

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ВІДПУСКУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ВІД ГІБРИДНОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ «КОТЕЛ-ТЕПЛОВИЙ НАСОС»**

**Вступ.** У зв'язку з підвищенням цін на традиційні енергоресурси, їх дефіцит, використання альтернативних джерел енергії, в тому числі, відновлюваних, все більше набуває актуальності. Навколишнє середовище – вода, повітря, ґрунт, сонячна радіація – є джерелом значної кількості відновлюваної, низькопотенційної енергії. Використовуючи теплові насоси, можливо перетворити низькопотенційну енергію навколишнього середовища або вторинних енергоресурсів у теплову енергію вищого температурного потенціалу, придатну для систем опалення, гарячого водопостачання. Влітку теплові насоси можуть використовуватися для охолодження приміщень.

Можливість використання різного виду низькопотенційних джерел енергії, висока енергетична ефективність процесів перетворення енергії, їх автоматизація, екологічна чистота сприяли широкому впровадженню теплових насосів у США, країнах ЄС, Азії [1, 2]. Впровадження теплових насосів у теплоенергетичний сектор багатьох країн забезпечило певне вирішення економічних, енергетичних та екологічних проблем, які виникали під час використання вуглеводневого палива. Доцільність використання теплових насосів в Україні ставилася під сумнів через тривалі терміни окупності капіталовкладень, високі тарифи на електроенергію та ряд інших об'єктивних та суб'єктивних факторів [2–5].

Незважаючи на існуючі складнощі, в Україні є приклади успішного використання теплових насосів для систем опалення, гарячого водопостачання та кондиціонування. Переважно теплові насоси в Україні використовуються на приватних об'єктах для автономного теплопостачання. В інформаційному бюлетені [6] наведено за останнє десятиліття ряд об'єктів

в Україні (житлові та громадські будинки, комунальні та промислові підприємства, складські приміщення), де встановлені теплові насоси для забезпечення потреб опалення, охолодження приміщень, гарячого водопостачання. Зазначені експлуатаційні затрати та терміни окупності на окремих об'єктах свідчать про економічну ефективність впровадження теплових насосів.

За певних кліматичних та інших умов тепловий насос здатний повноцінно замінити котел, водонагрівач, забезпечуючи потребу в тепловій енергії. Згідно з [7] теплові насоси, як окремі теплогенератори, проектуються для систем опалення будівель і споруд з температурою теплоносія до 40 °С, тобто для систем «тепла підлога», панельних систем опалення, фанкойлів. За традиційних температурних режимів водяних систем опалення необхідно використовувати тепловий насос сумісно з іншим піковим теплогенератором.

За максимальної температури нагріву теплоносія в системі опалення до 55 °С рекомендується бівалентно-паралельний режим роботи теплового насоса з іншим піковим джерелом теплоти, наприклад, котлом. За більших максимальних температур нагріву теплоносія, як правило, в радіаторних системах опалення, рекомендується бівалентно-альтернативний режим роботи теплового насоса з іншим теплогенератором, під час якого тепловий насос припиняє роботу за температур зовнішнього повітря, що нижче температури бівалентної точки [8].

На сьогодні відомо багато прикладів схемних рішень систем теплопостачання з гібридними джерелами теплоти, де застосовуються теплові насоси у сумісній роботі з іншими теплогенераторами [7-14]. Вибір тієї чи іншої схеми залежить від джерела теплоти для теплового насоса, на-

явних інших джерел теплової енергії, теплотехнічних параметрів споживачів та ін. Головною метою будь-якої системи є досягнення максимальних показників енергетичної ефективності за мінімальних значень капітальних та експлуатаційних затрат, що, в цілому, визначатиме її ефективність.

**Мета і завдання.** Метою роботи є дослідження режимів відпуску теплової енергії від гібридного джерела теплоти «котел-тепловий насос» для системи опалення за різних температурних графіків. Для визначення раціональних режимів відпуску теплоти пропонується виконати ексергетичний та економічний аналіз роботи гібридного джерела теплоти.

**Результати дослідження.** В якості об'єкта дослідження розглядається система опалення житлового будинку опалювальною площею 140 м<sup>2</sup>. Розрахунок потреби у тепловій енергії для опалення виконано для двох міст України – Харкова та Херсона. Попередньо визначено витрати на опалення за використання в якості джерел теплової енергії природного газу та електричної енергії (табл. 1; станом на лютий 2017 р.).

