

УДК 621.548:620.92:624.13

Ю.П.Морозов, докт.техн.наук, **Н.В.Ніколаєвська**, **І.О.Кушнір** (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Застосування геотермальних теплових насосів у системах децентралізованого теплопостачання

Проведено аналіз світового досвіду використання геотермальних джерел енергії для теплопостачання та інших напрямків використання термальних вод. Найбільш високі темпи росту використання геотермального тепла мають геотермальні теплові насоси. Наведено дані щодо використання геотермальних теплових насосів в Україні. Проведено розрахунки ефективності роботи геотермальних теплових насосів з використанням підземних акумуляторів тепла та застосуванням нічного тарифу на електроенергію.

Ключові слова: геотермальні теплові насоси, підземні акумулятори теплоти, нічний тариф на електроенергію.

Проведен анализ мирового опыта использования геотермальных источников энергии для теплоснабжения и других направлений использования термальных вод. Наиболее высокие темпы роста использования геотермального тепла имеют геотермальные тепловые насосы. Приведены данные касательно использования геотермальных тепловых насосов в Украине. Проведены расчеты эффективности работы геотермальных тепловых насосов с использованием подземных аккумуляторов тепла и применением ночного тарифа на электроэнергию.

Ключевые слова: геотермальные тепловые насосы, подземные аккумуляторы теплоты, ночной тариф на электроэнергию.

Всесвітні геотермальні конгреси проводяться кожні п'ять років, починаючи з 1995 р. На підставі даних останніх двох геотермальних конгресів можна визначити основні тенденції розвитку геотермальної енергетики у світі.

На рис. 1 наведено процентне співвідношення напрямків використання геотермального тепла у світі за різними технологіями [1, 2].

Із даних, наведених на рис. 1, видно, що використання геотермальних джерел енергії для роботи геотермальних теплових насосів збільшилося з 49 до 55,3%, а використання тепла термальних вод у бальнеології та рекреації зменшилося з 24,9 до 20,31%. В той же час пряме опалення приміщень збільшилося з 14,4 до 15,01%. Інші напрямки використання геотермального тепла практично не змінилися.

За останні 10 років найбільші темпи розвитку отримало застосування геотермальних теплових насосів, тобто використання тепла верхніх шарів Землі. Верхні шари Землі – це умовний термін, і в різних джерелах мається на увазі максимальна глибина від 200 до 500 м.

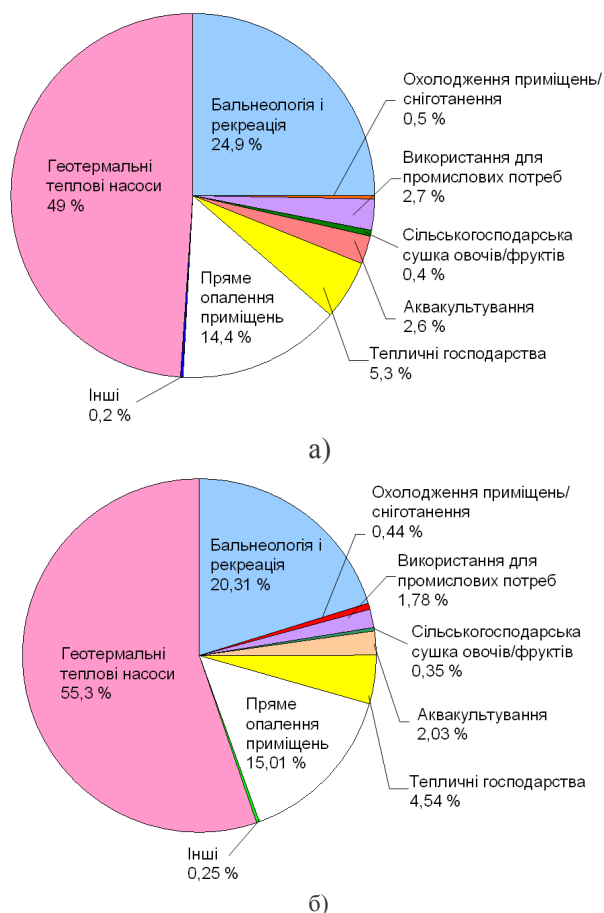


Рис. 1. Використання геотермального тепла в різних технологіях у світі: а – 2010 р.; б – 2015 р.

