

Босий М.В.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Боса О.А.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Ботнарєнко В.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Герасименко І.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАРОКОМПРЕСІЙНОГО ЦИКЛУ ПОВІТРЯНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

На межі зміни, які відбуваються в агропромисловому виробництві України потребують розробки та створення сучасних теплонасосних технологій для теплопостачання та гарячого водопостачання агропромислових підприємств. У статті розглядається проблема використання повітряного теплового насоса (ТН), що працює на альтернативних джерелах енергії для теплопостачання та гарячого водопостачання сільськогосподарських підприємств. У своїй роботі повітряний ТН використовує низькопотенційну теплоту повітря. Метою роботи є оцінка ефективності використання парокompресійного циклу повітряного ТН в агропромисловому виробництві. Виконано аналіз характеристик та оцінені особливості роботи повітряних ТН для агропромислових підприємств. Визначено фактори, які впливають на енергетичну ефективність повітряного ТН. Проаналізовано вплив тривалості температур повітря різних величин на теплопродуктивність повітряного ТН. Для підвищення ефективності роботи теплонасосної системи запропоновано схему відбору низькопотенційної теплоти з використанням повітряного ТН. На підставі проведених досліджень встановлено, що перевагою повітря як теплоносія є те, що повітряні ТН можуть працювати практично повсюди і не вимагають облаштування низькотемпературного контуру. Перспективним способом підвищення ефективності теплопостачального обладнання агропромислових підприємств є застосування повітряного ТН при річному циклі його роботи. Повітряні ТН мають значну перевагу перед іншими теплоенергетичними установками. Вони споживають енергію поновлюваних джерел, знижують витрати на електропостачання більш, ніж в половину – це повністю автоматизований пристрій. Використання повітряних ТН для утилізації низькопотенційних теплових потоків економічно вигідно. Аналіз ефективності систем теплопостачання показує, що в сучасних економічних умовах тенденція систем теплопостачання може розвиватися із застосуванням парокompресійних повітряних ТН, це може суттєво підвищити економічні і технічні характеристики теплопостачального обладнання для будівель агропромислового виробництва.

Ключові слова: *повітряний тепловий насос, підприємства агропромислового виробництва, низькопотенційне джерело теплоти, системи теплопостачання, коефіцієнт трансформації, енергетичний коефіцієнт корисної дії ТН.*

Постановка проблеми. Запаси традиційних вуглеводнів, таких як нафта, газ, вугілля зовсім не є нескінченними. А використання їх пов'язане з негативним впливом на екосистему. Нині одним з питань, що найгостріше стоїть перед Україною та світовою спільнотою взагалі і потребує нагального вирішення, є питання забезпечення енергетичної та екологічної безпеки підприємств агропромислового виробництва.

Одним із актуальних та першочергових завдань ефективного розвитку в Україні є про-

блема енергозбереження, як в економічному секторі, так і в агропромисловому виробництві при використанні енергетичних потоків різної якості. Первинні природні енергетичні ресурси і, в першу чергу, природний газ, займають провідне, а інколи і визначальне місце в енергетичних системах більшості країн, незважаючи на високі темпи впровадження альтернативних та відновлювальних енергетичних джерел енергії, особливо сучасних теплонасосних технологій [1-7].

Тому перспективним напрямком на даному етапі є використання безкоштовної теплоти повітря як природного джерела енергії для теплопостачання агропромислових підприємств, яке може забезпечити чималі потреби в теплоті навіть в умовах територій помірного клімату. Методи використання теплової енергії повітря загалом економічно ефективно, однак частка застосування теплової енергії довкілля доволі мала. Значно підвищити ефективність використання природних джерел енергії особливо повітря для потреб агропромислового виробництва можливо при наявності теплових агрегатів, таких як парокompресійні теплові насоси [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теплові насоси – це компактні, економічні та екологічно чисті системи опалення, що дозволяють отримувати теплоту для гарячого водопостачання та опалення приміщень за рахунок використання теплоти низькопотенційного джерела зовнішнього повітря, ґрунту, ґрунтових, артезіанських та термальних вод; природних вод річок, озер, морів; промислові та очищені побутові стоки; вода технологічних циклів. Витративши 1 кВт електричної енергії, можна отримати 3–5 кВт для опалення [8-12].