Таблиця 1 – Витрати теплової енергії та затрати на енергоносії для опалення житлового будинку

Показник	м. Харків	м. Херсон
Максимальна теплова потужність системи опалення, кВт	15,1	13,7
Витрати теплової енергії для опалення, МДж	114 198	92 916
Затрати на природний газ, тис. грн	25,748	20,949
Затрати на електричну енергію, тис. грн	49,363	41,274

Результати розрахунку засвідчують, що використання електричної енергії для опалення залишається економічно невигідним.

У якості альтернативного джерела енергії для опалення приймемо низькопотенційну теплоту навколишнього повітря. Відповідно, у гібридній теплогенеруючій системі «котел-тепловий насос» застосуємо тепловий насос типу «повітря-вода». За паспортних умов коефіцієнт перетворення (COP) одноступеневих теплових насосів такого типу, в середньому,

становить від 3 до 4. Також відомо, що COP теплового насоса не є постійною величиною і зменшується зі зниженням температури зовнішнього повітря. Враховуючи результати попередніх розрахунків (табл. 1), у якості пікового джерела теплоти застосуємо газовий котел. Приймаємо, що котел з тепловим насосом працюють за бівалентно-альтернативним режимом з максимальною температурою нагріву теплоносія системи опалення у конденсаторі теплового насоса 50 °С. Розглянемо режими відпуску теплоти для системи опалення від гібридного джерела теплоти «котел-тепловий насос» за трьох температурних графіків для кожного міста: 85-65 °С, 75-55 °С та 65-50 °С (рис. 1).

За побудованими графіками зміни теплового навантаження на опалення і позначеними на них бівалентними точками можна визначити необхідні номінальні теплові потужності теплогенераторів – теплового насоса та газового котла.

За результатами побудови графіків витрат теплоти відповідно тривалості опалювального періоду з урахуванням бівалентних точок визначено частки витрат теплоти на опалення, що покриваються котлом та тепловим насосом (табл. 2).

