

ЕФЕКТИВНА ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТА ТЕПЛОАСОСНА СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Босий Микола Вікторович

старший викладач кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
ORCID ID: 0000-0002-3090-0427
bosiyvm@ukr.net

Боса Олена Анатоліївна

здобувач вищої освіти
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
ORCID: 0000-0001-7621-6631
bosaoa@ukr.net

Наразі зміни, які відбуваються в сільськогосподарському виробництві України, потребують створення та розробку нових теплонасосних технологій, які використовуються для теплопостачання сільськогосподарських підприємств. В даній роботі розглядається проблема використання водяного теплового насоса (ТН), який працює на регенеративних джерелах енергії і використовує низькопотенційну теплоту води з річок, озер та підземних вод для теплопостачання сільськогосподарських підприємств. Мета роботи полягає в оцінюванні ефективності застосування парокомпресійного циклу водяного ТН на підприємствах сільськогосподарського виробництва з термодинамічної точки зору. Проаналізовано термодинамічні характеристики і особливості роботи ТН «вода-вода» для сільськогосподарських підприємств та оцінено фактори, що мають вплив на їх енергетичну ефективність. Також показано і проаналізовано вплив температури води на теплопродуктивність такого ТН. Для підвищення ефективності роботи системи теплопостачання сільськогосподарського підприємства запропоновано схему теплонасосної системи відбору низькопотенційної теплоти з використанням ТН "вода-вода". Проведені дослідження вказали на достатню ефективність застосування водяних ТН завдяки воді як низькопотенційному джерелу і їх перевагу перед іншим теплогенеруючим обладнанням. Водяні ТН споживають енергію низькопотенційних джерел, при цьому знижують витрати на теплопостачання більш ніж в половину. З точки зору економіки, для утилізації низькопотенційних теплових потоків вигідно використовувати ТН "вода-вода". На сучасному рівні, аналізуючи термодинамічну ефективність теплопостачальних систем з використанням теплових насосів у сільському господарстві, можна зробити висновок, що в сучасних економічних умовах необхідно розвивати системи теплопостачання із застосуванням парокомпресійних водяних ТН, а це, в свою чергу, суттєво підвищує характеристики обладнання для постачання теплоти, яке використовується на сільськогосподарських підприємствах.

Ключові слова: водяний ТН, сільськогосподарські підприємства, джерела доквілля, теплопостачальні системи, коефіцієнт перетворення, ексергетичний ККД.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.4>

Вступ. Нагальне питання, яке потрібно вирішувати на даний час – це необхідність використовувати новітні енергозберігаючі технології постачання теплоти для галузі сільськогосподарського виробництва.

Тому зараз актуальною задачею в сфері постачання теплоти в процесах виробництва, переробки та зберігання сільськогосподарської продукції, а також для обігріву приміщень та гарячого водопостачання є використання енергоефективного теплонасосного устаткування.

Незважаючи на те, що природні вуглеводні мають значне місце в традиційних системах подачі теплоти, але доцільно переходити на регенеративні джерела теплоти доквілля, наприклад, повітря, річкової та морської води, ґрунту, ґрунтових вод, які використовуються в новітніх сучасних теплонасосних технологіях. (Bezrodnyi & Galan, 2011; Maliarenko & Lysak, 2004; Bezrodnyi et al., 2013; Ostapenko, 2015; Arseniev & Meleichuk, 2018; Bosyi & Kuzyk, 2020; Bosyi, 2022).

Перспективою постачання теплоти виробникам сільськогосподарства є використання регенеративного

джерела енергії, наприклад, такого як вода в водяних ТН на даному етапі.

Застосування теплової енергії природних джерел, особливо води, загалом економічно та екологічно вигідно, але частка використання теплової енергії навколишнього середовища невелика.

Тому потрібно збільшувати застосування природних екологічно чистих джерел енергії доквілля для постачання теплообігріву та гарячого водопостачання виробникам сільськогосподарства енергоефективними теплонасосними технологіями (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022; Bosyi & Kuzyk, 2022).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теплові насоси (ТН) – ефективні, економічні та екологічно чисті системи теплопостачання, вони дозволяють отримувати теплоту для теплопостачання приміщень за рахунок використання теплоти низькопотенційного джерела води, ґрунтових, артезіанських та термальних вод; природних вод річок, озер, морів, океанів; промислові та очищені побутові стоки; воду технологічних циклів. При

використанні 1 кВт електричної енергії, можна отримати 5 кВт теплової енергії для теплопостачання (Sniezhkin et al., 2008; Bosyi & Kuzyk, 2022; Pisarev, 2002; Bezrodnyi & Prytula, 2012; Bosyi et al., 2022).