Завдяки високій енергоефективності теплових насосів все більше роблять вибір на користь таких систем, як теплопостачання і нагріву води для агропромислових сільськогосподарських підприємств різного призначення [3].

Принцип роботи парокompресійного теплового насоса «повітря-повітря» наведений на рис. 1.

Газоподібний холодоагент надходить на вхід компресора. Компресор стискає газ, при цьому його тиск і температура збільшуються. Нагрітий газ подається в теплообмінник (конденсатор), в якому він охолоджується, передаючи свою теплоту повітря або воді, і конденсується – переходить в рідкий стан.

Далі на шляху рідини високого тиску встановлений розширювальний вентиль, який знижує тиск холодоагента. Компресор і розширювальний вентиль ділять замкнений гідравлічний контур на дві частини: високого і низького тиску. Під час проходження через розширювальний вентиль частина рідини випаровується, і температура потоку знижується. Далі цей потік надходить в теплообмінник (випаровувач), який пов'язаний із навколишнім середовищем (наприклад, повітряний теплообмінник на вулиці). При низькому тиску рідина випаровується (перетворюється на газ) при температурі нижчій, ніж температура зовнішнього повітря, води або ґрунту. Внаслідок цього частина теплоти

зовнішнього повітря, води або ґрунту перетворюється у внутрішню енергію холодоагента. Газоподібний холодоагент знову надходить в компресор – контур замикається [13-18].



Рис. 1. Схема компресійного теплового насоса «повітря-повітря»

Для систем «повітря-повітря» теплові насоси 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 «повітря-вода» за допомогою теплового насоса нагрівається вода у системі теплопостачання в приміщенні (рис. 3).

Ефективність та техноекономічна доцільність систем теплопостачання в різних сферах економіки та агропромислового виробництва при технологічній підготовці може бути суттєво підвищена при впровадженні сучасних повітряних

теплонасосних технологій теплопостачання та енергозбереження. В першу чергу це відноситься до утилізації повітря як низькопотенційної енергії природного джерела [2, 3, 19-22].

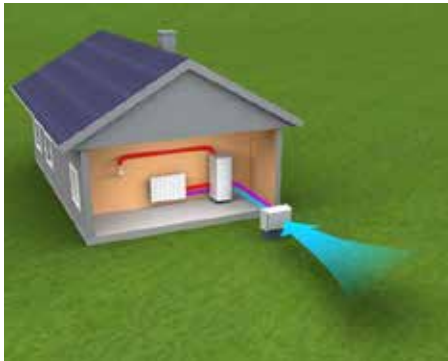


Рис. 3. Тепловий насос «повітря-вода»

Постановка завдання. Метою статті є оцінка ефективності та доцільності використання парокомпресійного циклу повітряного ТН на підприємствах агропромислового виробництва.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розрахункова схема повітряного ТН з використанням в системі теплопостачання підприємств агропромислового виробництва наведена на рис. 4 [2, 3, 23-25].

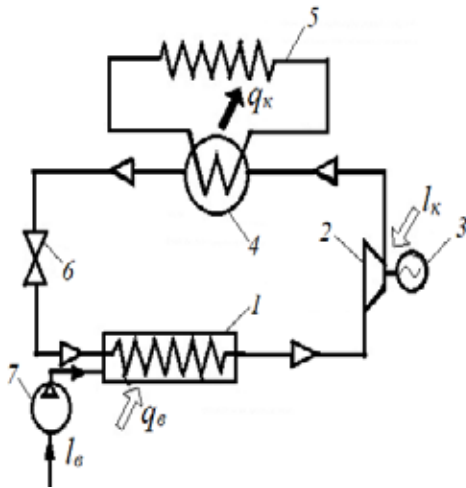


Рис. 4. Схема повітряного ТН в системі теплопостачання підприємств агропромислового виробництва

- 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – електродвигун;
- 4 – конденсатор; 5 – система теплопостачання для АПК; 6 – дросель; 7 – вентилятор

Повітря з температурою t_0 і питомою об’ємною витратою v_n вентилятора подається у випарник повітряного ТН. У випарнику повітря охолоджується і на виході має параметри $t_{вих.в}$, v_n . Система теплопостачання має теплові втрати в довілля q_k . Для їхньої компенсації використовується питомий

тепловий потік від конденсатора повітряного ТН q_k з температурою теплоносія t_k на вході в систему теплопостачання [1, 2, 5, 26, 27].

