

**УДК 697.7**

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ  
ПАЛЬ У ЯКОСТІ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ  
ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТЕПЛО-ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ**

**THE ANALYSIS OF POSSIBILITY OF USE OF ENERGY PILES  
AS LOW-GRADE ENERGY SOURCES FOR HEAT AND  
COOLING**

**Приймак О.В., д.т.н., професор, КНУБА, м. Київ, Задорожнікова І.В., к.т.н., доцент Луцький НТУ, Дмитрук О.І., магістрант, Луцький НТУ, м.Луцьк, Кузицький І.Т., аспірант КНУБА, м. Київ**

**Przymak O., Doctor of technical sciences, professor, Kiev national university of Construction and Architecture, Kyiv, Zadorozhnikova I., Ph.D in Engineering, associate professor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Dmytruk O., master, Lutsk National Technical University, Lutsk, Kuzytskyi I. PhD student, Kiev national university of Construction and Architecture, Kyiv**

В статті проаналізовано застосування термодинамічних методів для попередніх енергетичних і техніко-економічних розрахунків застосування у якості нижнього джерела – енергетичних паль теплових насосів для теплохолодопостачання. Встановлено що для геологічних і кліматичних умов України техніко-економічно виправдано застосування вказаного обладнання з терміном окупності близько 10 років для теплохолодопостачання і близько 15 років для теплостачання.

The paper analyzes the application of thermodynamic methods for earlier energy and technical-economic calculations used in lower quality sources – energy piles heat pumps for driving heating and cooling. It was established that for geologic and climatic conditions of Ukraine feasibility justified the use of specified equipment with a payback period of about 10 years for heating and cooling supply and about 15 years for heating.

Ключові слова: теплові насоси, енергетична ефективність, термодинаміка, енергетичні палі.

Keywords: heat pumps, energy efficiency, thermodynamics, energy piles.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з різким підвищенням тарифів на енергоносії, захистом навколишнього середовища від шкідливих викидів все актуальнішим стає екологічне енергоощадне будівництво на основі раціонального техніко-економічного аналізу, у тому числі підсистем енергоресурс созабезпечення. Аналіз зарубіжного досвіду в галузі опалення і гарячого водопостачання показує, що досить давно і, в даний час, дуже широко використовуються теплові насоси (ТН). Сьогодні в світі працює понад 10 млн. ТН різної потужності - від декількох кіловат до сотень мегават. Ринок теплонасосних систем досить стійкий до кон'юнктурних коливань і становить приблизно мільйон продажів в рік. За прогнозом Світового Енергетичного Комітету, до 2020 року в передових країнах частка опалення та гарячого водопостачання від ТН складатиме не менше 75%. Наведені приклади свідчать про те, що в світовій практиці змінюється стратегія теплопостачання. Відбувається перехід від традиційного спалювання органічного палива до використання енергоефективних технологій на основі використання розсіяної або скидуваної низько потенційної теплоти. Тому наукові дослідження з впровадження ТН для теплохолодопостачання будівель є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З аналізу літературних джерел та патентних досліджень [1-6] встановлено, що фундаментальні і прикладні наукові дослідження направлені на підвищення термодинамічної та енергетичної ефективності ТН, зменшення їх собівартості, зменшення терміну окупності, вартості і простоти експлуатації, можливості повної утилізації після закінчення терміну роботи одночасно із терміном служби будівлі.

ТН перетворює низькопотенційну відновлювальну і скидну вторинну теплову енергію у більш високу теплоту, придатну для практичного використання. У якості нижніх джерел теплоти широко використовують скидну відпрацьовану воду, природну глибинну та приповерхневу воду (рис.1), тепловий потенціал глибини землі (рис.2).

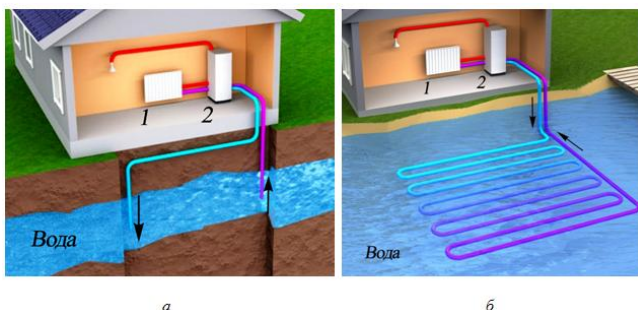


Рис.1. Схеми використання води у якості нижнього джерела теплоти для ТТН: а) вода з глибинних шарів (відкрита схема); б) вода з поверхневих шарів (закрита схема).

