1 – при 8°C ; 2 – при 14°C [7; 13–15]

З рис. 2 видно, що коефіцієнт ефективності COP ТН залежить від зовнішньої температури джерела теплоти води і від характеру системи опалення. При збільшенні температури води з 8 до 14°C коефіцієнт ефективності COP ТН збільшується у два рази. Вибір системи опалення навіть більше впливає на ефективність ТН, ніж температура води. При заміні традиційних систем опалення на низькотемпературні ефективність ТН зростає. Тому, при проектуванні систем опалення з використанням ТН необхідно враховувати цей фактор [20; 23].

ТН характеризуються вищою ефективністю, ніж усі традиційні технології на ринку теплопостачання. Для порівняння: газовий котел при споживанні 1 кВт

електроенергії зможе виділити близько 0,9 кВт теплоти, тоді як ТН віддає 4-5 кВт теплоти. Такий результату полягає в тому, що обладнання ТН не виробляє теплоту, а переносить її [24; 25].

Висновки

Використання ТН для теплопостачання передбачає лише оплату за електроенергію на роботу та технічне обслуговування установки при порівнянні з витратами на центральне опалення та роботу газових або електричних котлів аналогічної потужності, яка в декілька раз менша. Впровадження ТН є перспективним напрямком використання альтернативних джерел енергії для забезпечення потреб систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання будівель. Незважаючи на свою ефективність ТН (особливо повітряні) далеко не завжди повноцінно покривають теплове навантаження будівель в сильні морози, тому необхідно поєднувати їх експлуатацію з додатковим джерелом теплоти: електричним, газовим або твердопаливним котлом, які будуть вмикатися при досягненні певного критичного значення зовнішньої температури повітря (точки бівалентності).

Найефективнішим джерелом низькопотенціальної теплової енергії є геотермальні води, оскільки значення їх температури знаходиться в межах +20...+50 °С, коефіцієнт перетворення ТН при цьому найвищий. Також високоефективними джерелами низькопотенціальної теплоти є скидна теплота від водооборотних процесів в енергетиці та промисловості, вентиляційні скиди та відпрацьована теплота повітряних і холодильних компресорів та інших підприємств машинобудування. Найбільшим потенціалом з природних низькотемпературних джерел теплоти є теплота ґрунту і ґрунтових вод, повітря, а також річкових, озерних і морських вод.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України № 1959-VIII від 21.03.2017 «Про внесення змін до Закону України “Про теплопостачання” щодо стимулювання виробництва теплової енергії з альтернативних джерел енергії».
2. Маляренко В. А., Лисак Л. В. Енергетика, довкілля, енергозбереження. Х. : Рубікон, 2004. 368 с.
3. Безродний М. К., Пуховий І. І., Кутра Д. С. Теплові насоси та їх використання : навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 312 с.
4. Остапенко О.П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ. 2015.123 с.
5. Арсеньєв В.М., Мелейчук С.С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник. Суми : СДУ. 2018. 364 с.
6. Арсеньєв В.М. Теплонасосная технология энергозбереження. Суми : Вид-во СДУ. 2009. 251 с.
7. Босий М.В., Кузик О.В. Теплові насоси для опалення та гарячого водопостачання. Findings of modern engineering research and developments: Scientific monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2022, P. 24–40. URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217>
8. Пісарев В.Є. Теплові насоси та холодильні установки : навчальний посібник. Київ : КНУБА. 2002. 124 с.

