

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА ТА ТРАДИЦІЙНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

### Микола Босий

викладач кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва

Центральноукраїнський національний технічний університет,  
просп. Університетський, 8, Кропивницький, Україна, 25031, bosiymv@ukr.net

ORCID: 0000-0002-3090-0427

### Олена Боса

лаборант кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва

Центральноукраїнський національний технічний університет,  
просп. Університетський, 8, Кропивницький, Україна, 25031, bosaoa@ukr.net

ORCID: 0000-0001-7621-6631

### Євгеній Авраменко

студент кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва

Центральноукраїнський національний технічний університет,  
просп. Університетський, 8, Кропивницький, Україна, 25031

### Ігор Герасименко

студент кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва

Центральноукраїнський національний технічний університет,  
просп. Університетський, 8, Кропивницький, Україна, 25031

Зміни, які відбуваються в енергетичному виробництві України, потребують розробки та використання сучасних технологій для теплопостачання та гарячого водопостачання. У статті розглядається застосування теплового насоса (ТН), що працює на альтернативних джерелах енергії доквілля для теплопостачання та гарячого водопостачання житлових будинків. Метою роботи є оцінка ефективності використання циклу ТН у системах теплопостачання та гарячого водопостачання житлових будинків. Виконано аналіз характеристик та оцінені особливості роботи ТН для житлових будинків. Визначено фактори, які впливають на енергетичну ефективність ТН. Для підвищення ефективності роботи традиційних систем теплопостачання запропоновано схему теплонасосної системи відбору низькопотенційної теплоти з використанням ТН. На підставі проведених досліджень встановлено, що ТН можуть працювати практично повсюди і не вимагають облаштування низькотемпературного контуру. Перспективним способом підвищення ефективності теплопостачального обладнання житлових будинків є застосування ТН у разі річного циклу його роботи. ТН мають значну перевагу перед іншими тепло-енергетичними установками. Вони споживають енергію поновлюваних джерел, знижують витрати на електропостачання більш ніж у половину – це повністю автоматизований пристрій. Використання ТН для утилізації низькопотенційних теплових потоків економічно вигідно і витрати на теплопостачання становлять 7980 грн порівняно з традиційними системами опалення газовим 15904 грн та електричним 28560 грн для житлового будинку площею 100 м<sup>2</sup> на рік. Аналіз ефективності систем теплопостачання показує, що у сучасних економічних умовах тенденція систем теплопостачання може розвиватися із застосуванням парокомпресійних ТН, це може суттєво підвищити економічні і технічні характеристики теплопостачального обладнання для житлових будівель.

**Ключові слова:** тепловий насос, традиційна система опалення, низькопотенційне джерело теплоти, системи теплопостачання, коефіцієнт трансформації, енергетичний коефіцієнт корисної дії ТН.

**Актуальність роботи.** Нині одним з питань, що найгостріше стоїть перед Україною і потребує нагального вирішення, є питання забезпечення енергетичної та екологічної безпеки систем теплопостачання.

Одним з актуальних та першочергових завдань ефективного розвитку України є про-

блема енергозбереження як в економічному, так і в житловому секторі у разі використання енергетичних потоків різної якості. Незважаючи на високі темпи впровадження альтернативних та відновлювальних енергетичних джерел енергії в Європі, США, Японії, особлива увага

приділяється сучасним теплотнасосним технологіям [1–7].

Перспективним напрямом натеper є використання природних джерел енергії для теплопостачання житлових будівель. Методи використання поновлювальної природної теплової енергії економічно ефективні, однак частка застосування теплової енергії доквілля доволі мала. Підвищити ефективність використання природних джерел енергії (повітря, ґрунту, води), особливо для потреб теплопостачання житлових будівель, можна у разі наявності теплових агрегатів, таких як парокompресійні ТН [3].

ТН – це компактна економічна та екологічно чиста установка для теплопостачання, призначена для автономного обігріву та гарячого водопостачання житлових і виробничих приміщень. За рахунок використання теплоти природних побутових та промислових джерел, наприклад, зовнішнього повітря, ґрунту, ґрунтових, артезіанських та термальних вод; природних вод річок, озер, морів; промислових та очищених побутових стоків; води технологічних циклів, витративши 1 кВт електричної енергії, можна отримати 3–5 кВт теплової енергії для теплопостачання [8–12].

Практика показує, що ТН окупається протягом п’яти–семи опалювальних сезонів.

ТН має чотири основні елементи: випарник 1, компресор 2, конденсатор 3 і дросельний клапан 4. У випарнику 1 холодоагент відбирає теплоту з доквілля 6 (землі, води або повітря), нагрівається до температури 6–8°C, закипає і випаровується. Отримана пара стискається компресором 2 і у разі зростання тиску температура холодоагенту піднімається до 35°C...65°C. Ця температура віддається через теплообмінник конденсатора 3 робочої рідини опалювального контура 5 і холодоагент назад конденсується. Дросельний клапан 4 скидає тиск у конденсаторі 2, перепускаючи холодоагент у випарник 1. Цикл замикається (рис. 1).

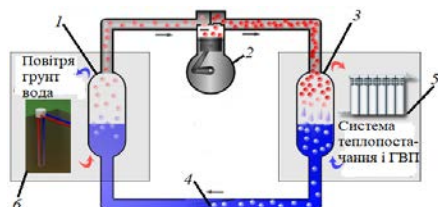


Рис. 1. Схема компресійного ТН

- 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – дросель; 5 – система теплопостачання; 6 – джерела теплоти повітря, ґрунту, води

ТН – це ефективна заміна газового котла на рідкому, газовому паливі, електричного опалення або твердопаливного котла. Наприклад, для спроектованого та побудованого будинку площею 100 м<sup>2</sup> необхідно 10–12 кВт теплової енергії ТН, яку можна отримати, опустивши два зонди у землю на глибину 100 м, для цього потрібна ділянка землі розміром 6х6 м.

Всі джерела низькопотенційної теплоти доквілля, такі як ґрунт, вода і повітря, акумулюють сонячну енергію.

Ґрунт акумулює сонячну енергію у формі теплоти, одержуваної від дощу або з повітря і становить протягом усього року 8–12°C. Ґрунт має властивість зберігати сонячну енергію протягом тривалого часу.

