

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛООВОГО НАСОСА «ВОДА – ВОДА»
ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ МАШИНОБУДУВАННЯ
ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

М.В. Босій¹, О.А. Боса²

¹викладач кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва,
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-3090-0427

²лаборант кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва,
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-7621-6631

Анотація

Вступ. У статті розглядається проблема застосування теплового насоса «вода – вода» (ТН «вода – вода»), який працює на альтернативних джерелах енергії, для теплопостачання та гарячого водопостачання будівель підприємств машинобудування у виробництві конструкційних матеріалів. Тепловий насос «вода – вода» у своїй роботі може використовуввати низькопотенційну теплоту води річок, озер, підземних вод. **Метою** роботи є термодинамічне обґрунтування та дослідження доцільності використання теплового насоса на підприємствах машинобудування під час виробництва конструкційних матеріалів. **Результати.** Виконано аналіз термодинамічних характеристик теплових насосів «вода – вода», що працюють з водним джерелом низькопотенційної теплоти. Визначено чинники, які впливають на енергетичну ефективність теплових насосів «вода – вода», оцінені особливості роботи водяних теплових насосів для підприємств машинобудування у виробництві конструкційних матеріалів. Для підвищення термодинамічної ефективності роботи системи теплопостачання підприємств машинобудування під час виробництва конструкційних матеріалів запропоновано схему вилучення низькопотенційної теплоти з використанням теплових насосів «вода – вода». На підставі проведених досліджень встановлено, що перевагою води як теплоносія є те, що теплові насоси «вода – вода» можуть працювати практично повсюди. Натепер перспективним способом підвищення ефективності системи теплопостачання підприємств машинобудування у виробництві конструкційних матеріалів є використання теплового насоса «вода – вода» за річного циклу його роботи. Тому теплонасосна система «вода – вода» забезпечує високу теплопродуктивність протягом усього року та має вищий показник енергетичної ефективності порівняно із традиційними установками. Теплові насоси «вода – вода» мають значну перевагу перед іншими теплоенергетичними установками. Теплові насоси «вода – вода» споживають енергію відновлювальних джерел і знижують витрати на електропостачання. **Висновки.** Застосування теплових насосів «вода – вода» для утилізації низькопотенційної теплової енергії ґрунтових вод економічно вигідно, тому що вартість теплопостачання

тепловим насосом становить 7 980 гривень на рік для житлового будинку площею 100 м². Аналіз термодинамічної ефективності систем теплопостачання показує, що використання низькопотенційного джерела тепоти ґрунтових вод має переваги над джерелами теплоти ґрунту та повітря. У сучасних економічних умовах тенденція систем теплопостачання підприємств машинобудування під час виробництва конструкційних матеріалів може розвиватися в таких напрямках: застосування парокомпресійного теплового насоса «вода – вода», який має коефіцієнт трансформації теплоти 3,15 і ексергетичний ККД ТН 32%, використання вторинних енергоресурсів підприємств машинобудування у виробництві конструкційних матеріалів, а також можливе підвищення теплотехнічних характеристик машинобудівних будівель.

Ключові слова: ТН «вода – вода», цикл ТН, низькопотенційне джерело теплоти, ґрунтова вода, повітря, ґрунт, системи теплопостачання, коефіцієнт трансформації, термодинамічна ефективність.

EFFICIENCY OF THE “WATER – WATER” HEAT PUMP FOR HEAT SUPPLY OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS

M.V. Bosyi¹, O.A. Bosa²

¹Lecturer at the Department of Materials Science and Foundry,
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-3090-0427

²Laboratory Assistant at the Department of Materials Science and Foundry,
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-7621-6631