Для визначення оптимальних режимів роботи повітряного ТН та вентилятора проаналізуємо питомі сумарні витрати енергії на систему теплопостачання, які можна представити у вигляді:

$$l_{\text{тп}} = l_{\text{сум}}/q_k = (l_k + l_e)/q_k, \quad (1)$$

де l_k, l_e – питомі витрати енергії на компресор ТН і вентилятор, кВт·год/кг; кВт·год/м³;
 q_k – питомий тепловий потік від конденсатора повітряного ТН, кВт/м².
 Величина l_k визначається за формулою:

$$l_k = q_{\text{вип}}/(COP - 1), \quad (2)$$

де $q_{\text{вип}}$ – питомий тепловий потік у випарнику повітряного ТН, кВт/м²;
 COP – коефіцієнт трансформації теплового насоса.

COP_T – теоретичний коефіцієнт трансформації повітряного ТН, визначаємо за співвідношенням: [3, 15, 22-24].

$$COP_T = \frac{T_k}{T_k - T_e} = \frac{348}{348 - 279} = 5, \quad (3)$$

де $T_e = 279$ – температура випаровування робочого агента R134a у випарнику повітряного ТН, К; $T_k = 348$ – температура конденсації робочого агента R134a у конденсаторі повітряного ТН, К [27, 29].

Величина COP може бути представлена у вигляді:

$$COP = COP_T \cdot \eta_{\text{ТН}} = 5 \cdot 0,7 = 3,5, \quad (4)$$

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

$$q_{\text{вип}} = v_n \cdot \rho_n \cdot c_{p,n} (t_0 - t_{\text{вих.в}}), \quad (5)$$

де v_n – питома об’ємна витрата повітря, м³/кг; ρ_n – густина повітря, кг/м³;
 $c_{p,n}$ – питома теплоємність повітря, кДж/кг·К.

Витрати енергії на привід вентилятора визначаємо за формулою:

$$l_b = v_n \cdot \Delta p / \eta_v \cdot \eta_{\text{пр}}, \quad (6)$$

де Δp – питомі витрати тиску у випарнику повітряного ТН, кПа;
 $\eta_v = 0,8$ і $\eta_{\text{пр}} = 0,95$ – ККД вентилятора і його приводу.

Питомий тепловий потік q_k у формулі (1) визначається за рівнянням теплового балансу повітряного ТН:

$$q_k = q_b + l_k. \quad (7)$$

Необхідно визначити температуру повітря на виході з випарника $t_{\text{вих.в}}$, для даної температури навколишнього середовища $t_0 = -5; 0; 5; 10; 15$ °C.

Температура повітря на виході з випарника $t_{\text{вих.в}}$ визначається за наступною формулою [1, 2]:

$$t_{\text{вих. в}} = t_0 - \frac{COP - 1}{COP} (t_k - t_{\text{п}}), \quad (8)$$

де t_0 – температура довкілля, °C;
 t_k – температура теплоносія, що подається в систему тепlopостачання, °C;
 $t_{\text{п}}$ – температура повітря в системі тепlopостачання, °C.

Розраховані значення температури повітря на виході з випарника $t_{\text{вих.в}}$ наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Розраховані значення $t_{\text{вих.в}}$

$t_0, ^\circ C$	-10	-5	0	5	10	15
$t_{\text{вих.в}}, ^\circ C$	-13	-7	-3	3	8	12

Температура води на виході з конденсатора t_k дорівнює температурі нагрітого теплоносія на вході в систему тепlopостачання. При визначенні цієї температури враховуємо наступне. В опалювальній системі існує різниця температур між температурою нагрітого теплоносія t_k та температурою в приміщенні $t_{\text{п}}$.