Акумульована ґрунтом теплота передається сумішшю, яка складається з води і антифризу, точка замерзання якої повинна перебувати приблизно на рівні -15°C, через горизонтально прокладені ґрунтові теплообмінники або через вертикально розташовані ґрунтові зонди.

Спіралеподібні колектори є альтернативою у разі використання теплоти ґрунту. За допомогою вертикального буріння вони містяться на глибині від 2 до 4 м на відстані близько 4 м один від одного.

Колектори, що працюють на енергії ґрунту, розташовуються горизонтально на 20 см нижче границі промерзання ґрунту. На практиці здебільшого ця глибина від 1 м до 1,4 м. Розмір колектора залежить від опалювального навантаження будівлі та особливостей акумулювання енергії.

Ґрунтові води – також акумулятор сонячної теплоти. Навіть у холодні зимові дні вони зберігають постійну температуру до +12°C. Внаслідок незмінного температурного рівня джерела теплоти коефіцієнт трансформації ТН залишається високим протягом усього року.

ТН «повітря – вода» натеper може експлуатуватися протягом року, однак за низьких температур коефіцієнт трансформації ТН різко зменшується. Повітря легко використовувати як джерело теплоти, оскільки воно є скрізь і в необмеженій кількості.

ТН є ідеальним варіантом для низькотемпературних систем теплопостачання. До них належить панельне опалення і «тепла підлога». Їх перевагою є те, що вони обходяться низькими температурами (30–40°C). Традиційним радіаторам необхідна температура щонайменше 50°C.

ТН системи водонагріву використовуються окремо від системи опалення і служать для цен-

тралізованої подачі гарячої води. Вони забирають теплоту з повітря в приміщенні і підігрівають таким чином воду. Додатково може бути використано відпрацьовану теплоту інших приладів, наприклад, холодильної камери. Перевагою ТН системи гарячого водопостачання є те, що він забирає вологу з повітря в приміщенні й охолоджує його, таким чином, приміщення, де розташований ТН, наприклад, у підвалі, стає сушішим і холоднішим. У цього приладу дуже низьке енергоспоживання. ТН системи водонагріву володіють закритим акумулятором, в якому зберігається теплота (у середньому місткість становить 300 літрів), завдяки чому гарячу воду можна подавати в різні частини будинку.

Модернізація централізованого опалення вимагає вбудовування у систему ТН. Якщо система опалення обходиться температурою в 50–60°C, то можна легко вбудувати в неї ТН. У будинках краще використовувати таке джерело теплоти, як повітря, позаяк це не вимагає великих витрат, пов'язаних з перебудовою системи опалення. Є прилади, які встановлюються і всередині, і зовні приміщення. Позаяк раніше радіатори переважно були збільшених розмірів, то вони підходять для роботи ТН. Нещодавно розроблені ТН, що працюють на енергії повітря і води з температурою запуску до 75°C, спокійно замінюють котли з мазутною топкою чи газові котли.

Високотемпературні теплові котли створюються спеціально для модернізації системи опалення. Їх перевага полягає в такому: здебільшого можна продовжувати використовувати вже наявні радіатори – таким чином скорочуються витрати на модернізацію. ТН нового покоління спокійно опалюють житлові приміщення площею до 250 м<sup>2</sup>. Звичайно, в будинках можна також використовувати такі джерела теплоти, як ґрунт і ґрунтові води, в цьому випадку слід віддати перевагу вертикальним колекторам.

Завдяки високій енергоефективності ТН усе більше роблять вибір на користь таких систем для теплопостачання і нагрівання води для житлових будівель різного призначення [3].

Теплонасосні системи (ТНС) теплопостачання дають змогу:

- в 1,5–2 рази знизити необхідну встановлену електричну потужність теплогенеруючого устаткування;
- в 2,5–3 рази знизити плату за електроенергію порівняно з електричними теплогенераторами;
- в 1,5–2,5 рази знизити експлуатаційні витрати порівняно з газовими котлами або котлами на рідкому паливі.

Застосування ТН є не модернізацією традиційних джерел енергії, а прогресивним, високоефективним й екологічно чистим способом перетворення енергії, що дає змогу не тільки зменшити витрати органічного палива у разі одержання теплоти, а й істотно знизити забруднення довкілля. Теплонасосні установки є також багатофункціональними (одночасно виробляють тепло і холод), мобільними, надійними в експлуатації і автоматизованими.

Конкурентоспроможність ТНС порівняно з традиційними системами теплопостачання залежить від багатьох чинників: термодинамічного, конструктивного, економічного характеру, від їхнього функціонального призначення і екологічного впливу на довкілля. Доцільність впровадження ТНС конкретного типу для кожного випадку визначають тільки на підставі техніко-економічних розрахунків [13–18].

Для систем «повітря-повітря» ТН аналогічні настінним, касетним, каналним та іншим типам внутрішніх блоків звичайних кондиціонерів. За їх допомогою нагрівається повітря у приміщенні (рис. 2).



Рис. 2. Повітряний тепловий насос

Для систем «ґрунт-вода» та «вода-вода» за допомогою ТН нагрівається вода у системі теплопостачання в приміщенні (рис. 3 і рис. 4).

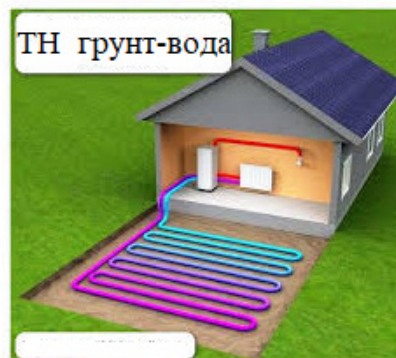


Рис. 3. Тепловий насос «ґрунт-вода»

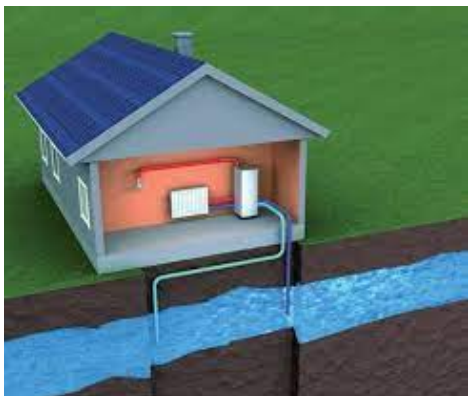


Рис. 4. Тепловий насос «вода-вода»

Ефективність та техніко-економічна доцільність систем теплопостачання в різних сферах ЖКХ у технологічній підготовці може бути суттєво підвищена у разі впровадження сучасних теплонасосних технологій теплопостачання та енергозбереження. Насамперед це відноситься до утилізації теплоти повітря, ґрунту, води як низькопотенційної енергії природного джерела [2; 3; 19–22].