Summary

Introduction. The article examines the problem of using a water-to-water heat pump (water-to-water heat pump), which works on alternative energy sources for heat and hot water supply to buildings of engineering enterprises in the production of structural materials. TN “water – water” in its work can use the low-potential heat of water of rivers, lakes, and underground waters. **Purpose.** The purpose of the work is the thermodynamic substantiation and study of the expediency of using TN at machine-building enterprises in the production of structural materials. **Results.** An analysis of the thermodynamic characteristics of “water – water” TNs operating with a water source of low-potential heat was performed. The factors that affect the energy efficiency of “water – water” TN are determined, the peculiarities of water TN work for engineering enterprises in the production of structural materials are evaluated. In order to increase the thermodynamic efficiency of the heat supply system of machine-building enterprises in the production of structural materials, a scheme for extracting low-potential heat using the “water – water” TN is proposed. On the basis of the conducted research, it was established that the advantage of water as a heat carrier is that “water – water” TNs can work almost everywhere. Currently, a promising method of increasing the efficiency of the heat supply system of machine-building enterprises in the production of construction materials is the use of “water – water” TN during the annual cycle of its operation. Therefore,

*the water-to-water heat pump system provides high heat productivity throughout the year and has a higher energy efficiency index compared to traditional installations. TN “water – water” have a significant advantage over other thermal power plants. “Water – water” TNs consume energy from renewable sources, reduce electricity supply costs by more than half. **Conclusions.** The use of “water – water” TN for the utilization of low-potential heat energy of groundwater is economically beneficial, because the cost of heat supply by a heat pump is UAH 7 980 for a residential building with an area of 100 m² per year. The analysis of the thermodynamic efficiency of heat supply systems shows that the use of a low-potential source of ground water heat has advantages over ground and air heat sources. In modern economic conditions, the trend of heat supply systems of machine-building enterprises in the production of structural materials can develop in the following directions: the use of vapor-compression TN “water – water”, which has a heat transformation coefficient of 3,15 and an exergy efficiency of TN of 32%, and the use of secondary energy resources of machine-building enterprises in the production of structural materials, as well as possible improvement of the thermal characteristics of machine-building buildings.*

Key words: TN “water – water”, TN cycle, low-potential heat source groundwater, air, soil, heat supply systems, transformation coefficient, thermodynamic efficiency.

Вступ. Нині з використанням викопних органічних видів палива та зростанням цін на енергоносії в Україні, як і у світі загалом, необхідно застосовувати та впроваджувати найновіші технології з використанням відновлювальних альтернативних природних джерел енергії, які відкривають для сьогодення можливість до енергозбереження та зменшення викидів парникових газів у довкілля – це теплові насоси [1–8].

На сучасному етапі розвитку енергоефективних екологічно чистих теплонасосних технологій для систем теплопостачання сучасним екологічним і найефективнішим джерелом енергії для системи опалення є використання енергії підземних вод. Тому теплові насоси (далі – ТН) «вода – вода» працюють з високими показниками ефективності та за опалювальний період заощаджують до 65% коштів у порівнянні із традиційною системою опалення газовим котлом [8–14].

Постановка проблеми. Застосування для теплопостачання традиційних теплоенергетичних установок потребує відповідних фінансових затрат зі скороченням запасів різних видів органічного палива та зростанням цін на енергоносії. Тому на даному етапі розвитку галузі теплопостачання необхідно впроваджувати теплонасосні технології з використанням відновлювальних альтернативних джерел енергії, які відкривають можливість до енергозбереження та зменшення викидів парникових газів в атмосферу [1–3]. А також важливим завданням є аналіз ефективності теплових процесів у системах теплопостачання із застосуванням теплонасосних технологій. Це дасть змогу оцінити ефективність ТН на основі використання ексергетичного методу для проєктування високоефективного енерготехнологічного обладнання [3].

Проблема зниження затрат на опалення та гаряче водопостачання актуальна також для підприємств машинобудування, які виробляють конструкційні матеріали [11–14].