При високій термодинамічній енергоефективності всіх видів теплових насосів, які використовують різні низькопотенційні природні джерела енергій доквілля, все більше роблять вибір на користь цих систем для теплопостачання приміщень та нагрівання води для сучасних сільськогосподарських підприємств різного призначення (Bosyi & Kuzyk, 2020; Bosyi, 2022; Bosyi et al., 2022).

За допомогою системи теплові насоси «вода-вода» можливо ефективно та екологічно чисто використовувати природні джерела енергії та екологічно чисті природні агенти як робочі тіла ТН для теплопостачання приміщень підприємств сільськогосподарського виробництва. На рис. 1. наведено основний принцип роботи парокompресійного теплового насоса.

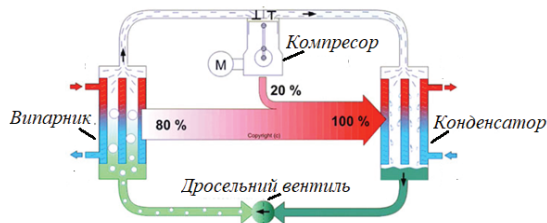


Рис. 1. Схема парокompресійного теплового насоса

Принципова схема роботи водяного та ґрунтового ТН представлені на рис. 2.

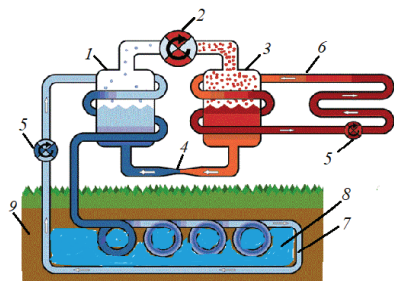


Рис. 2. Схема компресійного водяного та ґрунтового ТН:

- 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор;
4 – дросельний вентиль; 5 – насос; 6 – система теплопостачання сільськогосподарського підприємства; 7 – контур (колектор); 8 – джерело води; 9 – ґрунт

Розглянемо роботу водяного та ґрунтового ТН (рис. 1 та рис. 2). Робочий агент з випарника 1 поступає в компресор 2. В компресорі 2 відбувається стискування агента, при цьому тиск і температура його збільшуються. Потім нагрітий газ поступає в конденсатор 3, далі він охолоджується при передачі своєї теплоти теплоносію системи теплопостачання 6 і конденсується, тобто переходить в рідкий стан.

По контуру на шляху рідини високого тиску встановлений розширювальний вентиль (дросель) 4, який знижує тиск агента. Під час проходження через дросель 4 частина рідини випаровується і температура потоку знижується. Далі цей потік надходить у випарник 1, який пов'язаний з доквіллям (наприклад, джерелом води 8 та ґрунту 9). Енергія передається теплоносію в колекторі 7, який поступає у випарник 1. Робочий агент при відповідному тиску і температурі випаровується і перетворюється на газ. Потім газоподібний агент поступає в компресор 2 і цикл роботи ТН повторюється (Bosyi & Kuzyk, 2020; Bosyi, 2022).

Завдяки високим показникам термодинамічної енергоефективності ТН вода-вода, все більше здійснюється їх використання для постачання теплоти та гарячого водопостачання в сільськогосподарському виробництві (Bosyi & Kuzyk, 2020; Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

Тому на даному етапі необхідно модернізувати традиційні системи постачання теплоти в сільськогосподарському виробництві і застосовувати енергоефективні системи теплопостачання, такі як водяні теплові насоси (Bezrodnyi & Prytula 2012; Sirko et al., 2020; Bosyi et al., 2022).

Постановка завдання. Метою статті є визначення ефективності та доцільності використання циклу водяного теплового насоса на підприємствах сільськогосподарського виробництва.