Метою статті є оцінка ефективності використання циклу ТН та традиційних систем теплопостачання для житлових будівель.

**Матеріал і результати досліджень.** Здійснювати теплопостачання будинку площею 100 м<sup>2</sup> можна різними способами: газом, твердим паливом, електричним котлом або ТН. Кожен з цих способів має свої переваги і недоліки. Незалежно від виду котла опалення буде водяним з розводкою системи опалення по трубах до радіаторів опалення або теплої підлоги.

Загальне завдання теплопостачання – заповнити теплові втрати будинку новим теплом, які за вуличної температури -20°C і температури в приміщенні +21°C становлять від 30 Вт/м<sup>2</sup> – в добре утеплених будинках і до 110 Вт/м<sup>2</sup> – там, де стіни в 1,5 цеглини.

Щоб спростити завдання обігріву, перед тим як встановлювати або модернізувати систему опалення, потрібно максимально знизити втрати теплоти будівлею – утеплити стіни, покрівлю та фундамент будинку. Утеплення будинку забезпечить економію теплоти до 30–40%.

Для кліматичної зони м. Кропивницький середньомісячна температура лютого 2023 року становила -5°C, тому в наших розрахунках візьмемо показник теплових втрат будівлі 100 Вт/м<sup>2</sup>. Для будинку площею 100 м<sup>2</sup> за весь опалювальний сезон потрібно виробити 16,6 тис. кВт·год теплової енергії.

Знаючи необхідну теплову продуктивність системи теплопостачання, підбираємо тепло-технічне обладнання і необхідні вузли запірної арматури.

На рис. 5 наведено газовий котел.



Рис. 5. Газовий котел

Потужність газового котла не менше 10 кВт. Зазвичай сучасні газові котли випускаються з вбудованими: пальником, циркуляційним насосом, розширювальним бачком, манометром, термометром, запобіжним клапаном, автоматикою. Тарифи та вартість газового опалення такі. Станом на 01.03.2023 року ціна газу в Україні для населення – 7,96 грн/м<sup>3</sup>. Стандартний конвекційний газовий котел у разі теплотворної здатності газу 8 м<sup>3</sup>/кВт·год витрачає на опалення 100 м<sup>2</sup> площі близько 1998 м<sup>3</sup> газу.

Загальні витрати на обігрів будинку за сезон становлять: 1998×7,96 = 15904 грн.

Якщо, крім опалення, потрібно забезпечити підігрів гарячої води (ГВП) – встановлюють газовий двоконтурний котел з додатковою продуктивністю від 14 до 20 кВт.

Твердопаливний котел для постачання теплоти наведено на рис. 6.



Рис. 6. Твердопаливний котел

Щоб скоротити витрати на теплопостачання, відмовившись від газу, або в разі, коли проведення газу недоступно, встановлюють систему опалення з котлом на твердому паливі. Вибира-

емо тип твердопаливного котла потужністю не менше 10 кВт – класичний, тривалого горіння, піролізний або з автоматичною подачею палива (дрова, брикети, вугілля, пелети).

За наявних цін на вугілля опалювати будинок цим видом палива економічно не вигідно – виходить дорожче не тільки за дрова, але і газ.

Стандартний твердопаливний котел за теплової здатності пелет 4,75 кВт/кг витрачає на опалення 100 м<sup>2</sup> площі близько 4234 кг пелет. Загальні витрати на обігрів будинку за сезон становитимуть: 4234×3,8 = 16089 грн.

Електричний котел для теплопостачання наведено на рис. 7.



Рис. 7. Електричний котел

Потужність електричного котла повинна бути не менше 10 кВт. Всі інші технічні параметри електричного котла впливають тільки на зручність експлуатації.

За стандартним тарифом опалення будинку електрикою найдорожче. У сезон буде потрібно близько 17 000 кВт·год електричної енергії, що обійдеться в 28 560 грн.

Теплопостачання будинку площею 100 м<sup>2</sup> ТН наведено на рис. 8.

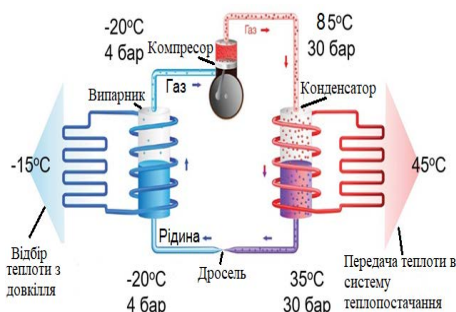


Рис. 8. Принципова схема ТН

Для функціонування ТН необхідна електрична енергія для забезпечення циркуляції

теплоносія в контурах системи. Перетворення теплової енергії із середовища з низьким температурним потенціалом в опалювальний контур відбувається у співвідношенні 4:1. На 1 кВт·год витраченої електричної енергії система отримує від 3,5 до 4,5 кВт·год теплоти.

Вартість ТН сильно залежить від продуктивності теплоти. Тому для покриття пікових навантажень, які виникають на нетривалий час зимових морозів, застосовують додаткові традиційні джерела теплоти – газові або твердопаливні котли.

Для управління системою з ТН і паралельним джерелом теплової енергії встановлюють багатофункціональні ємності з програмованим блоком управління. Таке обладнання знижує вартість опалення на 70–80% порівняно з традиційним газом.

Витрата електроенергії за весь сезон на опалення будинку становить 4750 кВт·год. У разі стандартного електротарифу витрати будуть 7980 грн. Тому опалення будинку ТН площею 100 м<sup>2</sup> – це більш ніж у 2 рази дешевше за газове опалення.

Різниця у вартості газового та ТН опалення 100 м<sup>2</sup> житлового будинку становить близько 7924 грн/рік.