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

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У країнах Європи, Америки й Азії ТН використовуються вже понад 35 років для теплопостачання житлових і офісних будівель, а також різних приміщень. Найбільші енергетичні компанії проєктують, виготовляють і впроваджують ТН. Досвід зарубіжних країн, як-от Швеція, Фінляндія, Німеччина тощо, доводить доцільність застосування ТН. У проєктуванні та реконструкції сучасних систем теплопостачання необхідно враховувати можливість використання технології ТН. Застосування ТН у комплексі із традиційною стемою теплопостачання для систем опалення, кондиціонування та вентиляції великих об'єктів забезпечує цілковиту автономність зон регулювання й істотну економію паливно-енергетичних ресурсів навіть у разі використання традиційних джерел енергії [12–14].

ТН переносить теплоту від більш холодного тіла до більш нагрітого завдяки випаровуванню та конденсації, за використання практично всіх джерел низькопотенційної теплоти. Теплонасосні установки (далі – ТНУ) доцільно використовувати в системах теплопостачання тому, що вони показали свою ефективність завдяки передачі споживачеві у 3–5 разів більше енергії, ніж витрачають на її передачу [1–3]. Окрім того, у ТН використовуються екологічно чисті технології, практично без викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище [4].

Термодинамічний цикл ТН аналогічний холодильній машині, але навпаки. У ТН конденсатор є теплообмінним апаратом, що виділяє теплоту для споживача, а випарник – теплообмінним апаратом, що утилізує низькопотенційну теплоту. Дросельний вентиль регулює тиск і температуру робочого тіла після його конденсації в конденсаторі [12–15].

Найбільшого використання ТНУ набувають для теплопостачання, гарячого водопостачання житлових і виробничих будівель, забезпечення тепловою енергією потрібного потенціалу низки технологічних процесів.

Тому проведення термодинамічного дослідження ТН на природних джерелах теплоти для системи теплопостачання машинобудівного підприємства під час виробництва конструкційних матеріалів нині є актуальним завданням.

Формулювання цілей статті. Метою статті є термодинамічне обґрунтування та дослідження доцільності використання ТН «вода – вода» на підприємствах машинобудування у виробництві конструкційних матеріалів.

Виклад основного матеріалу. Нами запропонована принципова схема ТН «вода – вода» для системи теплопостачання машинобудівного підприємства у виробництві конструкційних матеріалів, яка наведена на рис. 1.

Робота ТН «вода – вода» за запропонованою принциповою схемою (рис. 1) така. Пара, що утворюється у випарнику, надходить до компресора, де тиск робочого тіла ТН значно підвищується, і далі надходить до конденсатора. У конденсаторі робоче тіло ТН конденсується з відведенням теплоти до робочого тіла (теплоносія) контура опалення. Після цього конденсат первинного робочого тіла через дросель знову підводиться до випарника.

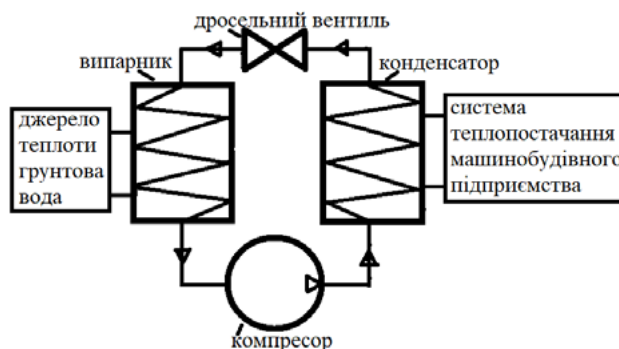


Рис. 1. Запропонована принципова схема ТН «вода – вода» для системи теплопостачання машинобудівного підприємства під час виробництва конструкційних матеріалів

У термодинамічному розрахунку ТН задаємось джерелом теплоти низького потенціалу (ґрунтова вода) з температурою на вході у випарник $t_{в1} = 10^\circ\text{C}$, а на виході з нього $t_{в2} = 6^\circ\text{C}$. Температура води із системи теплопостачання на вході в конденсатор $t_{к2} = 35^\circ\text{C}$. Температура води на виході із конденсатора $t_{к1} = 65^\circ\text{C}$. Теплопродуктивність ТН $Q_T = 35$ кВт. Робочий агент R134a.