9. Снежкін Ю.Ф., Чалаєв Д.М., Шаврін В.С., Дабіжа Н.О. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання : монографія / під. ред. акад. НАН України А.А. Долінського ; НАН України, Ін-т техн. теплофізики. Київ, 2008. 104 с.
10. Безродний М.К., Притула Н.О. Енергетична ефективність теплонасосних схем тепlopостачання : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 208 с.
11. Шевель В. И. Работа компрессоров серийного исполнения на смеси пропан-бутан в теплонасосном режиме работы. *Компрессорная техника и пневматика в XXI веке* : XIII Международная научно-техническая конференция по компрессоростроению. Сумы : СумГУ, 2004. С. 239-244.
12. Хмельнюк М. Г., Мартынюк М. О. Повышение эффективности установки низкотемпературной конденсации природного газа. Одесса : ОДАХ. *Технические газы*. № 4. 2008. С. 30–35.
13. Босий М.В., Кузик О.В. Ефективність циклу теплового насоса для тепlopостачання. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2020. Вип. 3(34). С. 136–142. URL: <http://dSPACE.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10447>
14. Босий М.В. Термодинамічна енергоефективність геотермального теплового насоса на ґрунтових водах. *Moderní aspekty vědy: XX. Díl mezinárodní kolektivní* : monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika : Publishing Group „Vědecká perspektiva“, 2022. S. 556–568. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-20.pdf>
15. Босий М.В. Теплові насоси – енергоефективне відновлювальне екологічне чисте джерело теплоти. *Moderní aspekty vědy: XXI Díl mezinárodní kolektivní* : monografie Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika : Publishing Group „Vědecká perspektiva“, 2022. P. 357–380. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-21.pdf>
16. Морозюк Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. Одесса: Студия «Негоциант». 2006. 712 с.
17. Ткаченко С.Й., Остапенко О.П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2009. 176 с.
18. Арсеньев В. М., Гречаненко В. А. Эксергетическая оценка эффективности теплонасосной технологии энергосбережений. *Вісник Сумського державного університету*. 2002. № 9(42). С. 81–85.
19. Босий М.В., Кропівний В.М., Кузик О.В., Кропівна А.В, Молокост Л.А Термодинамічна енергоефективність парокомпресійного теплового насоса на ґрунтових водах. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький, 2022, вип. 5(36), ч. I. С. 47–54. URL: http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_I.html
20. Босий М.В., Кропівний В.М., Кузик О.В. Термодинамічне дослідження циклу теплового насосу «ґрунт–вода» для системи опалення

- приміщення. *Науковий журнал Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського*. Кременчук. 2022. № 1(132), С. 165–172. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.1.22>. URL: <http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/pravila.php>
21. Сірко З.С., Коренда В.А., Вишняков І.Ю., Протасов О.С., Охріменко С.М., Цірень Н.Л. Використання теплових насосів для опалення та гарячого водопостачання будівель підприємств на прикладі установок Helioterm. *Наукові доповіді НУБіП України. Техніка і енергетика АПК*. 2020. № 5 (87).
22. Босий М.В. Енергетична ефективність повітряного теплового насоса на екологічно чистому робочому тілі пропані. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Київ. 2022. Том 33 (72), № 4. С. 144–148. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/22>. URL: <https://tech.vernadskyjournals.in.ua/33-72-4>
23. Босий М.В., Лисенко А.Я., Мануйлович В.В., Панішко О.В. Ефективність циклу геотермального теплового насосу. *Актуальні питання сучасної науки, суспільства та освіти : V Міжнародна науково-практична конференція. The 5th International scientific and practical conference «Topical issues of modern science, society and education» (November 28–30, 2021) SPC «Sci-conf.com.ua», Kharkiv, Ukraine. 2021. 2101 p., с. 418–422. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/TOPICAL-ISSUES-OF-MODERN-SCIENCE-SOCIETY-AND-EDUCATION-28-30.11.21.pdf>*
24. Босий М.В., Лисенко А.Я., Мануйлович В.В., Баркар М.М. Термодинамічна енергоефективність геотермального теплового насоса «вода-вода». // *The 3rd International scientific and practical conference “Modern science: innovations and prospects” (December 5-7, 2021) SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2021. 1036 p. ISBN 978-91-87224-02-7. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/MODERN-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-5-7.12.21.pdf>*
25. Босий М.В., Лисенко А.Я., Мануйлович А.В., Панішко О.В., Баркар М.М. Геотермальний тепловий насос «грунт-вода». *The 2nd International scientific and practical conference – “Modern research in world science” (May 15–17, 2022) SPC – “Sci-conf.com.ua”, Lviv, Ukraine. 2022. P.406-413. ISBN 978-966-8219-86-3. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/05/MODERN-RESEARCH-IN-WORLD-SCIENCE-15-17.05.22.pdf>*

REFERENCES

1. Law of Ukraine № 1959-VIII of 21.03. (2017). “On Amendments to the Law of Ukraine” On Heat Supply “to stimulate the production of thermal energy from alternative energy sources” [Pro vnesennya zmin do Zakonu Ukrainy “Pro teplopostachannya” shchodo stymulyuvannya vyrobnytstva teplovoyi enerhiyi z alternatyvnykh dzherel enerhiyi”] [in Ukrainian].