ТН, хоча і справляються з нагріванням системи опалення і за температури на вулиці до -25°C, але максимальну ефективність (COP від 3,0 до 4,76) забезпечують за температури довілля від -2 до +12°C і вище.

ТН максимально ефективні в комбінованих системах опалення з низькотемпературним розподілом теплоти – водяними теплими підлогами або фанкойлами.

Використання низькопотенційної теплоти довілля ТН для генерації теплової енергії є одним із найбільш ефективних та екологічно чистих напрямів, який має значне поширення у світі [4; 5; 6].

Проведемо розрахунок порівняльної вартості підігрівання 1 м<sup>3</sup> води до температури 68°C з використанням різного теплогенеруючого обладнання для житлового будинку.

Кількість теплової енергії  $Q$  для підігріву  $t$  літрів рідини від початкової температури до необхідної визначається за формулою:

$$Q = m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1), \quad (1)$$

де  $c_p = 1,1 \cdot 10^{-3}$ , кВт·г/л·К – питома теплоємність води.

Кількість енергії для підігрівання 1м<sup>3</sup> води до зазначеної температури становить (кВт·год):

$$Q_1 = 1000 \cdot 0,0011 \cdot (68 - 18) = 55. \quad (2)$$

Таблиця 1

**Порівняльні витрати на опалення та ГВП житлового будинку**

Тип обладнання	Вартість опалення будинку 100 м <sup>2</sup> за сезон, грн	Вартість нагрівання 1 м <sup>3</sup> води, грн
Електричний котел	28560	92,4
Твердопаливний котел	16089	95
Газовий котел	15904	63,28
Тепловий насос	7890	30

У розрахунку вартості підігрівання води за допомогою теплоелектронагрівачів ВТЕН можна прийняти, що на вироблення 1 кВт·год теплової енергії ними витрачається така ж кількість електричної енергії. Тоді, враховуючи вартість електроенергії (1,68 грн для населення), вартість підігрівання 1 м<sup>3</sup> води становить:

$$V_{\text{ТЕН}} = 55 \times 1,68 = 92,4 \text{ грн.} \quad (3)$$

ТН, споживаючи 1 кВт·год електроенергії, виробляє 3 кВт·год теплової енергії, тобто вартість підігрівання води в такий спосіб ВТН буде:

$$V_{\text{ТН}} = 55/3 \times 1,68 = 30 \text{ грн.} \quad (4)$$

Для визначення вартості підігрівання води газовою котельнею визначимо об'єм газу, який потрібно спалити для отримання визначеної кількості теплової енергії за формулою:

$$V = \frac{Q}{q_{\text{газ}} \cdot \eta_{\text{ГК}} \cdot \eta_{\text{ГВП}}}, \quad (5)$$

де  $q_{\text{газ}} = 9,6$  – теплотворна здатність газу, кВт/м<sup>3</sup>;  $\eta_{\text{ГК}} = 0,9$  – ККД газового котла;  $\eta_{\text{ГВП}} = 0,8$  – ККД системи ГВП, що враховує втрати теплоти.

Отже, об'єм газу:

$$V = \frac{55}{9,6 \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 7,95 \text{ м}^3. \quad (6)$$

Ціна 1 м<sup>3</sup> газу для населення натеper становить 7,96 грн, тобто вартість підігрівання води газовою котельнею ВГК становить:

$$V_{\text{ГК}} = 7,95 \cdot 7,96 = 63,28 \text{ грн.} \quad (7)$$

Необхідно підкреслити, що цей розрахунок не враховує вартість обслуговування котельної, заробітну плату операторів, роботу допоміжного обладнання котельні і т. ін., тоді як система ТН працює в автоматичному режимі і практично не потребує ніяких додаткових коштів.

Для визначення вартості підігрівання води твердопаливним котлом визначимо витрати пелет. Ціна 1 кг пелет для населення на поточний момент становить 3,8 грн. Для нагрівання води 1 м<sup>3</sup> до 68°C необхідно 25 кг пелет. Вартість підігрівання води твердопаливним котлом на пелетах ВТПК становить:

$$V_{\text{ТПК}} = 25 \cdot 3,8 = 95 \text{ грн.} \quad (8)$$

У табл. 1 наведені порівняльні витрати на опалення та ГВП житлового будинку.

Визначимо трансформацію теплоти ТН.

$\text{COP}_T$  – теоретичний коефіцієнт трансформації повітряного ТН визначаємо за співвідношенням [3; 15; 22–24]:

$$\text{COP}_T = \frac{T_{\text{к}}}{T_{\text{к}} - T_{\text{в}}} = \frac{342}{342 - 276} = 5, \quad (17)$$

де  $T_{\text{в}} = 276$  – температура випаровування робочого агента пропану у випарнику ТН, К;  $T_{\text{к}} = 342$  – температура конденсації робочого пропану у конденсаторі ТН, К [27; 29].

Величина  $\text{COP}$  може бути представлена у вигляді:

$$\text{COP} = \text{COP}_T \cdot \eta_{\text{ТН}} = 5 \cdot 0,7 = 3,5, \quad (18)$$

де  $\eta_{\text{ТН}}$  – коефіцієнт втрат повітряного ТН можна прийняти  $\eta_{\text{ТН}} = 0,7$  [18; 19].

Проведемо дослідження термодинамічної ефективності повітряного ТН за різних значень температури зовнішнього джерела теплоти – повітря (табл. 2).

Аналіз енергоефективності ТН «повітря-вода» проводився для робочого тіла холодоагента пропану. Для пропану температура випаровування становить  $t_{\text{в}} = 3$  °С, а конденсації  $t_{\text{к}} = 69$  °С. Вибираємо низькопотенційне джерело теплоти – повітря, яке на вході у випарник має температуру  $t'_{\text{нт}} = 10...18$  °С, а на виході з нього  $t''_{\text{нт}} = 5...10$  °С. Температура мережевої води (теплоносія) на вході в конденсатор становить  $t'_{\text{мв}} = 30$  °С, а на виході з нього –  $t''_{\text{мв}} = 53$  °С [26; 28; 30].