Приймаємо кінцеву різницю температур у випарнику:

$$\Delta t_b = t_{в2} - t_o = 3^\circ\text{C}. \quad (1)$$

Знаходимо температуру випаровування t_o :

$$t_o = t_{в2} - \Delta t_b = 6 - 3 = 3^\circ\text{C}. \quad (2)$$

Задаємось кінцевою різницею температур у конденсаторі:

$$\Delta t_k = t_{к1} + t_{к2} = 5^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Визначаємо температуру конденсації:

$$t_k = t_{к1} + \Delta t_k = 65 + 5 = 70^\circ\text{C}. \quad (4)$$

За допомогою p - h -діаграми для R134a знаходимо параметри робочого агента в таких характерних точках, як показано на рис. 2:

точка 1: $t_1 = t_o = 3^\circ\text{C}$	$p_1 = 0,35$ МПа	$h_1 = 400$ кДж/кг
точка 2: $t_2 = 70^\circ\text{C}$	$p_2 = 2,1$ МПа	$h_2 = 440$ кДж/кг
точка 3: $t_3 = 70^\circ\text{C}$	$p_3 = 2,1$ МПа	$h_3 = 300$ кДж/кг
точка 4: $t_4 = 3^\circ\text{C}$	$p_4 = 0,35$ МПа	$h_4 = 300$ кДж/кг

Внутрішня робота компресора:

$$L_b = h_2 + h_1 = 400 - 300 = 40 \text{ кДж/кг}. \quad (5)$$

Питоме теплове навантаження випарника:

$$q_o = h_1 - h_4 = 400 - 300 = 100 \text{ кДж/кг}. \quad (6)$$

Питоме теплове навантаження конденсатора:

$$q_k = h_2 - h_3 = 440 - 300 = 140 \text{ кДж/кг}. \quad (7)$$

Масова витрата робочого агента:

$$G = Q_T / q_k = 35 / 140 = 0,25 \text{ кг/с}. \quad (8)$$

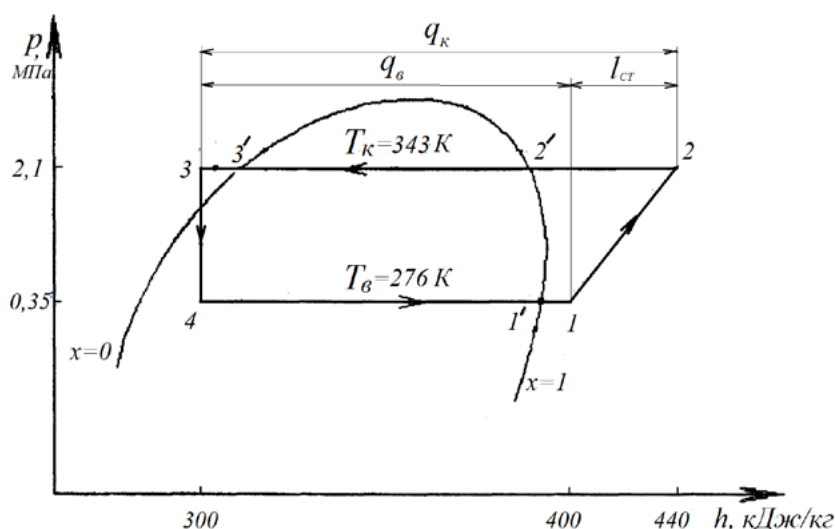


Рис. 2. Цикл ТН «грунтова вода – вода» у p - h -діаграмі

Об'ємна продуктивність компресора:

$$V_1 = 0,25 \cdot 0,275 = 0,068 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (9)$$

Розрахункове теплове навантаження випарника:

$$Q_o = q_o \cdot G = 100 \cdot 0,25 = 25 \text{ кВт}. \quad (10)$$

Розрахункове теплове навантаження конденсатора:

$$Q_k = q_k \cdot G = 140 \cdot 0,25 = 35 \text{ кВт}. \quad (11)$$

Приймаємо електромеханічний ККД компресора $\eta_{ем} = 0,9$.