При зниженні температури довкілля збільшується тепловий потік, необхідний для тепlopостачання, за рівнянням теплопередачі необхідно підвищувати дану різницю температур $(t_k - t_{\text{п}})$ і температуру теплоносія t_k . Отже, t_k і q_k збільшується зі зниженням температури навколишнього середовища t_0 .

Температура теплоносія, що подається в систему тепlopостачання визначається за рівнянням, яке виводиться на основі аналізу процесів теплообміну в системі нагріта вода – повітря в приміщенні [1, 2, 12].

$$t_k = t_{\text{п}} + (t_{\text{т}}^{\text{п}} - t_{\text{п}}) \cdot \left(\frac{t_{\text{п}} - t_0}{t_{\text{п}} - t_0^{\text{п}}} \right)^{\frac{1}{1+n}}, \quad (9)$$

де $t_{\text{т}}^{\text{п}}$ – розрахункова температура нагрітого теплоносія, приймаємо 50°C;
 $t_0^{\text{п}}$ – розрахункова температура навколишнього середовища, °C; $n = 0$ – для низькотемпературних систем тепlopостачання.

Розраховані значення температури теплоносія, що подається в систему тепlopостачання наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Розраховані значення t_k

$t_0, ^\circ C$	-10	-5	0	5	10	15
$t_k, ^\circ C$	49	46	40	36	33	28

З урахуванням формул (2) – (7) вираз (1) для визначення питомих сумарних витрат енергії на систему тепlopостачання приймає вигляд:

$$l_{\text{тп}} = \frac{1}{COP} \left[1 + \frac{\Delta p / \rho_{\text{п}} c_{\text{п}} (COP - 1)}{(t_0 - t_{\text{вих.в}}) \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{пр}}} \right]. \quad (10)$$

Таким чином, питомі витрати енергії на тепlopостачання залежать від $t_0, t_{\text{вих.в}}, \Delta p / \eta_{\text{п}} c_{\text{п}}$.

Питомі сумарні витрати енергії на систему тепlopостачання розраховані за формулою (10) становлять

$$l_{\text{тп}} = \frac{1}{3,5} \left[1 + \frac{0,5 \cdot (3,5 - 1)}{(-15 - (-21)) \cdot 0,8 \cdot 0,95} \right] = 0,36.$$

Проведемо дослідження термодинамічної ефективності повітряного ТН при різних значеннях температури зовнішнього джерела теплоти – повітря табл. 3.

Таблиця 3

Термодинамічний розрахунок ТН «повітря-вода»

Параметр	Розмірність	Розрахункові значення
Температура випаровування пропану, $T_{\text{в}}$	К	276
Тиск пропану у випарнику, $p_{\text{в}}$	МПа	0,45
Температура конденсації пропану, $T_{\text{к}}$	К	342
Ентальпія пропану після конденсатора, h_3	кДж/кг	210
Тиск конденсації пропану, $P_{\text{к}}$	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, $q_{\text{в}}$	кДж/кг	328
Питоме теплове навантаження конденсатора, $q_{\text{к}}$	кДж/кг	444
Робота стиснення в компресорі, $l_{\text{ст}}$	кДж/кг	116
Перевірка теплового балансу ТН, $q_{\text{тб.тн}}$	-	444
Коефіцієнт перетворення теплоти, COP	-	3,62
Ексергетичний ККД ТН, $\eta_{\text{ек}}$	-	0,40

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

Таким чином, визначені питомі сумарні витрати енергії на систему теплопостачання підприємств агропромислового виробництва, ефективність повітряного теплового насоса за допомогою коефіцієнта трансформації ТН, а також температуру теплоносія, що подається в систему теплопостачання та температуру повітря на виході з випарника теплового насоса.

Ефективність роботи повітряних теплових насосів визначається наступними факторами: температурним режимом роботи, коефіцієнтом перетворення теплового насоса COP, видом холодоагента, вартістю електричної енергії, яка витрачається на привід компресора та роботу вентилятора.