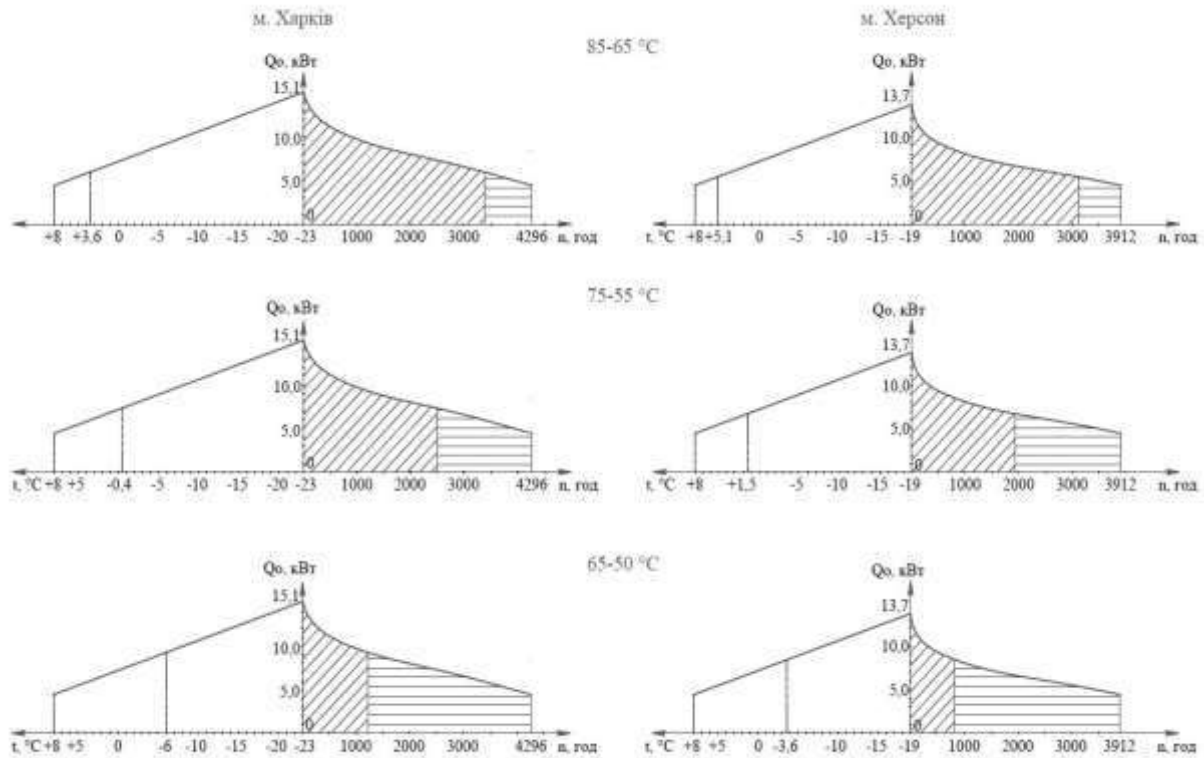


Рис. 1. Графіки зміни теплового навантаження на опалення та графіки витрат теплоти відповідно тривалості опалювального періоду: похила штриховка – частка витрати теплоти, що покривається газовим котлом; горизонтальна штриховка – частка витрати теплоти, що покривається тепловим насосом

Таблиця 2 – Співвідношення витрат теплоти на опалення, що покриваються котлом та тепловим насосом

м. Харків		
Температурний графік	Частка витрати теплоти, %, що покривається	
	котлом	тепловим насосом
85-65 °C	86,7	13,3
75-55 °C	69,5	30,5
65-50 °C	39,3	60,7
м. Херсон		
Температурний графік	Частка витрати теплоти, %, що покривається	
	котлом	тепловим насосом
85-65 °C	85,3	14,7
75-55 °C	59,7	40,3
65-50 °C	29,9	70,1

З пониженням температурного графіка системи опалення частка теплового навантаження, що покривається тепловим насосом, збільшується, а газовим котлом –

зменшується. За однакових температурних графіків для житлового будинку у Херсоні частка покриття теплового навантаження тепловим насосом більше, ніж у Харкові.

Економічний ефект від використання теплового насоса у гібридній теплогенеруючій системі з газовим котлом визначимо спочатку за експлуатаційними затратами на енергоносії. З урахуванням тривалості роботи теплового насоса та графіка зміни його COP визначено середні значення COP за опалювальний період для кожного температурного графіка. З урахуванням COP розраховано витрати електроенергії для приводу теплового насоса. Результати розрахунків витрат енергоносіїв та відповідних грошових затрат відображено у табл. 3.

Порівнюючи результати розрахунків у табл. 1 та 3, бачимо, що застосування теплового насоса з котлом газовим за бівалентно-альтернативним режимом може забезпечити зниження затрат на енергоносії порівняно з роботою тільки котла газового

на 9-10% – за температурного графіка системи опалення 85-65 °С, та на 42-48% – за температурного графіка 65-50 °С.

Таблиця 3 – Затрати на енергоносії для опалення від гібридної теплогенеруючої системи «котел-тепловий насос»

Показник	Температурний графік, °С		
	85-65	75-55	65-50
м. Харків			
СОР теплового насоса	3,1	3,0	2,82
Витрата електроенергії, кВт·год	1 361	3 225	6 828
Витрата природного газу, м <sup>3</sup>	3245	2601	1471
Затрати на електроенергію, тис. грн	0,972	2,303	4,875
Затрати на природний газ, тис. грн	22,323	17,895	10,119
Загальні затрати на енергоносії, тис. грн	23,295	20,198	14,994
м. Херсон			
СОР теплового насоса	3,14	3,02	2,9
Витрата електроенергії, кВт·год	1 208	3 467	6 239
Витрата природного газу, м <sup>3</sup>	2598	1818	911
Затрати на електроенергію, тис. грн	0,863	2,476	4,455
Затрати на природний газ, тис. грн	17,870	12,507	6,264
Загальні затрати на енергоносії, тис. грн	18,733	14,983	10,719

Згідно з проведеними розрахунками термін окупності теплового насосу складає близько 8 років за температурного графіка 65-50 °С, близько 30 років – за температурного графіка 85-65 °С, враховуючи теперішні ціни на обладнання та тарифи на енергоносії. Отже, економічна доцільність використання теплових насосів для потреб опалення забезпечується за використання температур теплоносія в системі не більше 50-60 °С.