Визначаємо питому роботу компресора:

$$L_{км} = L_b / \eta_{ем} = 40 / 0,9 = 44,4 \text{ кДж/кг}. \quad (12)$$

Питома витрата електроенергії на одиницю виробленої теплоти:

$$\varepsilon_{ТП} = L_{км} / q_k = 44,4 / 140 = 0,32. \quad (13)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_e = L_{км} \cdot G = 44,4 \cdot 0,25 = 11,1 \text{ кВт}. \quad (14)$$

Коефіцієнт трансформації ТН [16–18]:

$$COP = q_k / L_{км} = 3,15. \quad (15)$$

Середня температура низькопотенційного джерела теплоти (тепловіддавача):

$$T_{н,сеп} = (283 + 279) / 2 = 281 \text{ К}, \quad t_{н,сеп} = 8^\circ \text{С}. \quad (16)$$

Середня температура одержаної теплоти:

$$T_{в,сеп} = (343 + 308) / 2 = 325,5 \text{ К}, \quad t_{в,сеп} = 52,5^\circ \text{С}. \quad (17)$$

Ексергетичний коефіцієнт корисної дії ТНУ:

$$\eta_e = q_k \cdot 0,1 / L_{км} = 140 \cdot 0,1 / 44,4 = 0,32. \quad (18)$$

Виконаємо також порівняльний термодинамічний розрахунок ТН для низькопотенційного джерела теплоти ґрунту та повітря.

Температура на вході у випарник ($t_{\text{ґрунт.в1}} = 8^\circ\text{C}$, $t_{\text{пов.в1}} = 7^\circ\text{C}$), на виході з нього ($t_{\text{ґрунт.в2}} = 4^\circ\text{C}$, $t_{\text{пов.в2}} = 3^\circ\text{C}$). Температура води із системи теплопостачання на вході в конденсатор: $t_{\text{к2}} = 35^\circ\text{C}$. Температура води на виході з конденсатора: $t_{\text{к1}} = 65^\circ\text{C}$. А тиски випаровування та конденсації для (ґрунту та повітря) становлять $p_{\text{1ґр.вип.}} = 0,31$ МПа; $p_{\text{1пов.вип.}} = 0,30$ МПа; $p_{\text{2пов.вип.}} = 2,1$ МПа.

Температура випаровування для джерел теплоти (ґрунт, повітря), t_0 :

$$t_{0\text{ґр.}} = t_{\text{в2}} - \Delta t_{\text{в}} = 4 - 3 = 1^\circ\text{C}. \quad (19)$$

$$t_{0\text{пов.}} = t_{\text{в2}} - \Delta t_{\text{в}} = 3 - 3 = 0^\circ\text{C}. \quad (20)$$

Температура конденсації агента R134a для джерел теплоти (ґрунт, повітря): $t_{\text{к}} = 70^\circ\text{C}$.

Внутрішня робота компресора:

$$L_{\text{вґр.}} = h_2 - h_1 = 440 - 395 = 45 \text{ кДж/кг}. \quad (21)$$

$$L_{\text{впов.}} = h_2 - h_1 = 440 - 390 = 50 \text{ кДж/кг}. \quad (22)$$

Питоме теплове навантаження випарника:

$$q_{0\text{ґр.}} = h_1 - h_4 = 395 - 300 = 95 \text{ кДж/кг}. \quad (23)$$

$$q_{0\text{пов.}} = h_1 - h_4 = 390 - 300 = 90 \text{ кДж/кг}. \quad (24)$$

Питоме теплове навантаження конденсатора:

$$q_{\text{кґр.}} = h_2 - h_3 = 440 - 300 = 140 \text{ кДж/кг}. \quad (25)$$

$$q_{\text{кпов.}} = h_2 - h_3 = 440 - 300 = 140 \text{ кДж/кг}. \quad (26)$$

Питома робота компресора:

$$L_{\text{кмґр.}} = L_{\text{в}} / \eta_{\text{ем}} = 40 / 0,9 = 50 \text{ кДж/кг}. \quad (27)$$

$$L_{\text{кмпов.}} = L_{\text{в}} / \eta_{\text{ем}} = 50 / 0,9 = 55,5 \text{ кДж/кг}. \quad (28)$$