Матеріали і методи дослідження. На даному етапі існуючі системи постачання теплоти в сільськогосподарському виробництві не забезпечують відповідної ефективності тому виникає необхідність застосування передових технологій постачання теплоти (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

Нами пропонується теплонасосна схема утилізації природного джерела теплоти води для теплопостачання підприємств сільськогосподарського призначення, яка наведена на рис. 3.

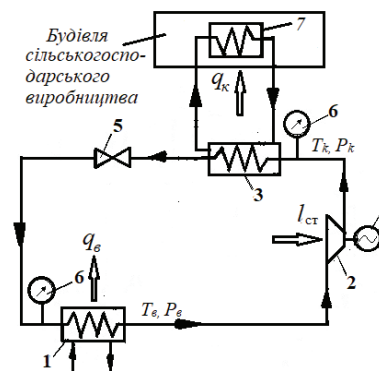


Рис. 3. Запропонована принципова схема ТН для постачання теплоти в сільськогосподарському виробництві:

- 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор;
5 – дросельний вентиль; 4 – електродвигун;
6 – манометри; 7 – система постачання теплоти сільськогосподарського підприємства

Проведемо порівняльне дослідження термодинамічної ефективності ТН для природних джерел енергії – ґрунту та води.

Дослідження водяного та ґрунтового ТН проводилось для робочого тіла пропану. Для пропану температура випаровування становить $t_b = 1...4$ °С, а конденсації – $t_k = 66...68$ °С. Вибираємо низькопотенційне джерело теплоти. Вода або ґрунт на вході у випарник має температуру $t_{HT}'' = 10$ °С, а на його виході $t_{HT}' = 5$ °С. Температура мережевої води (теплоносія) на вході у конденсатор становить $t_{MB}' = 25$ °С, а на виході з нього – $t_{MB}'' = 60$ °С (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

Виконаємо термодинамічний розрахунок циклу ТН «вода-вода» та «ґрунт-вода» [15-23].

Температура насиченої пари пропану на виході з випарника

$$T_b = T_{HT}'' - \Delta T_b. \quad (1)$$

Температура конденсації пропану в конденсаторі

$$T_k = T_{MB}' + \Delta T_k. \quad (2)$$

Питома робота стиснення в компресорі

$$l_{ct} = h_2 - h_1. \quad (3)$$

Питоме теплове навантаження випарника

$$q_b = h_1 - h_4. \quad (4)$$

Питома теплова потужність конденсатора

$$q_k = h_2 - h_3. \quad (5)$$

Перевірка балансу теплоти

$$l_{ct} + q_b = q_k. \quad (6)$$

Визначення E_{TH} на одиницю виробленої теплоти

$$E_{TH} = l_{ct} / q_k. \quad (7)$$

Питома енергія, яка споживається електродвигуном

$$W = l_{ct} / \eta_{ем.} \cdot \eta_e, \quad (8)$$

де $\eta_{ем.} = 0,95$ – коефіцієнт корисної дії компресора, $\eta_e = 0,8$ – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Коефіцієнт перетворення теплоти

$$COP = COP_T \cdot \eta_{TH}, \quad (9)$$

де η_{TH} – коефіцієнт, який враховує реальні процеси, що здійснюються робочим тілом у ТН, який змінюється в діапазоні 0,6...0,8 (приймаємо $\eta_{TH} = 0,75$) [15, 18]; COP_T – теоретичний коефіцієнт трансформації ТН.

Ексергетичний розрахунок ТН «вода-вода» та «ґрунт-вода» виконаний на основі визначення ексергій та ексергетичного балансу підведеної і відведеної ексергії в кожному елементі обладнання ТН «вода-вода» та «ґрунт-вода» (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

Ексергетичний коефіцієнт водяного та ґрунтового ТН показує ступінь термодинамічної досконалості ТН і розраховується, як відношення відведеної від ТН ексергії до підведеної ексергії (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

$$\eta_{ек} = e_{від.} / e_{під.}, \quad (10)$$

де $e_{від.} = e_b$ – відведена ексергія від ТН; $e_{під.} = e_n + e_e$ – підведена ексергія до ТН; e_b – питома ексергія, відведена середовищем, яке нагрівається від конденсатора ТН; e_n – питома ексергія, підведена до випарника низькопотенційного джерела теплоти; e_e – питома ексергія

електричної енергії, підведеної до компресора на його привід (Bosyi, 2022; Bosyi et al., 2022).