Термодинамічна ефективність гібридного джерела теплоти «котел-тепловий насос» оцінювалася за значенням середнього за опалювальний період ексергетичного ККД для кожного температурного графіка:

$$\bar{\eta}_e = \frac{(Q_{mn} + Q_k) \cdot \left( 1 - \frac{\bar{T}_{nc}}{273 + \frac{t_1 + t_2}{2}} \right)}{1,05 \cdot B \cdot Q_n^p + N}, \quad (1)$$

де  $Q_{mn}$  – витрата теплоти за опалювальний період, що покривається тепловим насосом, МДж;  $Q_k$  – витрата теплоти за опалювальний період, що покривається котлом, МДж;  $\bar{T}_{nc}$  – середня за опалювальний період температура навколишнього середовища, К;  $\bar{t}_1$  – середня за опалювальний період температура теплоносія у подавальному трубопроводі системи опалення, °С;  $\bar{t}_2$  – середня за опалювальний період температура теплоносія у зворотному трубопроводі системи опалення, °С;  $B$  – витрата природного газу за опалювальний період, м<sup>3</sup>;  $Q_n^p$  – нижча теплота згорання природного газу, МДж/м<sup>3</sup>;  $N$  – ексергія електричної енергії в компресорі, МДж.

Результати розрахунків середнього за опалювальний період ексергетичного ККД гібридного джерела теплоти «котел-тепловий насос» наведено у табл. 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунків середнього за опалювальний період ексергетичного ККД гібридного джерела теплоти «котел-тепловий насос»

Температурний графік	Середній за опалювальний період ексергетичний ККД, %	
	м. Харків	м. Херсон
85-65 °С	15,4	14,8
75-55 °С	16,1	16,7
65-50 °С	20,1	21,6

Проведений ексергетичний аналіз вказує на енергетичну ефективність гібридного джерела теплоти «котел-тепловий насос» за понижених температурних графіків системи опалення.

**Висновки.** Результати проведених числових досліджень доводять, що раціональні режими відпуску теплоти для опалення від гібридного джерела «котел-тепловий насос», яким відповідають максимальні значення ексергетичного ККД та мінімальні затрати на енергоносії, забезпечуються за понижених температурних графіків. Застосовуючи понижені температурні графіки в системах радіаторного опалення, водяні системи променевого опалення, можливо повністю або частково забезпечувати опалення будинку від теплового насоса з оптимальними показниками енергетичної та економічної ефективності.

Однією з основних проблем залишається тривалий термін окупності, який можливо понизити за рахунок налагодження вітчизняного виробництва теплових насосів, спеціальних тарифів на електроенергію для споживачів, які використовують теплові насоси, та інших пільгових заходів державного значення, направлених на підтримку екологічно чистої генерації теплової енергії.

ЛІТЕРАТУРА:

1. European Heat Pump Association et al. European Heat Pump Market and Statistics Report 2015 // Executive Summary [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу: [http://www.ehpa.org/fileadmin/red/07\\_Market\\_Data/2014/EHPA\\_European\\_Heat\\_Pump\\_Market\\_and\\_Statistics\\_Report\\_2015\\_-\\_executive\\_Summary.pdf](http://www.ehpa.org/fileadmin/red/07_Market_Data/2014/EHPA_European_Heat_Pump_Market_and_Statistics_Report_2015_-_executive_Summary.pdf)

[rt\\_2015\\_-\\_executive\\_Summary.pdf](#) – Назва з екрана.

2. Мацевитый Ю. М. Об использовании тепловых насосов в мире и что тормозит их широкомасштабное внедрение в Украине / Ю. М. Мацевитый, Н. Б. Чиркин, А. С. Клепанда // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2014. – №2 (120). – С. 2–17.

3. Мацевитый Ю. М. О рациональном использовании теплонасосных технологий в экономике Украины / Ю. М. Мацевитый, Н. Б. Чиркин, Л. С. Богданович, А. С. Клепанда // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2007. – №3. – С. 3–11.

4. Колесниченко Н. В. Оценка целесообразности использования тепловых насосов в Украине / Н. В. Колесниченко, Г. Е. Константинов, М. А. Дмитренко // Промышленная теплотехника. – Т. 33. – 2011. – №5. – С. 67–73.