Теплота верхніх шарів Землі практично повсюдно може використовуватися в якості джерела енергії для систем теплопостачання із застосуванням геотермальних теплових насосів або для кондиціювання повітря у приміщеннях. Розвиток технологій добування та використання теплоти верхніх шарів Землі спрямований на забезпечення екологічної безпеки таких систем, підвищення її енергоефективності шляхом застосування акумуляторів теплоти і на оптимізацію роботи теплових насосів.

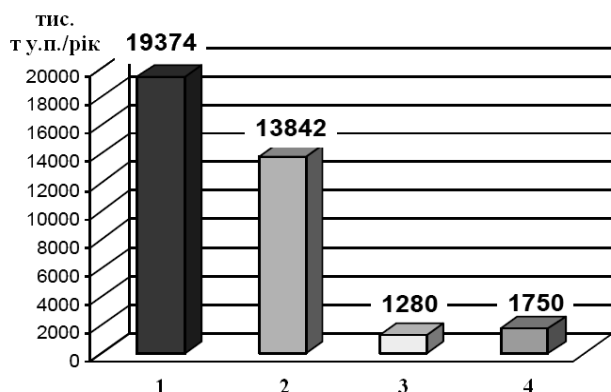


Рис. 2. Енергетичний потенціал низькопотенційної теплоти ґрунту в Україні: 1 – теоретичні ресурси теплової енергії ґрунту і ґрунтових вод для теплозабезпечення, тис. т у.п./рік; 2 – теоретично можливі об'єми використання теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод для теплозабезпечення, тис. т у.п./рік; 3 – технічно можливі об'єми використання теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод для теплозабезпечення, тис. т у.п./рік; 4 – технічно можливі об'єми використання теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод для теплозабезпечення із застосуванням теплових насосів, тис. т у.п./рік.

Як видно з рис. 2, за даними [3] технічно можливі об'єми використання теплової енергії ґрунту для теплопостачання із застосуванням теплових насосів складають 1750 тис. т у.п./рік.

Можливість застосування геотермальних теплових насосів із використанням верхніх шарів ґрунту повинна базуватись на термодинамічному і техніко-економічному аналізі як самих установок трансформації енергії, так і вартісних характеристик експлуатації обладнання будівель і споруд та ін.

В першу чергу оцінюється енергетичний потенціал ґрунту в місці розташування приміщення, що опалюється. Енергетичний потенціал ґрунту багато в чому залежить від геології місцевості, типу ґрунту і глибини залягання ґрунтових вод [4–6].

За даними компанії "Атмосфера", кількість встановлених теплових насосів в Україні постійно зростає [7]. Наведені на рис. 3 дані є приблизними, оскільки немає можливості врахувати кількість теплових насосів, встановлених приватними підприємцями, у володінні яких може знаходитися до 30% обсягу цього ринку послуг.

В Україні використанням тепла верхніх шарів Землі займається більше 14 підприємств. Загальна кількість об'єктів, які введені в експлуатацію тільки двома підприємствами, становить більше ста двадцяти. Загальна потужність цих геотермальних об'єктів – близько 5 МВт.

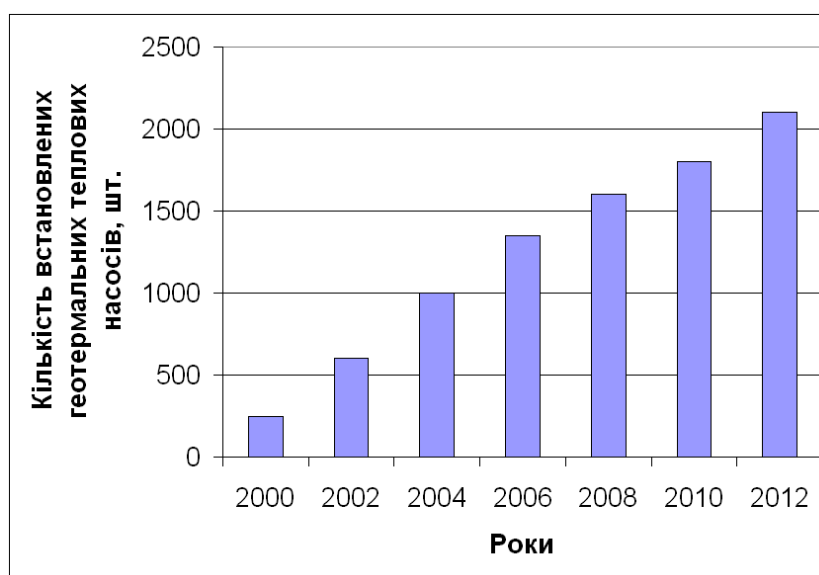


Рис. 3. Оціночна кількість встановлених геотермальних теплових насосів в Україні (за даними компанії "Атмосфера").