Ефективність роботи повітряних ТН визначається такими факторами: температурним режимом роботи, коефіцієнтом перетворення теплового насоса  $\text{COP}$ , видом холодоагента, вартістю електричної енергії, яка витрачається на привід компресора та роботу вентилятора.

Таблиця 2  
Термодинамічний розрахунок циклу ТН  
«повітря-вода»

Параметр	Розмірність	Розрахункові значення
Температура випаровування пропану, $T_v$	К	276
Тиск пропану у випарнику, $p_v$	МПа	0,45
Температура конденсації пропану, $T_k$	К	342
Ентальпія пропану після конденсатора, $h_3$	кДж/кг	210
Тиск конденсації пропану, $P_k$	МПа	2,70
Ентальпія пропану на вході в компресор, $h_1$	кДж/кг	538
Ентальпія пропану після компресора, $h_2$	кДж/кг	654
Ентальпія пропану перед випарником, $h_4$	кДж/кг	210
Питоме теплове навантаження випарника, $q_v$	кДж/кг	328
Питоме теплове навантаження конденсатора, $q_k$	кДж/кг	444
Робота стиснення в компресорі, $l_{ст}$	кДж/кг	116
Перевірка теплового балансу ТН, $q_{тб.тн}$	–	444
Коефіцієнт перетворення теплоти, COP	–	3,5
Ексергетичний ККД ТН, $\eta_{ex}$	–	0,40

### Висновки

1. Використання ТН для теплопостачання є перспективним напрямом використання альтернативних природних низькопотенційних джерел енергії для забезпечення потреб систем теплопостачання та гарячого водопостачання житлових будинків, але такий процес суттєво залежить від місцезнаходження та наявності доступу до певного оптимального для нього джерела низькопотенційної теплової енергії.

2. Вартість опалення будинку складається з ціни на обладнання та експлуатаційних витрат на енергоносії протягом усього терміну експлуатації встановленої опалювальної системи.

3. Виходячи з проведеного техніко-економічного аналізу видно, що використання ТНС як тепло-генеруючого джерела теплоти набагато економічніше порівняно з централізованим теплопостачанням від ТЕЦ. Витрати на теплопостачання ТНС становлять 7980 грн порівняно з традиційною централізованою системою з газовим опаленням 15904 грн для житлового будинку площею 100 м<sup>2</sup> на рік.

4. Ефективним джерелом низькопотенційної теплової енергії є безкоштовна теплота повітря, при цьому коефіцієнт перетворення повітряного ТН за розрахунками становить 3,5, а ексергетичний коефіцієнт корисної дії – 40%.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Безродний М.К., Притула Н.О. Термодинамічна ефективність теплонасосних схем теплопостачання. *Вісник Вінницького національного технічного університету*. 2013. № 3. С. 39–45.
2. Безродний М.К., Галан М.А. Термодинамічна ефективність теплонасосних систем повітряного опалення. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2011. № 6. С. 30–35.
3. Босий М.В. Теплові насоси для опалення та гарячого водопостачання агропромислових підприємств. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2022. Випуск № 2 (48). С. 3–8.
4. Малярєнко В.А., Лисак Л.В. Енергетика, доквілля, енергозбереження. Харків : Рубікон. 2004. 368 с.
5. Безродний М.К., Пуховий І.І., Кутра Д.С. Теплові насоси та їх використання : навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ». 2013. 312 с.
6. Остапенко О.П. Холодильна техніка і технологія. Теплові насоси : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ. 2015. 123 с.
7. Арсєнєв В.М., Мелєйчук С.С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник. Суми : СДУ. 2018. 364 с.
8. Арсєнєв В.М. Теплонасосна технологія енергозбереження. Суми : Вид-во СДУ. 2009. 251 с.
9. Босий М.В., Кузик О.В. Теплові насоси для опалення та гарячого водопостачання. Результати сучасних інженерних досліджень і розробок : наукова монографія. Рига, Латвія : «Baltija Publishing». 2022. С. 24–40.  
URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217>.
10. Писарєв В.Є. Теплові насоси та холодильні установки : навчальний посібник. Київ : КНУБА. 2002. 124 с.
11. Снежкін Ю.С., Чалаєв Д.М., Шаврін В.С., Дабіжа Н.О. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання. / Під ред. акад. НАН України А.А. Долинського. НАН України, Інститут технічної теплофізики. 2008. 104 с.
12. Безродний М.К., Притула Н.О. Енергоефективність теплонасосних схем теплопостачання : монографія. Київ : НТУУ «КПІ». 2012. 208 с.