5. Беляева Т. Г. Оценка экономической целесообразности использования тепловых насосов в коммунальной теплоэнергетике Украины / Т. Г. Беляева, А. А. Рутенко, М. В. Ткаченко, О. Б. Басок // Промышленная теплотехника. – Т. 31. – 2008. – №5. – С. 81–87.

6. Тепловые насосы сегодня [Електронний ресурс]. – 2016. – №1. – Режим доступу: [http://www.unhpa.com.ua/wp-content/uploads/2016/05/Журнал\\_Тепловые-насосы-сегодня\\_№1\\_2016.pdf](http://www.unhpa.com.ua/wp-content/uploads/2016/05/Журнал_Тепловые-насосы-сегодня_№1_2016.pdf) – Назва з екрана.

7. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами: ДСТУ Б В.2.5-44:2010 – [Чинний від 2010-09-01]. – (Національні стандарти України).

8. Мироски А. Материалы для проектирования котельных и современных систем отопления / А. Мироски, Г. Ланге, И. Елень. – Виссманн Польша, 2005. – С. 210–219.

9. Посібник з проектування інженерних систем житлових і громадських будинків з тепловими насосами. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 82 с.

10. Долинский А. А. Тепловые насосы в системе теплоснабжения зданий / А. А. Долинский, Б. Х. Драганов // Промышленная теплотехника. – Т. 30. – 2008. – №6. – С. 71–83.

11. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 176с.

12. Редько А. О. Низькопотенційна енергетика: навчальний посібник / А. О. Редько та ін.; Під ред. академіка НАНУ А. А. Долинського. – Харків: ТОВ "Друкарня Мадрид". – 2016. – 412 с.
13. Wang E. et al. Performance prediction of a hybrid solar ground-source heat pump system // *Energy and Buildings*. – 2012. – V. 47. – P. 600–611.
14. Bakirci K. et al. Energy analysis of a solar-ground source heat pump system with vertical closed-loop for heating applications // *Energy*. – 2011. – V. 36. – №. 5. – P. 3224–3232.

*Рецензент: д-р техн. наук О.Ф. Редько*

УДК 697.92

**Шепітчак В. Б.,**

*Національний університет «Львівська політехніка»*

**Редько А. О.,**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

**Сподинюк Н. А.**

*Національний університет «Львівська політехніка»*

### **ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФРАЧЕРВОНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОВОРОТНИХ НАГРІВАЧІВ**

**Вступ.** Проблема енергозбереження на межі тисячоліть перетворилась в одну з найважливіших загальнолюдських проблем. Раціональне та економне використання природних ресурсів, скорочення шкідливих викидів в атмосферу та ефективне використання електричної та теплової енергії набувають виключно важливого значення у сучасному суспільстві. Україна задовольняє свої потреби в природних енергоресурсах за рахунок власного їх видобутку приблизно на 45%. У більшості країн світу рівень енергетичної самозабезпеченості такий самий або нижчий. Проблема полягає в іншому - неприпустимо низькій ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. Енергоємність валового внутрішнього продукту в Україні в 3-5 разів вища, ніж в економічно-розвинених державах. Така ситуація є наслідком деформованої структури виробництва та енергоспоживання, використання застарілих виробничих енергетичних фондів, повільного впровадження енергозберігаючих заходів та технологій, а також ряду інших причин. Необхідність підвищення рівня енергетичної безпеки є одним з головних завдань нашої держави на сучасному етапі її соціально-економічного розвитку.

В умовах значної залежності економіки України від імпорту енергоносіїв цей напрям державної економічної політики є не менш важливим, ніж збільшення обсягів власного виробництва енергетичних ресурсів. Енергозбереження є не тільки вирішальним, але й найдешевшим джерелом задоволення потреб господарського комплексу в енергоносіях, адже питомі капітальні вкладення в енергозбереження значно нижчі від витрат, пов'язаних із збільшення видобутку та виробництва енергоносіїв.

#### **Мета і завдання дослідження.**

Мета дослідження полягає у визначенні техніко-економічної ефективності системи теплозабезпечення з використанням поворотних інфрачервоних електричних нагрівачів. Проведено порівняння цієї системи з традиційною системою променевого електричного опалення виробничого приміщення.

#### **Результати дослідження.**

При використанні променевого обігріву важливим є значення густини і рівномірності поля променевої енергії у робочій зоні. Так, при радіаційному опаленні розподіл густини теплової енергії по площі є не рівномірним [1-3].