Коефіцієнт трансформації ТН [16–18]:

$$COP_{\text{ґр.}} = q_{\text{к}} / L_{\text{км}} = 140 / 50 = 2,8. \quad (29)$$

$$COP_{\text{пов.}} = q_{\text{к}} / L_{\text{км}} = 140 / 55,5 = 2,52. \quad (30)$$

Ексергетичний коефіцієнт корисної дії ТН:

$$\eta_{\text{ґр.}} = q_{\text{к}} \cdot 0,1 / L_{\text{км}} = 140 \cdot 0,1 / 50 = 0,28. \quad (31)$$

$$\eta_{\text{пов.}} = q_{\text{к}} \cdot 0,1 / L_{\text{км}} = 140 \cdot 0,1 / 55,5 = 0,25. \quad (32)$$

Результати порівняльного термодинамічного розрахунку й аналізу показують, що ТН «вода – вода» має переваги над ТН «ґрунт – вода» та «повітря – вода».

Висновки. ТН «вода – вода» з робочим агентом R134a є надійним, ефективним, безпечним і екологічним джерелом відновлювальної енергії для використання в системах опалення та гарячого водопостачання.

Ефективність парокомпресійного ТН «вода – вода» значною мірою залежить від температури низькопотенційних джерел теплоти. Розрахований коефіцієнт трансформації ТН «вода – вода», який використовує джерело енергії підземних

вод, дорівнює $COP = 3,15$, а ексергетичний коефіцієнт корисної дії ТНУ становить $\eta_e = 0,32$, також треба ще враховувати термодинамічні властивості робочого тіла, на якому працює ТН. Тому найбільшим потенціалом із природних низькотемпературних джерел теплоти є теплота ґрунтових вод для ТН, які працюють на робочому агенті R134a.

За температури низькопотенційного джерела теплоти ґрунтової води 10°C ТН «вода – вода» переносить теплоту для системи теплопостачання ефективніше, ніж традиційні системи опалення. Тому у проектуванні систем теплопостачання з використанням ТН «вода – вода» необхідно враховувати цей чинник [6; 11; 12; 14; 15; 19–22].

Застосування ТН «вода – вода» буде економічно вигідніше, ніж усі традиційні технології на ринку теплопостачання. Вартість опалення на обігрів будинку за сезон твердопаливним котлом становить 16 089 грн, електричним котлом – 28 560 грн, газовим котлом – 15 904 грн, а вартість теплопостачання тепловим насосом становить 7 980 грн на рік для житлового будинку площею 100 м^2 . Такий результату зумовлено тим, що обладнання ТН «вода – вода» не виробляє теплоту, а переносить її до споживача [22].

ЛІТЕРАТУРА

1. Про внесення змін до Закону України «Про теплопостачання» щодо стимулювання виробництва теплової енергії з альтернативних джерел енергії : Закон України № 1959–VIII від 21.03.2017 р.
2. Маляренко В.А., Лисак Л.В. Енергетика, довкілля, енергозбереження. Харків : Рубікон, 2004. 368 с.
3. Теплові насоси та їх використання : навчальний посібник / М.К. Безродний та ін. 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 розрахунок : навчальний посібник. Суми : СДУ, 2018. 364 с.
6. 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>.
7. Пісарев В.Є. Теплові насоси та холодильні установки : навчальний посібник. Київ : КНУБА, 2002. 124 с.
8. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання : монографія / Ю.Ф. Снежкін та ін. ; за ред. А.А. Долінського ; НАН України, Ін-т техн. теплофізики. Київ, 2008. 104 с.
9. Безродний М.К., Притула Н.О. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 208 с.
10. Босий М.В., Кузик О.В. Ефективність циклу теплового насоса для теплопостачання. *Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2020. Вип. 3 (34). С. 136–142. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10447>.