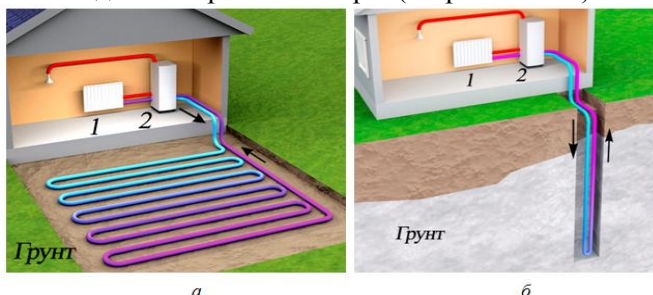


Рис.2. Схеми використання теплоти ґрунту у якості нижнього джерела теплоти для ТН: а) горизонтальне розташування теплообмінника; б) вертикальне розташування теплообмінника.

Вертикальні колектори (вертикальні теплообмінники) - це система довгих труб, які опущені в глибоку свердловину (40-150 м). Тепловий насос ґрунт-вода з використанням вертикального теплообмінника потребує невеликої площі землі, але роботи з буріння є дорогими. На глибині завжди однакова температура - близько  $10^{\circ}\text{C}$ , тому вертикальні колектори є потужнішим джерелом від горизонтальних. Один метр довжини вертикального теплообмінника дає від 30 до 100 Вт теплової енергії, в залежності від теплофізичних властивостей ґрунту (еквівалентні коефіцієнт теплопровідності та теплоємності). Відомо близько десяти різних конструкцій вертикальних колекторів [3,4], навіть досить незвичайних, наприклад, у вигляді прямих чи витих трубок, залитих бетоном в палі фундаменту будинку (енергетична палія), перекриття підвалу і т.д., тобто суміщення з елементами будівельних конструкцій (рис.3.) Перевагою такого конструктивного

рішення є зменшення собівартості облаштування теплообмінника при деякому зростанні вартості облаштування конструкцій.



Рис.3. Суміщення теплообмінника випарника ТН з будівельними конструкціями залізобетонного перекриття і папі.

Проте наведені у літературних джерелах дані вказують на значний вплив на теплову і техніко-економічну ефективність використання ТН як конкретних фізико-хімічних властивостей ґрунтів, так і архітектурно-планувальних і конструкторських рішень, кліматичних та технологічних умов експлуатації.

**Формулювання цілей статті** (постановка завдання). На основі термодинамічних методів аналізу встановити термодинамічну і, відповідно, теплову ефективності використання у якості джерела теплоти ТН енергетичних палів з використанням низькопотенційної теплоти глибини землі для тепlopостачання в холодний період року і холодопостачання в теплий період з урахуванням кліматичних і геологічних умов України.

**Основний матеріал дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Принципи дії, конструктивні особливості ТН і холодильної машини (ХМ) співпадають і відрізняються температурними межами роботи. Наприклад ТН працює в температурному діапазоні від плюс  $10^{\circ}\text{C}$  до плюс  $50^{\circ}\text{C}$ , а ХМ від плюс  $15^{\circ}\text{C}$  до мінус  $30^{\circ}\text{C}$ . Такі температурні умови накладають певні обмеження на застосування різних робочих тіл з різними температурами насичення, кипіння, конденсації і відповідними тисками, питомими об'ємами, ентальпіями, а також з відповідними змінами у елементах конструкцій. Принципову схему ТН і зображення циклу в TS-координатах представлено на рис.4. ТН діє за рахунок механічної роботи підведеної із зовні на привод компресора від електричного або теплового двигуна. У компресорі тиск робочого тіла, що знаходиться в пароподібному стані, підвищується від  $P_1$  до  $P_2$

(процес 1-2). Потім в конденсаторі при постійному тиску відбувається конденсація робочої тіла (процес 2-3) з відведенням теплоти при температурі  $T_2$ , наприклад нагріваючи воду через теплообмінник, яка подається в систему опалення. У дроселі відбувається розширення робочого тіла до тиску  $P_1$  з його частковим випаровуванням (процес 3-4). Далі, робоче тіло повністю перетворюється в пару при температурі  $T_1$  в випарнику, де теплота відбирається від низькопотенційного джерела через теплообмінник, наприклад, від ґрунту, який оточує залізобетонну палю.