В таблиці 1 наведено приклади теплоспоживачів та місце їх розташування.

Таблиця 1. Типи теплоспоживачів та місце їх розташування

Тип теплоспоживача	Кількість, шт.	Встановлена потужність, МВт	Джерело теплоти	Місце розташування
Котедж	96	2,6	Свердловини 30-50 м, озеро, горизонтальні земляні колектори	Київська обл., Черкаська обл., Хмельницька обл., Івано-Франківська обл., Кіровоградська обл., Харківська обл., Донецька обл.
Басейн	12	1,4	Свердловини 30-50 м	Київська обл., Кіровоградська обл.
Офісний центр	14	0,25	Свердловини 30-50 м	Київська обл.
Учбовий корпус	2	0,15	Свердловини 30-50 м, повітря	Рівненська обл., Івано-Франківська обл., Вінницька обл.
Адміністративні будівлі	5	0,35	Свердловини 30-50 м	Кіровоградська обл., Івано-Франківська обл., Київська обл.
Готель	4	0,11	Свердловини 30-50 м	Одеська обл., Київська обл.
Еlevator	1	0,35	Свердловини 30-50 м	Кіровоградська обл.
Всього	134	5,21		10 областей

Визначимо ефективність роботи ТНУ з використанням тепла верхніх шарів Землі та застосуванням підземного акумулятора теплоти на прикладі опалення будинку корпусу №2 Національного Ботанічного саду ім. М.М.Гришка НАН України площею 1400 м².

Температура води на виході зі свердловини за даними [8] становить +12°C. Така температура води дозволяє ефективно використовувати теплові насоси для опалення приміщень і гарячого водопостачання з коефіцієнтом перетворення 3,7. Максимальна теплова продуктивність для опалення будинку №2 становить 128,6 кВт.

Робота ТНУ проводиться із застосуванням нічного тарифу за сплату електроенергії.

Застосування підземного акумулятора теплоти здійснюється для акумулювання надлишкового тепла при роботі теплового насоса в нічний період. Удень спочатку використовують тепло від акумулятора, а потім вступає в роботу тепловий насос.

Графік фактичного теплового навантаження наведено на рис. 4.

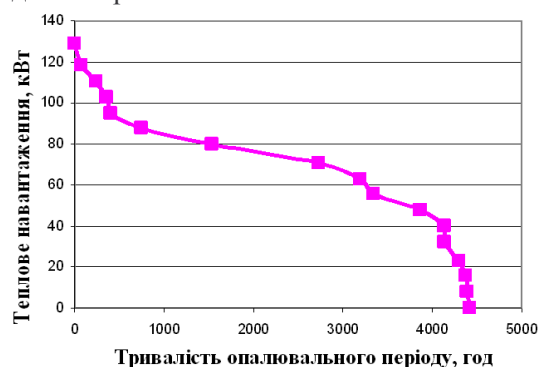


Рис. 4. Графік регулювання теплових навантажень при Q_{max} = 128,6 кВт.

В таблиці 2 наведено технічні характеристики опалення корпусу №2 з використанням тепла верхніх шарів Землі та застосуванням ТНУ і підземного акумулятора теплоти.

Таблиця 2. Технічні характеристики опалення корпусу №2 з використанням тепла верхніх шарів Землі та застосуванням ТНУ і підземного акумулятора теплоти

№ п/п	Показники	Одиниці виміру	Величина
1	Максимальне теплове навантаження	кВт	128,6
2	Номінальна теплова продуктивність ТНУ	кВт	128,0
3	Потужність, яку споживає ТНУ	кВт	34,8
4	Потужність циркуляційного насоса	кВт	1
5	Витрати води в якості низькопотенційної теплоти ТНУ	м ³ /год	7,3
6	Об'єм підземного акумулятора тепла	м ³	27,0
7	Площа опалюваних приміщень	м ²	1400,0
8	Температура води на виході зі свердловини	°C	12
9	Тривалість опалювального періоду	годин	4416
10	Кількість виробленого тепла	Гкал/год	388,6

На рис. 5 наведено схему теплопостачання будинку корпусу №2 Ботанічного саду з використанням тепла верхніх шарів Землі та застосуванням ТНУ і підземного акумулятора теплоти.