13. 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.
14. Хмельнюк М.Г., Мартинюк М.О. Підвищення ефективності установки низькотемпературної конденсації природного газу. Одеса : ОДАХ. *Технічні газети*. 2008. № 4. С. 30–35.
15. Босий М.В., Кузик О.В. Ефективність циклу теплового насоса для теплопостачання. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. № 3(34). 2020. С. 136–142. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10447>.
16. 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* : Видавнича група. «*Vědecká perspektiva*». 2022. С. 556–568. URL: [http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36\\_1.html](http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_1.html).
17. Босий М.В. Теплові насоси – енергоефективне відновлювальне екологічно чисте джерело теплоти. *Moderní aspekty vědy: XXI Díl mezinárodní kolektivní monografie Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika* : Видавнича група. «*Vědecká perspektiva*». 2022. С. 357–380. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-21.pdf>.
18. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. Одесса : Студия «Негоциант». 2006. 712 с.
19. Ткаченко С.І., Остапенко О.П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання : монографія. Вінниця : ВНТУ. 2009. 176 с.
20. Арсеньєв В.М., Гречаненко В.А. Ексергетична оцінка ефективності теплонасосної технології енергозбереження. *Вісник СумДУ*. № 9 (42). 2002. С. 81–85.
21. Сірко З.С., Коренда В.А., Вишняков І.Ю., Протасов О.С., Охріменко С.М., Цірен Н.Л. Використання теплових насосів для опалення та гарячого водопостачання будівель підприємств на прикладі установок Геліотерм. *Наукові доповіді НУБіП України. Технологія та енергетика сільськогосподарської промисловості*. 2020. № 5 (87).
22. 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. № 5(36). 2022. С. 47–54. URL: [http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36\\_1.html](http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_1.html).
23. Босий М.В., Кропівний В.М., Кузик О.В. Термодинамічне дослідження циклу теплового насоса «ґрунт-вода» для системи опалення приміщення. *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського»*. Кременчук. № 1(132). 2022. С. 165–172. URL: <http://visnikkrmu.kdu.edu.ua/pravila.php>.
24. Босий М.В. Енергетична ефективність повітряного теплового насоса на екологічно чистому робочому тілі пропані. *Науковий журнал «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського»*. Серія: *Технічні науки*. Київ. Т. 33 (72). № 4. 2022. С. 144–148. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/22>; URL: <https://tech.vernadskyjournals.in.ua/33-72-4>.
25. Босий М.В., Лисенко А.Я., Мануйлович В.В., Панішко О.В. Ефективність циклу геотермального теплового насоса. V Міжнародна науково-практична конференція «*Актуальні проблеми сучасної науки, суспільства та освіти*» (28–30 листопада). *НБЦ «Sci-conf.com.ua»*. Харків, Україна. 2021. 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>.
26. Босий М.В., Лисенко А.Я., Мануйлович В.В., Баркар М.М. Термодинамічна енергоефективність геотермального теплового насоса «вода-вода». 3-я Міжнародна науково-практична конференція «*Сучасна наука: інновації та перспективи*» (5–7 грудня). *SSPG Publish*, Стокгольм, Швеція. ISBN 978-91-87224-02-7. 2021. 1036 с. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/MODERN-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-5-7.12.21.pdf>.
27. Босий М.В., Лисенко А.Я., Мануйлович А.В., Панішко О.В., Баркар М.М. Геотермальний тепловий насос «ґрунт-вода». 2-га Міжнародна науково-практична конференція «*Сучасні дослідження у світовій науці*» (15–17 травня). *НБЦ «Sci-conf.com.ua»*. Львів, Україна. ISBN 978-966-8219-86-3. 2022. С. 406–413. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/05/MODERN-RESEARCH-IN-WORLD-SCIENCE-15-17.05.22.pdf>.
28. Босий М.В., Боса О.А., Лисенко А.Я., Мануйлович В.В., Бельченков Є.В., Шевченко О.А., Герасименко І.О. Термодинамічне дослідження циклу теплового насоса «ґрунт-вода». XI Міжнародна науково-практична конференція «*Євразійські наукові дискусії*» (21–23 листопада). *Barca Academy Publishing*, Барселона, Іспанія. 2022. С. 97–103. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/11/EURASIAN-SCIENTIFIC-DISCUSSIONS-21-23.11.22.pdf>.
29. Босий М.В., Боса О.А., Лисенко А.Я., Мануйлович А.А., Бельченков Є.В., Ботнаренко В.О., Авраменко Є.В. Тепловий насос «ґрунт-вода». 3-я Міжнародна науково-практична конференція «*Наука і технології: проблеми, перспективи та інновації*» (14–16 грудня 2022 р.). *CPN Publishing Group*, Осака, Японія. С. 163–168.
30. Босий М.В., Боса О.А., Лисенко А.Я., Мануйлович А.В., Бельченков Є.В., Шевченко О.А., Герасименко І.О. Енергоефективність циклу теплового насоса «ґрунт-вода». I Міжнародна науково-практична конференція «*Наукові дослідження в сучасному світі*» (9–11 листопада). *Perfect Publishing*, Торонто, Канада. 2022. С. 303–309. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/11/SCIENTIFIC-RESEARCH-IN-THE-MODERN-WORLD-9-11.11.22.pdf>.



**ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USING THE HEAT PUMP AND TRADITIONAL HEAT SUPPLY SYSTEMS**

**Mykola Bosyi**

Lecturer at the Department of Materials Science and Foundry

Central Ukrainian National Technical University, University ave., 8, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25031, bosiymv@ukr.net

ORCID: 0000-0002-3090-0427

**Olena Bosa**

Laboratory Assistant of the Department Of Materials Science and Foundry Production Central Ukrainian National Technical University, University ave., 8, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25031, bosaoa@ukr.net

ORCID: 0000-0001-7621-6631

**Yevhenii Avramenko**

Student of the Department of Materials Science and Foundry Production

Central Ukrainian National Technical University, University ave., 8, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25031

**Ihor Gerasimenko**

Student of the Department of Materials Science and Foundry Production

Central Ukrainian National Technical University, University ave., 8, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25031

**Purpose.** The changes taking place in the energy production of Ukraine require the development and use of modern technologies for heat supply and hot water supply. **Methodology.** The article examines the use of a heat pump (HT) operating on alternative environmental energy sources for heating and hot water supply of residential buildings. The aim of the work is to evaluate the effectiveness of the DHW cycle in heating and hot water systems of residential buildings. Results. An analysis of the characteristics was carried out and the peculiarities of the operation of TN for residential buildings were evaluated. The factors that affect the energy efficiency of TN are determined. To increase the efficiency of traditional heat supply systems, a scheme of a heat pump system for the selection of low-potential heat using TN is proposed. **Originality.** On the basis of the conducted studies, it was established that TN can work almost everywhere and do not require the arrangement of a low-temperature circuit. A promising way to increase the efficiency of heat supply equipment in residential buildings is the use of heating during the annual cycle of its operation. TNs have a significant advantage over other thermal power plants. They consume energy from renewable sources, reduce electricity costs by more than half – this is a fully automated device. **Practical value.** The use of TN for the disposal of low-potential heat flows is economically beneficial and the cost of heat supply is UAH 7.980 compared to traditional gas heating systems of UAH 15.904 and electric heating of UAH 28.560 for a residential building with an area of 100 m<sup>2</sup> per year. The analysis of the efficiency of heat supply systems shows that in modern economic conditions, the trend of heat supply systems can develop with the use of steam-compression TNs, this can significantly improve the economic and technical characteristics of heat supply equipment for residential buildings.

**Key words:** heat pump, traditional heating system, low-potential heat source, heat supply systems, transformation coefficient, exergetic efficiency coefficient of TN.