2. Malyarenko, V.A., & Lysak, L.V. (2004). Energy, environment, energy saving [Enerhetyka, dovkillya, enerhozberezhennya]. X. : Rubicon. 368 p. [in Ukrainian].
3. Bezrodnyi, M.K., Pukhovii, I.I., & Kutra, D.S. (2013). Heat pumps and their use [Teplovi nasosy ta yikh vykorystannya]. Tutorial. Kyiv : NTUU “KPI”. 312 p. [in Ukrainian].
4. Ostapenko, O.P. (2015). Refrigeration equipment and technology. Heat pumps [Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiya. Teplovi nasosy]. Tutorial. Vinnytsia: VNTU. 123 p. [in Ukrainian].
5. Arsenyev, V.M., & Meleychuk, S.S. (2018). Heat pumps: basics of theory and calculation [Teplovi nasosy: osnovy teorii i rozrakhunku]. Tutorial. Sumy. SSU 364 p. [in Ukrainian].
6. Arsenyev, V.M. (2009). Heat pump energy saving technology [Teplonasosnaya tekhnolohyya enerhozberezhennya]. Sumy: Type of SDU. 251 p.
7. Bosyi, M.V., & Kuzyk, O.V. (2022) Heat pumps for heating and hot water supply [Teplovi nasosy dlya opalennya ta haryachoho vodopostachannya]. Findings of modern engineering research and developments: Scientific monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing. P. 2440 [in Ukrainian]. URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217>
8. Pisarev, V.E. (2002). Heat pumps and refrigeration units [Teplovi nasosy ta kholodylni ustanovky]. Tutorial. K: KNUBA. 124 p. [in Ukrainian].
9. Snezhkin, Y.F., Chalayev, D.M., Shavrin, V.S., & Dabyzha, N.O. (2008). Heat pumps in heating and cooling systems [Teplovi nasosy v systemakh teplokholodopostachannya]. Monograph. Sub. ed. Acad. NAS of Ukraine A.A. Dolinskyi; National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Technology thermophysics. K. : 104 p. [in Ukrainian].
10. Bezrodnyi, M.K., & Prytula, N.O. (2012). Energy efficiency of heat pump heat supply schemes [Enerhetychna efektyvnist teplonasosnykh skhem teplopostachannya]. Monograph. K: NTUU “KPI”. 208 p. [in Ukrainian].
11. Shevel, V.I. (2004). Operation of series compressors for propane-butane oil in the heat pump mode [Rabota kompressorov seryynoho yspolnenyya na smecy propan-butan v teplonasosnom rezhyme raboty]. Compressor technology and pneumatics in the 21st century: 13th International Scientific and Technical Conference on Compressor Construction. Sumy: Sumy State University. P. 239–244 [in Ukrainian].
12. Khmelnyuk, M.G., & Martynyuk, M.O. (2008). Increasing the efficiency of a low-temperature natural gas condensation plant [Povyshenye éffektyvnosti ustanov-ky nyzkotemperaturnoy kondensatsyy pryrodnoho haza]. Odessa: ODAH. *Technical gases*. No. 4. P. 30–35 [in Ukrainian].
13. Bosyi, M.V., & Kuzyk, O.V. (2020). Efficiency of the heat pump cycle for heat supply [Efektyvnist tsykladu teplovoho nasosa dlya teplopostachannya]. *Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*. Issue 3(34). P. 136–142. [in Ukrainian]. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10447>