Отримана ексергія у конденсаторі

$$e_b = t_b q_k, \quad (11)$$

де t_b – ексергетична температура гарячого теплоносія.

$$\tau_b = \frac{T_{сп.мв}^k - (t_{н.с.} + 273)}{T_{сп.мв}^k}. \quad (12)$$

Середня температура гарячого теплоносія

$$T_{сп.мв}^k = \frac{t_{MB}'' - t_{MB}'}{\ln \frac{t_{MB}'' + 273}{t_{MB}' - 273}}. \quad (13)$$

Ексергія, віддана низькопотенційним теплоносієм у випарнику

$$e_n = t_n q_b, \quad (14)$$

де t_n – ексергетична температура природного теплоносія.

$$\tau_n = \frac{T_{сп.нт}^b - (t_{н.с.} + 273)}{T_{сп.нт}^b}, \quad (15)$$

де $t_{н.с.}$ – температура довкілля.

Середня температура природного теплоносія

$$T_{сп.нт}^b = \frac{t_{HT}' - t_{HT}''}{\ln \frac{t_{HT}' + 273}{t_{HT}'' - 273}}. \quad (16)$$

Ексергія електроенергії, що витрачається на привід компресора

$$e_e = W = \frac{l_{ct}}{\eta_{ем.} \eta_e}. \quad (17)$$

Результати досліджень. За приведеною вище методикою виконано термодинамічний аналіз та розрахунок водяного та ґрунтового ТН, результати представлені в табл. 1.

Обговорення. Термодинамічна енергоефективність роботи ТН «вода-вода» і «ґрунт-вода» визначається такими факторами: по-перше, температурним режимом роботи; по-друге – коефіцієнтом трансформації теплового насоса COP; по-третє – використанням природних екологічно чистих робочих агентів; у четвертих – вартістю електричної енергії, а також ексергетичним ККД ТН.

Висновки. Застосування ТН для постачання теплоти наразі є сучасним перспективним напрямком використання альтернативних природних низькопотенційних джерел енергії для забезпечення потреб систем теплопостачання та гарячого водопостачання будівель підприємств сільськогосподарського виробництва, але даний процес суттєво залежить від місцезнаходження об'єкта та наявності доступу до певного оптимального для нього джерела низькопотенційної теплової енергії. Проведений термодинамічний розрахунок водяного та ґрунтового ТН показав, що вони достатньо добре забезпечують теплотою підприємства сільськогосподарського

Термодинамічний розрахунок водяного та ґрунтового ТН

Параметр	Розмірність	ґрунтовий ТН	водяний ТН
Температура кипіння пропану, T_p	К	275	277
Тиск кипіння пропану, p_p	МПа	0,46	0,49
Температура конденсації пропану, T_k	К	342	343
Ентальпія пропану після конденсатора, h_3	кДж/кг	206	215
Тиск конденсації пропану, p_k	МПа	2,60	2,69
Ентальпія пропану на вході в компресор, h_1	кДж/кг	529	541
Ентальпія пропану після компресора, h_2	кДж/кг	652	667
Питоме теплове навантаження випарника, q_p	кДж/кг	323	326
Питоме теплове навантаження конденсатора, q_k	кДж/кг	446	452
Робота стиснення в компресорі, $l_{ст}$	кДж/кг	123	126
Перевірка балансу теплоти ТН, $q_{тб.тн}$	-	446	452
Коефіцієнт перетворення теплоти, COP	-	3,82	3,89
Ексергетичний ККД ТН, η_{ex}	-	0,39	0,43

виробництва відповідними значеннями температур. В першу чергу одним з найбільш ефективних джерел природної енергії є теплота води. Для порівняння використовували і ґрунт, коефіцієнт трансформації COP

водяного ТН дорівнює 3,89, а для ґрунтового ТН він складає 3,82. Ексергетичний коефіцієнт корисної дії ТН для природного теплоносія води становить 43 %, а для ТН «ґрунт-вода» – 39 %.