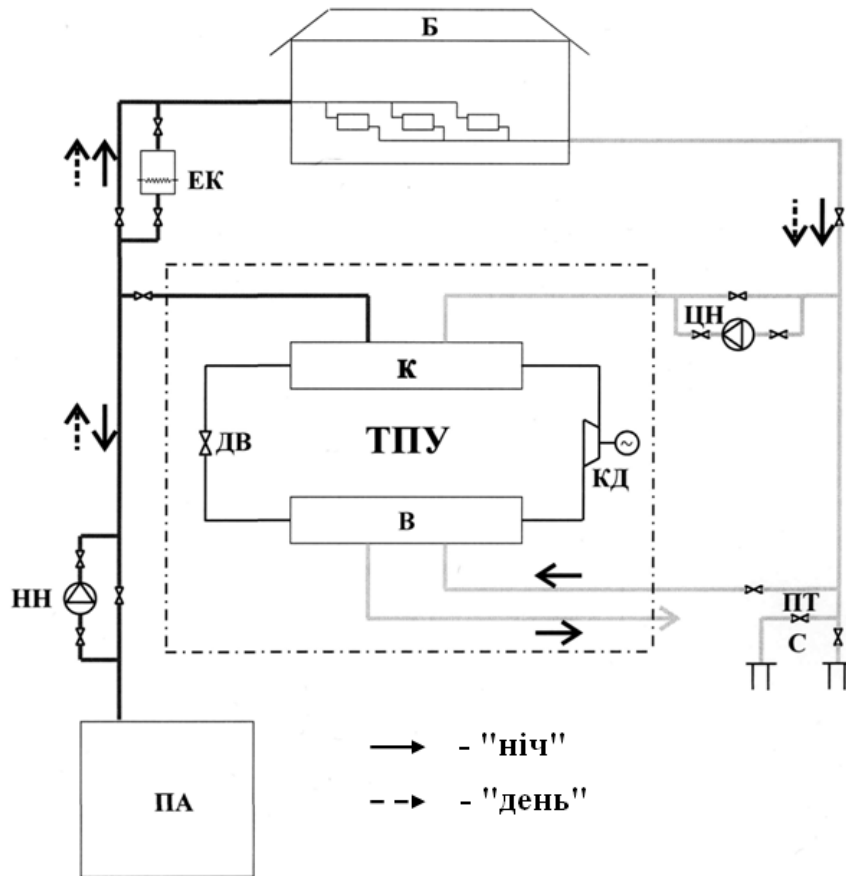


Рис. 5. Схема теплопостачання будинку корпусу №2 Ботанічного саду з використанням тепла верхніх шарів Землі і застосуванням ТНУ та підземного акумулятора теплоти: Б – будинок; ЕК – електрокотел; ЦН – циркуляційний насос; ТНУ – тепла насосна установка; К – конденсатор; В – випарник; ДВ – дросель-вентиль; КД – компресор з електродвигуном; ПТ – підземний теплоносій; НН – нагнітальний насос; ПА – підземний акумулятор теплоти; С – свердловина.

Робота ТНУ системи "вода-вода" забезпечує його сталу роботу протягом усього періоду теплопостачання і не потребує застосування додаткових заходів для забезпечення потрібного графіка постачання тепла.

Вартість електроенергії при застосуванні нічного тарифу і акумуляції тепла:

$$B_{EA} = (N_e + N_u) \times \left[\frac{(\tau_o - \tau_n) K_{mo} + \tau_n K_{mi} (\tau_o - \tau_a) + K_{mi} \tau_a}{\tau_o} \right], \quad (1)$$

де N_e – електрична потужність, яку споживає ТНУ, кВт; N_u – електрична потужність циркуляційного насоса, кВт; τ_o – кількість годин у добі, год; τ_n – кількість годин роботи теплового насоса за нічним тарифом, год; τ_a – кількість годин роботи теплового насоса за опалювальний період, год; τ_o – тривалість опалювального періоду, год;

K_{mi} – нічний тариф на електроенергію; K_{mo} – діючий тариф на електроенергію.