14. Bosyi, M.V. (2022). Thermodynamic energy efficiency of a geothermal heat pump on groundwater [Termodynamichna enerhoefektyvnist heothermalnoho teplovoho nasosa na hruntovykh vodakh]. Modern aspects of science: XX. Díl international kolektivní monografie / International Economic Institute s.r.o. Česká republika: Vědecká perspektiva. S. 556–568. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-20.pdf> [in Ukrainian]/
15. Bosyi, M.V. (2022). Heat pumps – an energy efficient regenerative ecologically clean source of heat [Teplovi nasosy – enerhoefektyvne vidnovlyuvalne ekolohichne chyste dzherelo teploty]. Moderní aspekty vědy: XXÍ Díl international kolektivní monografie International Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Vědecká perspektiva. P. 357380. [in Ukrainian]. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-21.pdf>
16. Morozyuk, T. V. (2006). Theory of refrigeration machines and heat pumps [Teoryya kholodynykh mashyn y teplovykh nasosov]. Odessa: Studio “Negotiant”. 712 p. [in Ukrainian]/
17. Tkachenko, S.Y., & Ostapenko, O.P. Steam compression heat pump installations in heat supply systems [Parokompresiyini teplonasosni ustanovky v systemakh teplopostachannya]. Monograph. Vinnytsia: VNTU. 2009. 176 p. [in Ukrainian]
18. Arsenev, V. M., & Grechanenko, V. A. (2002). Exergetic evaluation of the efficiency of heat pump technology energy-saving [Ékserhetycheskaya otsenka éffektyvnosti teplonasosnoy tekhnolohyy énerhosberezhenyy]. *Bulletin of Sumy State University*. No. 9(42). P. 81-85. [in Ukrainian]
19. Bosiy, M.V., Kropivny, V.M., Kuzyk, O.V., Kropivna, A.V., & Molokost L.A. Thermodynamic energy efficiency of a vapor compression heat pump on groundwater [Termodynamichna enerhoefektyvnist parokompresiyinoho teplovoho nasosa na hruntovykh vodakh]. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences*. Kropyvnytskyi. 2022, issue 5(36), part I. S. 47–54 [in Ukrainian]. URL: http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_I.html
20. Bosyi, M.V., Kropivny, V.M., & Kuzyk, O.V. (2022). Thermodynamic study of the soil-water heat pump cycle for the space heating system [Termodynamichne doslidzhennya tsykladu teplovoho nasosu “hrunt-voda” dlya systemy opalennya prymishchennya]. *Visnyk of the Kremenchug National University named after M. Ostrogradskyi*. Kremenchuk: No. 1(132). P. 165–172 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.1.22>. URL: <http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/pravila.php>
21. Sirko, Z.S., Korenda, V.A., Vyshnyakov, I.Yu., Protasov, O.S., Okhrymenko, S.M., & Tsieren, N.L. (2020). The use of heat pumps for heating and hot water supply of enterprise buildings on the example of Helioterm installations [Vykorystannya teplovykh nasosiv dlya opalennya ta haryachoho vodopostachannya budivel pidpryemstv na prykladi ustanovok Helioterm]. *Scientific reports of NUBiP of Ukraine. Technology and energy of agricultural industry*. No. 5 (87) [in Ukrainian]/

22. Bosyi, M.V. (2022). The energy efficiency of an air heat pump based on an ecologically clean working medium of propane [Enerhetychna efektyvnist povitryanoho teplovoho nasosa na ekolohichno chystomu robochomu tili propani]. *Scientific notes of V.I. Vernadsky Tavrii National University. Series: Technical sciences*. Kyiv : Vol. 33 (72), No. 4. P. 144–148. [in Ukrainian]. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/22>. URL: <https://tech.vernadskyjournals.in.ua/33-72-4>
23. Bosyi, M.V. Lysenko, A.Ya., Manuylovich, V.V., & Panishko, O.V. (2021). Efficiency of the geothermal heat pump cycle [Efektyvnist tsykladu heotermalnogo teplovoho nasosu]. 5th International scientific and practical conference “Actual issues of modern science, society and education”. The 5th International scientific and practical conference “Topical issues of modern science, society and education” (November 28-30, 2021) SPC “*Sci-conf.com.ua*”. Kharkiv, Ukraine. 2101 p., p. 418–422. [in Ukrainian]. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/TOPICAL-ISSUES-OF-MODERN-SCIENCE-SOCIETY-AND-EDUCATION-28-30.11.21.pdf>
24. Bosyi, M.V. Lysenko, A.Ya., Manuylovich, V.V., & Barkar, M.M. Thermodynamic energy efficiency of geothermal heat pump “water-water” [Termodynamichna enerhoefektyvnist heotermalnogo teplovoho nasosa “voda-voda”]. The 3rd International scientific and practical conference “Modern science: innovations and prospects” (December 5–7, 2021) SSPG Publish, Stockholm. Sweden. 2021. 1036 p. ISBN 978-91-87224-02-7 [in Ukrainian]. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/MODERN-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-5-7.12.21.pdf>
25. Bosyi, M.V., Lysenko, A.Ya., Manuylovich, A.V., Panishko, O.V., & Barkar, M.M (2022). Ground-water geothermal heat pump [Heotermalnyy teplovyy nasos “hrunt-voda”]. The 2nd International scientific and practical conference “Modern research in world science” (May 15–17.12.2022.). SPC “*Sci-conf.com.ua*”, Lviv. Ukraine. P.406-413. ISBN 978-966-8219-86-3. [in Ukrainian]. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/05/MODERN-RESEARCH-IN-WORLD-SCIENCE-15-17.05.22.pdf>