11. 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. Str. 556–568. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-20.pdf>.
12. 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>.
13. Ткаченко С.Й., Остапенко О.П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2009. 176 с.
14. Термодинамічна енергоефективність парокомпресійного теплового насоса на ґрунтових водах / М.В. Босий та ін. *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.
15. Термодинамічне дослідження циклу теплового насосу «ґрунт – вода» для системи опалення приміщення / М.В. Босий та ін. *Вісник Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського*. 2022. №1 (132). С.165–172. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.1.22>.
16. Використання теплових насосів для опалення та гарячого водopостачання будівель підприємств на прикладі установок Heliotherm / З.С. Сірко та ін. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. Техніка і енергетика агропромислового комплексу*. 2020. № 5 (87).
17. 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»*. 2022. Т. 33 (72). № 4. С. 144–148. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/22>.
18. Ефективність циклу геотермального теплового насосу / М.В. Босий та ін. *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. Kharkiv, Ukraine, 2021. 2101 p. P. 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>.
19. Термодинамічна енергоефективність геотермального теплового насоса «вода – вода» / М.В. Босий та ін. *Modern science: innovations and prospects* : The 3rd International scientific and practical conference, 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>.

20. Геотермальний тепловий насос «грунт – вода» / М.В. Босий та ін. *Modern research in world science : The 2'nd International scientific and practical conference, 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>.
21. Оцінка термодинамічної ефективності геотермального теплового насоса для теплопостачання підприємств морського транспорту / М.В. Босий та ін. *Розвиток транспорту*. 2023. № 1 (16). С. 9–24. <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.01>.
22. Оцінка ефективності використання теплового насоса та традиційних систем теплопостачання / М.В. Босий та ін. *Вісник Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського*. 2023. Випуск 1 (1356). С. 11–21. URL: http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/visnik.php?id_nom=60 http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2023_1_1.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 teplopостachannya” shchodo stymulyuvannya vyrobnytstva teplovoyi enerhiyi z al'ternatyvnykh 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 [Kholodyl'na 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. 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. 24–40 [in Ukrainian]. URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217>.
7. Pisarev, V.E. (2002). Heat pumps and refrigeration units [Teplovi nasosy ta kholodyl'ni ustanovky]. Tutorial. K.: KNUBA. 124 p. [in Ukrainian].
8. Snezhkin, Y.F., Chalayev, D.M., Shavrin, V.S., & Dabyzha, N.O. (2008). Heat pumps in heating and cooling systems [Teplovi nasosy v systemakh teplokhoolodopostachannya]. 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].