**REFERENCES**

1. Bezrodnyi, M.K., Prytula, N.O. (2013). Termodynamichna efektyvnist teplonasosnykh skhem teplopostachannia [Thermodynamic efficiency of heat pump heat supply schemes]. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. № 3. S. 39–45 [in Ukrainian].
2. Bezrodnyi, M.K., Halan, M.A. (2011). Termodynamichna efektyvnist teplonasosnykh system povitrianoho opalennia [Thermodynamic efficiency of heat pump air heating systems]. *Naukovi visti NTU «KPI»*. № 6. S. 30–35 [in Ukrainian].
3. Bosyi, M.V. (2022). Teplovi nasosy dlia opalennia ta hariachoho vodopostachannia ahropromyslovykh pidpriemstv [Thermodynamic efficiency of heat pump air heating systems]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya «Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv»*. Vypusk № 2 (48). S. 3–8.
4. Maliarenko, V.A., Lysak, L.V. (2004). Enerhetyka, dovykillia, enerhozberezhennia [Energy, environment, energy saving]. Kharkiv: Rubikon. 368 s. [in Ukrainian]
5. Bezrodnyi, M.K., Pukhovi, I.I., Kutra, D. S. (2013). Teplovi nasosy ta yikh vykorystannia [Heat pumps and their use]. *Navchalnyi posibnyk*. Kyiv: NTUU «KPI». 312 s. [in Ukrainian].
6. Ostapenko, O.P. (2015). Kholodylna tekhnika i tekhnolohiia [Heat pumps and their use]. *Teplovi nasosy*.

Navchalnyi posibnyk. Vin-nytsia: VNTU. 123 s. [in Ukrainian].

7. Arseniev, V.M., Meleichuk, S.S. (2018). Teplovi nasosy: osnovy teorii i rozrakhunku [Heat pumps: basics of theory and calculation]. Navchalnyi posibnyk. Sumy: SDU. 364 s. [in Ukrainian].

8. Arseniev, V.M. (2009). Teplonasosna tekhnolohiia enerhozberezhennia [Heat pump energy saving technology]. Sumy: Vyd-vo. SDU. 251 s. [in Ukrainian].

9. Bosyi, M.V., Kuzyk, O.V. (2022). Teplovi nasosy dlia opalennia ta ha-riachoho vodopostachannia. Rezultaty suchasnykh inzhenernykh doslidzhen i rozrobok [Heat pumps for heating and hot water supply. Results of modern engineering research and development]. Naukova monohrafiia. Ryha. Latviia: «Baltija Publishing». S. 24–40. Retrieved from: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217> [in Ukrainian].

10. Pysariiev, V.Ye. (2002). Teplovi nasosy ta kholodylni ustanovky [Heat pumps and refrigeration units]. Navchalnyi posibnyk. Kyiv: KNUBA. 124 s. [in Ukrainian].

11. Sniezhkin, Yu.S., Chalaiev, D.M., Shavrin, V.S., Dabizha, N.O. (2008). Teplovi nasosy v systemakh teplo-kholodopostachannia [Heat pumps in heating and cooling systems]. Pid. red. akad. NAN Ukrainy A.A. Dolynskoho. NAN Ukrainy, Instytut tekhnichnoi teplofizyky. 104 s. [in Ukrainian].

12. Bezrodnyi, M.K., Prytula, N.O. (2012). Enerhoefektyvnist teplonasosnykh skhem teplopostachannia [Energy efficiency of heat pump schemes of heat supply]. Monohrafiia. Kyiv: NTUU «KPI». 208 s.

13. Shevel, V.Y. (2004). Rabota kompressorov serijnogo ispolneniia na smeci propan-butan v teplonasosnom rezhime raboty [The operation of series compressors for propane-butane oil in the heat pump mode of operation]. *Kompressornaia tekhnika y pnevmatika v XXI veke: XIII Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaiia konferentsiia po kompressorostroenyiu*. Sumy: SumHU. S. 239–244 [in Ukrainian].

14. Khmelniuk, M.H., Martyniuk, M.O. (2008). Pidvyshchennia efektyvnosti ustanovky nyzkotemperaturnoi kondensatsii pryrodnoho hazu [Increasing the efficiency of the low-temperature natural gas condensation installation]. Odesa: ODAKh. *Tekhnichni hazy*. № 4. S. 30–35 [in Ukrainian].

15. Bosyi, M.V., Kuzyk, O.V. (2020). Efektyvnist tsykladu teplovoho nasosa dlia teplopostachannia [Efficiency of the heat pump cycle for heat supply]. *Tsentralkoukrainskyi naukovi visnyk. Tekhnichni nauky*. № 3(34). S. 136–142. Retrieved from: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10447> [in Ukrainian].

16. Bosyi, M.V. (2022). Termodynamichna enerhoefektyvnist heater-malnoho teplovoho nasosa na hruntovykh vodakh [Thermodynamic energy efficiency of a geothermal heat pump on groundwater]. Moderni aspekty vedy: XX. Dil mezinarodni kolektivni monografii. Mezinarodni Ekonomicky Institut s.r.o. Ceska republika: Vydavnycha hrupa. «Vedecká perspektiva». S. 556–568.

Retrieved from: [http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36\\_I.html](http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_I.html) [in Ukrainian].

17. Bosyi, M.V. (2022). Teplovi nasosy enerhoefektyvne vidnovliuvalne ekolohichno chysto dzherelo toploty [Heat pumps are an energy-efficient, renewable, environmentally friendly source of heat]. Moderni aspekty vedy: XXI Dil mezinarodni kolektivni monografii. Mezinarodni Ekonomicky Institut s.r.o. Ceska republika: Vydavnycha hrupa. «Vedecká perspektiva». S. 357–380. Retrieved from: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-21.pdf> [in Ukrainian].

18. Moroziuk, T.V. (2006). Teoriia holodilnykh mashin i teplovykh nasosov [Theory of refrigerating machines and heat pumps]. Odessa: Studyia «Nehotsyant». 712 s. [in Ukrainian].

19. Tkachenko, S.I., Ostapenko, O.P. (2009). Parokompresiini teplonasosni ustanovky v systemakh teplopostachannia [Steam compression heat pump installations in heat supply systems]. Monohrafiia. Vinnytsia: VNTU. 176 s. [in Ukrainian].

20. Arseniev, V.M., Hrechanenko, V.A. (2002). Ekserhetychna otsinka efektyvnosti teplonasosnoi tekhnolohii enerhozberezhennia [Exergetic evaluation of the efficiency of heat pump energy-saving technology]. *Visnyk Sum-DU*. № 9 (42). S. 81–85 [in Ukrainian].