Висновки

1. Використання ТН для теплопостачання є перспективним напрямком використання альтернативних природних низькопотенційних джерел енергії для забезпечення потреб систем теплопостачання, вентиляції та гарячого водопостачання підприємств агропромислового виробництва, але даний процес суттєво залежить від місцезнаходження об'єкта та наявності доступу до певного оптимального для нього джерела низькопотенційної теплової енергії.

2. Повітряні ТН покривають теплове навантаження підприємств агропромислового виробництва в певних межах. Необхідно поєднувати їх експлуатацію з додатковим джерелом теплоти: електричним, газовим або твердопаливним котлом, які будуть вмикатися при досягненні вуличної температури певного критичного значення (точки бівалентності).

3. Ефективним джерелом низькопотенційної теплової енергії є безкоштовна теплота повітря, при цьому коефіцієнт перетворення повітряного ТН за розрахунками становить 3,62, а ексергетичний коефіцієнт корисної дії 40 %.

Список літератури:

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 НТТУ «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. Маляренко В. А., Лисак Л. В. Енергетика, доквілля, енергозбереження. Х: 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. Арсенев В. М., Мелейчук С. С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку. Навчальний посібник. Суми: СДУ. 2018. 364 с.
8. Арсенев В. М. Теплонасосна технологія енергозбереження. 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. Писарев В. Є. Теплові насоси та холодильні установки. Навчальний посібник. К: КНУБА. 2002. 124 с.
11. Снежкін Ю.С. Ф., 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. К: 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_I.html.
17. Босий М. В. Теплові насоси – енергоефективне відновлювальне екологічно чисто 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. Арсенів 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_I.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 пропану. // *Науковий журнал «Вчені записки Таврського 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) *НВЦ «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) *НВЦ «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 Ю. 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. <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. В., Бельченков Є. В., Ботнарченко 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 С. В., Шевченко О. А., Герасименко І. О. Енергоефективність циклу теплового насоса «грунт-вода». І Міжнародна науково-практична конференція «Наукові дослідження в сучасному світі» (9-11 листопада) *Perfect Publishing*, Торонто, Канада. 2022. С. 303-309. <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/11/SCIENTIFIC-RESEARCH-IN-THE-MODERN-WORLD-9-11.11.22.pdf>

Bosyi M.V., Bosa O.A., Botnarenko V.O., Gerasymenko I.O. ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USING THE STEAM COMPRESSION CYCLE OF THE AIR HEAT PUMP IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Currently, the changes taking place in the agro-industrial production of agriculture in Ukraine require the development and creation of modern heat pump technologies for heat and hot water supply of agro-industrial enterprises. The article examines the problem of using an air heat pump (TN) operating on alternative energy sources for heat and hot water supply of agricultural enterprises. In its work, the air TN uses the low-potential heat of the air. The purpose of the work is to evaluate the efficiency of using the steam compression cycle of air TN in agro-industrial production. The analysis of the characteristics was performed and the peculiarities of the operation of air TN for agro-industrial enterprises were evaluated. Factors affecting the energy efficiency of air heating are determined. The influence of the duration of air temperatures of different values on the heat productivity of air TN was analyzed. In order to increase the efficiency of the heat pump system, a scheme for the selection of low-potential heat using air TN is proposed. On the basis of the conducted research, it was established that the advantage of air as a heat carrier is that air heaters can work almost everywhere and do not require the arrangement of a low-temperature circuit. A promising method of increasing the efficiency of heat supply equipment of agro-industrial enterprises is the use of air heating during the annual cycle of its operation. Air TNs have a significant advantage over other thermal power plants. They consume energy from renewable sources, reduce electricity costs by more than half - it is a fully automated device. The use of air TNs for the disposal of low-potential heat flows is economically beneficial. The analysis of the efficiency of heat supply systems shows that in modern economic conditions, the trend of heat supply systems can develop with the use of vapor compression air heating systems, this can significantly improve the economic and technical characteristics of heat supply equipment for buildings of agro-industrial production.

Key words: *air heat pump, enterprises of agro-industrial production, low-potential heat source, heat supply systems, transformation coefficient, exergetic efficiency coefficient.*