9. 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].
10. 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>.
11. Bosyi, M.V. (2022). Thermodynamic energy efficiency of a geothermal heat pump on groundwater [Termodynamichna enerhoefektyvnist' heotermal'noho teplovoho nasosa na hruntovykh vodakh]. Modern aspects of science: XX. Díl international kolektivní monografie / International Economic Institute s.r.o. Česká republika: Publishing Group "Vědecká perspektiva". str. 556–568. <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-20.pdf> [in Ukrainian].
12. Bosyi, M.V. (2022). Heat pumps – an energyefficient regenerative ecologically clean source of heat [Teplovi nasosy – enerhoefektyvne vidnovlyuvane ekolohichne chyste dzherelo teploty] // Moderní aspekty védy: XXÍ Díl international kolektivní monografie International Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Publishing Group "Vědecká perspektiva". P. 357–380 [in Ukrainian]. <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-21.pdf>.
13. Tkachenko, S.Y., & Ostapenko, O.P. (2009). Steam compression heat pump installations in heat supply systems [Parokompresiyni teplonasosni ustanovky v systemakh teplopostachannya]. Monograph. Vinnytsia: VNTU. 176 p. [in Ukrainian].
14. Bosyi, M.V., Kropivny, V.M., Kuzyk, O.V., Kropivna, A.V., & Molokost L.A. (2022). Thermodynamic energy efficiency of a vapor compression heat pump on groundwater [Termodynamichna enerhoefektyvnist' parokompresiynoho teplovoho nasosa na hruntovykh vodakh] // *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences*. Kropyvnytskyi. Issue 5 (36), part I. P. 47–54 [in Ukrainian]. URL: http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_I.html.
15. 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] // *Scientific journal Visnyk of the Kremenchug National University named after M. Ostrogradskyi*. Kremenchuk: № 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>.
16. Sirko, Z.S., Korenda, V.A., Vyshnyakov, I.Yu., Protasov, O.S., Okhrimenko, S.M., & Tsieren, N.L. (2020). The use of heat pumps for heating and hot water supply of enterprise buildings on the example of Heliotherm installations [Vykorystannya teplovykh nasosiv dlya opalennya ta haryachoho vodopostachannya budivel' pidpryyemstv na prykladi ustanovok Heliotherm]. *Scientific reports of NUBiP of Ukraine. Technology and energy of agricultural industry*. № 5 (87). [in Ukrainian].

17. 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 journal "Scientific notes of V.I. Vernadsky Tavrii National University". Series "Technical sciences". Kyiv: Volume 33 (72), № 4. P. 144–148 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/22>. URL: <https://tech.vernadskyjournals.in.ua/33-72-4>.
18. Bosyi, M.V. Lysenko, A.Ya., Manuylovich, V.V., & Panishko, O.V. (2021). Efficiency of the geothermal heat pump cycle [Efektyvnist' tsykladu heotermal'noho teplovoho nasosu] // 5'th International scientific and practical conference "Actual issues of modern science, society and education". The 5'th 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>.
19. Bosyi, M.V. Lysenko, A.Ya., Manuylovich, V.V., & Barkar, M.M. (2021). Thermodynamic energy efficiency of geothermal heat pump "water – water" [Termodynamichna enerhoefektyvnist' heotermal'noho teplovoho nasosa "voda – voda"] // The 3'rd International scientific and practical conference "Modern science: innovations and prospects" (December 5–7, 2021). SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 1036p. ISBN978-91-87224-02-7[in Ukrainian]. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/MODERN-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-5-7.12.21.pdf>.
20. Bosyi, M.V., Lysenko, A.Ya., Manuylovich, A.V., Panishko, O.V., & Barkar, M.M. (2022). Ground-water geothermal heat pump [Heotermal'nyy teplovyy nasos "hrunt – voda"] // The 2'nd International scientific and practical conference "Modern research in world science" (May 15–17 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>.
21. Bosyi, M.V., Bosa, O.A., Belchenkov, E.V., & Shevchenko, O.A. (2023). Evaluation of the thermodynamic efficiency of a geothermal heat pump for heat supply of maritime transport enterprises [Otsinka termodynamichnoyi efektyvnosti heotermal'noho teplovoho nasosa dlya tep-lopustachannya pidpryyemstv mors'koho transportu]. Development of transport № 1 (16). P. 9–24 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33082/td.2023.1-16.01>.
22. Bosyi, M.V., Bosa, O.A., Avramenko, E.V., & Gerasimenko, I.O. (2023). Evaluation of the effectiveness of the use of a heat pump and traditional heat supply systems [Otsinka efektyvnosti vykorystannia teplovoho nasosa ta tradytsiinykh system teplopustachannia] // Bulletin of the Kremenchug National University named after M. Ostrogradskyi. Issue 1 (1356). P. 11–21 [in Ukrainian]. http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/visnik.php?id_nom=60. http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2023_1_1.pdf.