Собівартість виробленого тепла за допомогою теплового насоса дорівнює:

$$C_m = \frac{\sum B_e}{Q}, \quad (2)$$

де B_e – сумарні витрати виробництва; Q – кількість виробленого тепла, яка визначається за допомогою графіка регулювання теплового навантаження (рис. 4).

Розрахунки показують, що застосування нічного тарифу з акумуляцією тепла при використанні ТНУ на 26-30% знижує собівартість відпущеного тепла, а питомі капіталовкладення при застосуванні підземних акумуляторів тепла зростають на 15-20%.

Висновки. 1. Світовий досвід використання геотермальних джерел енергії для теплопоста-

чання показує, що найбільш розвинутою галуззю є застосування геотермальних теплових насосів, які використовують тепло верхніх шарів Землі. Серед усіх джерел геотермальної енергії на даний час вони становлять більш ніж 50% від загальної потужності всіх інших джерел.

2. В Україні геотермальні теплові насоси використовуються в системах теплопостачання більш ніж 120 котеджів, басейнів, офісних центрів, учбових корпусів, адміністративних будівель та готелів.

3. Розрахунки показують, що застосування системи підключення геотермальних теплових насосів з використанням підземного акумулятора теплоти і застосуванням для його роботи нічного тарифу може знизити собівартість теплоти на 26-30%.

1. *L. Rybach*, 2010 (<http://www.wgc2010.org>).
2. *Lund J., Boyd T.* Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review // Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
3. *Снежкін Ю.М.* Энергозберігаючі теплонасосні технології для систем теплопостачання житлово-комунального господарства і промисловості (<http://www.minregion.gov.ua>).
4. *Соколов Е.Я., Бродянский В.М.* Энергетические основы трансформации тепла и процессы охлаждения. – Москва. – 1968. – С. 327.
5. *Ierrell Robert E.* Performance and analysis of "series" heat pump-assisted solar heated residence in Madison // Wisconsin. Solar energy. – 1979. – Vol. 23. – No. 5. – 451–453 p.
6. *Corman Y.C., Mc.Gowan Y.G., Peter W.D.* Solar augmented home heating heat pump systems. // 9-th Intersoc. Energy Convers. Eng. Convers. – San-Francisco, California.
7. www.atmosfera.ua
8. *Пособие по проведению* технико-экономических исследований. – Методика ЮНИДО, 1986. – 292 с.

УДК 556.322.63.001.57

И.А.Садовенко, докт.техн.наук, **А.В.Инкин**, канд.техн.наук (Национальный горный университет, Днепропетровск)

Верификация математической модели переноса тепловой энергии в обводненных породах сжигаемого угольного пласта

Статья направлена на тестирование разработанной ранее математической модели переноса тепла и установление динамики формирования гидротермических полей в водоносном горизонте, залегающем над сжигаемым угольным пластом. Решение эпизодической задачи было выполнено на основании данных, полученных в ходе проведения крупнейшего научно-исследовательского проекта по подземному сжиганию угля на месторождении Наппа в США. Относительная погрешность определенных положений уровня и температур подземных вод не превысила 5%, что свидетельствует о возможности использования предложенной модели в практических расчетах по оценке эксплуатационных запасов образующейся геотермальной энергии и установлению геотехнологических параметров ее отбора.

Ключевые слова: подземное сжигание угля, тепловая энергия, водоносный горизонт.

Стаття спрямована на тестування розробленої раніше математичної моделі переносу тепла та встановлення динаміки формування гідротермічних полів у водоносному горизонті, який залягає над вугільним пластом, що спалюється. Розв'язання епізодичної задачі було виконано на підставі даних, отриманих у ході проведення найбільшого науково-дослідного проекту з підземного спалювання вугілля на родовищі Наппа в США. Відносна похибка певних положень рівня і температур підземних вод не перевищила 5%, що свідчить про можливість використання запропонованої моделі в практичних розрахунках для оцінки експлуатаційних запасів геотермальної енергії та встановлення геотехнологічних параметрів її відбору.

Ключові слова: підземне спалювання вугілля, теплова енергія, водоносний горизонт.