Бібліографічні посилання:

1. Arseniev, V. M., & Meleichuk, S. S. (2018). *Теплови насосы: основы теории и расчета* [Heat pumps: basics of theory and calculation]. Tutorial. Sumy: SDU. 364 p. (in Ukrainian)
2. Bezrodnyi, M. K., & Prytula, N. O. (2012). *Енергетична ефективність теплових насосних схем тепlopостачання* [Energy efficiency of heat pump schemes of heat supply]. monograph. K: NTUU «KPI». 208p. (in Ukrainian)
3. Bezrodnyi, M. K., & Galan, M. A. (2011). *Термодинамічна ефективність теплових насосних систем повітряного опалення* [Thermodynamic efficiency of heat pump systems of air heating]. *Scientific news of NTUU «KPI»*. No. 6. P.30-35. (in Ukrainian)
4. Bezrodnyi, M. K., Pukhovyi, I. I., & Kutra, D. S. (2013). *Теплови насосы та їх використання* [Heat pumps and their use]. Tutorial. Kyiv: NTUU «KPI» 312 p. (in Ukrainian)
5. Bosyi, M. V. (2022). *Енергетична ефективність повітряного теплових насоса на екологічно чистому робочому тілі пропану* [The energy efficiency of an air heat pump based on an ecologically clean working medium of propane]. *Scientific journal «Scientific Notes of the Tavra National University named after V.I. Vernadsky». Series: Technical sciences». Vol. 33 (72), № 4. P. 144-148. URL: https://tech.vernadskyjournals.in.ua/33-72-4 (in Ukrainian)*
6. Bosyi, M. V. (2022). *Heat pumps for heating and hot water supply of agro-industrial enterprises* [Теплови насосы для тепlopостачання та гарячого водопостачання агропромислових підприємств]. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series "Mechanization and automation of production processes"*, issue No. 2 (48). P. 3-8. (in Ukrainian)
7. Bosyi, M. V. (2022). *Теплови насосы – енергоефективне відновлювальне екологічно чисте джерело теплоти* [Thermal pumps are energy efficient, environmentally friendly, and provide warmth]. *Moderní aspekty vědy: XXI Díl mezinárodní kolektivní monografie Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Publishing Group «Vědecká perspektiva» P. 357-380. URL: http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-21.pdf (in Ukrainian)*
8. Bosyi, M. V. (2022). *Теплови насосы для тепlopостачання та гарячого водопостачання підприємств машынобудування* [Heat pumps for heating and hot water supply of machine-building enterprises]. *Naukovyi zhurnal «Rozvytok transportu». Odeskyi natsionalnyi morskyy universytet. 3(14). P. 69-82. URL: https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/175/313 DOI https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.06 (in Ukrainian)*
9. Bosyi, M. V. (2022). *Теплови насосы для тепlopостачання та гарячого водопостачання підприємств машынобудування* [Heat pumps for heating and hot water supply of machine-building enterprises]. *Naukovyi zhurnal «Rozvytok transportu». Odeskyi natsionalnyi morskyy universytet. № 3(14). P. 69-82. URL: https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/175/313 DOI https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.06 (in Ukrainian)*
10. Bosyi, M. V. (2022). *Термодинамічна енергоефективність геотермального теплових насоса на ґрунтових водах* [Thermodynamic energy efficiency of a geothermal heat pump on groundwater]. *Moderní aspekty vědy: XX. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Publishing Group. «Vědecká perspektiva» P. 556-568. URL: http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_1.html. (in Ukrainian)*
11. Bosyi, M. V., & Kuzyk, O. V. (2020). *Ефективність циклу теплових насоса для тепlopостачання* [Efficiency of the heat pump cycle for heat supply]. *Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences. Vol. 3(34). P.136-142. URL: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10447. (in Ukrainian)*
12. Bosyi, M. V., & Kuzyk, O. V. (2022). *Теплови насосы для опалення та гарячого водопостачання* [Heat pumps for scorching and hot water supply]. *Findings of modern engineering research and developments: Scientific monograph. Riga. Latvia: «Baltija Publishing». P. 24-40. URL: http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217 (in Ukrainian)*