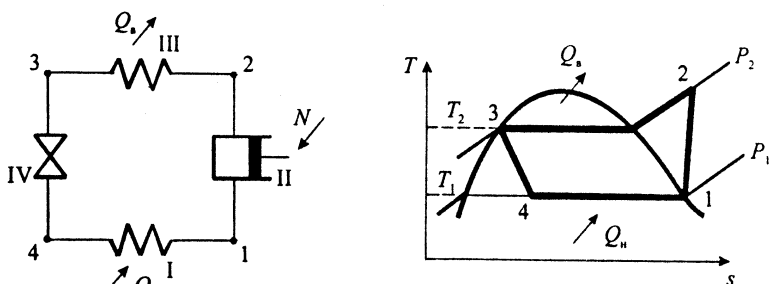


Рис.4. Принципова схема ТН парокомпресійного типу і його цикл в TS- діаграмі: I – випарник; II – компресор; III – конденсатор; IV – дросельний пристрій.

Основними термодинамічними і теплоенергетичними характеристиками ТН є коефіцієнт перетворення (трансформації) теплоти  $\varepsilon$ , термодинамічний ККД і питома вартість, тобто вартість, віднесена до теплової потужності ТН. Коефіцієнт перетворення теплоти рівний відношенню одержуваної теплової потужності  $Q_B$  до затраченої із зовні потужності на привод компресора  $N$ . Він більший від одиниці, істотно залежить від температури холодного джерела теплоти  $T_1$  і температури одержуваного гарячого теплоносія  $T_2$ . В результаті роботи теплового насоса можна отримати приблизно в 2-8 разів більше теплоти, ніж в разі безпосереднього підігріву теплоносія в електрокалорифері. Коефіцієнт перетворення теплоти  $\varepsilon$  визначається з рівняння

$$\varepsilon_T = \frac{Q_B}{N} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

Ступінь перетворення теплоти в роботу характеризується

працездатністю або ексергією потоку теплоти і істотно залежить від температурного рівня потоку теплоти, а також від температури навколишнього середовища.

Термодинамічна досконалість теплового насоса визначається його ексергетичним ККД. Він може бути обчислений за формулою

$$\eta_e = \frac{Q_B \omega}{N} \quad (2)$$

де  $\omega$  - температурна функція або коефіцієнт працездатності теплоти, яка визначається як

$$\omega = \frac{T_2 - T_{oc}}{T_2} \quad (3)$$

Як видно, ексергетичний ККД ТН завжди менший від одиниці. На основі представлених понять і визначень технічної термодинаміки виконано розрахунки термодинамічної ефективності застосування енергетичних паль для ТН та наближених техніко-економічних розрахунків.

**Висновки.** Встановлено що для кліматичних, геологічних умов України використання енергетичних паль для опалення та охолодження (інтегрований показник) є економічно обґрунтовано та екологічно ефективно. Термін окупності застосування енергетичних паль для теплопостачання складатиме близько 15 років, а для теплоохолодопостачання близько 10 років. Для попередніх приблизних розрахунків на основі методів технічної термодинаміки можна оцінити ефект впливу теплового потенціалу ґрунту на теплові і техніко-економічні характеристики енергетичних паль.

1. Амерханов Р.А. Тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат 2005. — 160 с., ил.
2. Шеремет Е.О. Применение тепловых насосов в системах централизованного теплоснабжения в целях повышения экономичности энергоэффективности тепловых сетей / Е.О. Шеремет, А. С. Семиненко // Современные наукоемкие технологии. – 2013 – № 8 – с. 54-57.
3. Бондарь Е. С. Тепловые насосы: расчет, выбор, монтаж / Е.С. Бондарь // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2011 – № 4 (112) – с. 62-37.
4. Райх В. Геотермальные тепловые насосы / В. Райх // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2011 – № 1 (109) – с. 80-83.
5. Geotherm [Электронный ресурс]: Геотермальные тепловые насосы – свободный доступ <http://www.geotherm.com.ua/about/closedloop/heatbasket.html>.
6. Тепло сервис [Электронный ресурс]: Спиральные и вертикальные геозонды – новейшие технологии сбора тепла грунта для тепловых насосов – свободный доступ <http://teplo-v-dome.net/spiralnye-vertikalnye-geozondy-novejshie-texnologii-sbora-tepla-grunta-dlya-teplovых-nasosov/>