21. Sirko, Z.S., Korenda, V.A., Vyshniakov, I.Yu., Protasov, O.S., Okhrimenko, S.M., Tsiren, N.L. (2020). Vykorystannia teplovykh nasosiv dlia opalennia ta hariachoho vodopostachannia budivel pidpriemstv na prykladi ustanovok Heliotherm [The use of heat pumps for heating and hot water supply of enterprise buildings on the example of Heliotherm installations]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy. Tekhnolohiia ta enerhetyka silskohospodarskoi promyslovosti*. № 5 (87) [in Ukrainian].

22. Bosyi, M.V., Kropivnyi, V.M., Kuzyk, O.V., Kropivna, A.V., Molokost, L.A. (2022). Termodynamichna enerhoefektyvnist parokompresiinoho teplovoho nasosa na hruntovykh vodakh [Thermodynamic energy efficiency of a vapor compression heat pump on groundwater]. *Tsentralkoukrainskyi naukovi visnyk. Tekhnichni nauky*. Kropyvnytskyi. № 5(36). S. 47–54. Retrieved from: [http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36\\_I.html](http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_I.html) [in Ukrainian].

23. Bosyi, M.V., Kropivnyi, V.M., Kuzyk, O.V. (2022). Termodynamichne doslidzhennia tsykladu teplovoho nasosa «grunt-voda» dlia systemy opalennia prymyshchennia [Thermodynamic study of the “soil-water” heat pump cycle for the room heating system]. *Naukovi zhurnal Visnyk Kremenchutskoho na-tSIONalnoho universytetu imeni M. Ostrohradskoho*. Kremenchuk. № 1(132). S. 165–172. Retrieved from: <http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/pravila.php> [in Ukrainian].

24. Bosyi, M.V. (2022). Enerhetychna efektyvnist povitrianoho teplovoho nasosa na ekolohichno chystomu robochomu tili propani [Energy efficiency of an air source heat pump on an environmentally friendly propane fuel]. *Naukovi zhurnal «Vcheni zapysky Tavrskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho»*. Serii: Tekhnichni nauky». Kyiv. T. 33 (72). № 4. S. 144–148. DOI:

<https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/22>. Retrieved from: <https://tech.vernadskyjournals.in.ua/33-72-4>.

25. Bosyi, M.V., Lysenko, A.Ya., Manuilovych, V.V., Panishko, O.V. (2021). Efektyvnist tsykladu heotermal-noho teplovoho nasosa [Efficiency of the geothermal heat pump cycle]. V Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Aktualni problemy suchasnoi nauky, suspilstva ta osvity» (28–30 lystopada) *NVTs «Sci-conf.com.ua»*. Kharkiv, Ukraina. S. 418–422. Retrieved from: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/TOPICAL-ISSUES-OF-MODERN-SCIENCE-SOCIETY-AND-EDUCATION-28-30.11.21.pdf> [in Ukrainian].

26. Bosyi, M.V., Lysenko, A.Ya., Manuilovych, V.V., Barkar, M.M. (2021). Termodynamichna enerhoefektyvnist heotermalnoho teplovoho nasosa «voda-voda» [Thermodynamic energy efficiency of the water-to-water geothermal heat pump]. 3-ya Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Suchasna nauka: innovatsii ta perspektyvy» (5–7 hrudnia) *SSPG Publish, Stockholm, Shvetsiia*. ISBN 978-91-87224-02-7. 1036s [in Ukrainian]. Retrieved from: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/MODERN-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-5-7.12.21.pdf>.

27. Bosyi, M.V., Lysenko, A.Ya., Manuilovych, A.V., Panishko, O.V., Barkar, M.M. (2022). Heotermalnyi teplovyi nasos «grunt-voda» [Ground-water geothermal heat pump]. 2-ha Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Suchasni doslidzhennia u svitovii nautsi» (15–17 travnia) *NVTs «Sci-conf.com.ua»*. Lviv, Ukraina. ISBN 978-966-8219-86-3. S. 406–413. Retrieved from: [\[RESEARCH-IN-WORLD-SCIENCE-15-17.05.22.pdf\]\(https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/05/MODERN-RESEARCH-IN-WORLD-SCIENCE-15-17.05.22.pdf\) \[in Ukrainian\].](https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/05/MODERN-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

28. Bosyi, M.V., Bosa, O.A., Lysenko, A.Ya., Manuilovych, V.V., Belchenkov, Ye.V., Shevchenko, O.A., Herasymenko, I.O. (2022). Termodynamichne doslidzhennia tsykladu teplovoho nasosa «grunt-voda» [Thermodynamic study of the soil-water heat pump cycle]. XI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Ievraziiski naukovy diskusii» (21–23 lystopada). *Barca Academy Publishing*, Barselona, Ispaniia. S. 97–103. Retrieved from: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/11/EURASIAN-SCIENTIFIC-DISCUSSIONS-21-23.11.22.pdf> [in Ukrainian].

29. Bosyi, M.V., Bosa, O.A., Lysenko, A.Ya., Manuilovych, A.A., Belchenkov, Ye.V., Botnarenko, V.O., Avramenko, Ye.V. (2022). Teplovyi nasos «grunt-voda» [Ground-water heat pump]. 3-ya Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Nauka i tekhnolohii: problemy, perspektyvy ta innovatsii» (14–16 hrudnia r.) *CPN Publishing Group*, Osaka, Yaponiia. S. 163–168 [in Ukrainian].

30. Bosyi, M.V., Bosa, O.A., Lysenko, A.Ya., Manuilovych, A.V., Belchenkov, Ye.V., Shevchenko, O.A., Herasymenko, I.O. (2022). Enerhoefektyvnist tsykladu teplovoho nasosa «grunt-voda» [Energy efficiency of the soil-water heat pump cycle]. I Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Naukovy doslidzhennia v suchasnomu sviti» (9–11 lystopada) *Perfect Publishing*, Toronto, Kanada. S. 303–309. Retrieved from: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/11/SCIENTIFIC-RESEARCH-IN-THE-MODERN-WORLD-9-11.11.22.pdf> [in Ukrainian].

*Стаття надійшла 02.02.2023*