13. Bosyi, M. V., Kropivnyi, V. M., & Kuzyk, O. V. (2022). Termodynamichne doslidzhennia tsykladu teplovoho nasosu «hrunt-voda» dlia systemy opalennia prymishchennia [Thermodynamic study of the soil-water heat pump cycle for the room heating system]. *Scientific journal Visnyk of the Kremenchug National University named after M. Ostrogradskyi. Kremenchuk*: № 1(132). P. 165-172. URL:<http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/pravila.php>. (in Ukrainian)
14. 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]. *Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*. Vol. 5(36). P. 47-54. URL:http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_1.html (in Ukrainian)
15. Bosyi, M.V. (2022), Termodynaichna enerhoefektyvnist tsykladu teplovoho nasosa «hrunt-voda» na propane [Thermodynamic energy efficiency of the “soil-water” heat pump cycle on propane]. Praha České republika *Věda a perspektivy* № 10(17). P.127-142. URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/vp/article/view/2728/2737> (in Ukrainian)
16. Maliarenko, V. A., & Lysak, L. V. (2004). Enerhetyka, dovkillia, enerhozberezhennia [Energy, environment, energy saving]: Rubicon. 368 p. (in Ukrainian)
17. Ostapenko, O. P. (2015). Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia. Teplovi nasosy [Refrigeration equipment and technology. Heat pumps]. Tutorial. Vinnytsia: VNTU. 123 p. (in Ukrainian)
18. Pisarev, V. Ie. (2002). Teplovi nasosy ta kholodylni ustanovy [Heat pumps and refrigeration units]. Tutorial. K: KNUBA. 124 p. (in Ukrainian)
19. Sirko, Z. S., Korenda, V. A., Vyshniakov, I. Iu., Protasov, O. S., & Okhrimenko S. M., Tsiren N. L. (2020). Vykorystannia teplovykh nasosiv dlia opalennia ta hariachoho vodopostachannia budivel pidpriemstv na prykladi ustanovok Helioterm [The use of heat pumps for heating and hot water supply of enterprise buildings on the example of Helioterm installations]. *Scientific reports of NUBiP of Ukraine. Technology and energy of agricultural industry*. № 5 (87). (in Ukrainian)
20. Sniezkin, Yu. F., Chalaiev, D. M., Shavrin, V. S., & Dabizha, N. O. (2008). Teplovi nasosy v systemakh teplokhodopostachannia [Heat pumps in heating and cooling systems]. Under. ed. Acad. NAS of Ukraine A.A. Dolinskyi; National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Technology thermophysics. To: 104 p. (in Ukrainian)
21. Tkachenko, S. I., & Ostapenko, O. P. (2009). Parokompresiini teplonasosni ustanovy v systemakh teplopustachannia [Steam compression heat pump installations in heat supply systems]. Monograph. Vinnytsia: VNTU. 176 p. (in Ukrainian)

Bosyi M. V., Senior Lecturer, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Bosa O. A., student of higher education, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Efficient and environmentally clean heat pump system of heating and hot water supply for agricultural businesses

Currently, the changes taking place in the agricultural production of Ukraine require the creation and development of new heat pump technologies that are used for heat supply of agricultural enterprises. This work examines the problem of using a water heat pump (HT), which works on regenerative energy sources and uses low-potential heat of water from rivers, lakes, and groundwater for heat supply to rural enterprises. The purpose of the work is to evaluate the effectiveness of the application of the vapor compression cycle of water TN at agricultural production enterprises from a thermodynamic point of view. The thermodynamic characteristics and peculiarities of operation of water-to-water TN for agricultural enterprises were analyzed and the factors affecting their energy efficiency were evaluated. The effect of water temperature on the heat productivity of such a TN is also shown and analyzed. To increase the efficiency of the heat supply system of an agricultural enterprise, a scheme of a heat pump system for the selection of low-potential heat with the use of a «water-water» heating system is proposed. The conducted studies indicated the sufficient efficiency of the use of water heaters due to water as a low-potential source and their advantage over other heat-generating equipment. Water heaters consume energy from low-potential sources, while reducing heat supply costs by more than half. From the point of view of economy, it is advantageous to use "water-water" TN for the disposal of low-potential heat flows. At the current level, analyzing the thermodynamic efficiency of heat supply systems using heat pumps in agriculture, it can be concluded that in modern economic conditions it is necessary to develop heat supply systems using steam-compression water heaters, and this, in turn, significantly increases the characteristics of heat supply equipment, which is used in agricultural enterprises.

Key words: water heat pump, agricultural production enterprises, low-potential heat source, heat supply systems, transformation coefficient, exergetic efficiency coefficient.