

## **ГІДРОТЕРМАЛЬНА СИСТЕМА ОТРИМАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ, ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ**

<sup>1</sup>Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ

*Наведено теоретичний аналіз технологій побудови та особливостей використання природних акумуляторів теплової енергії в приповерхневих шарах Землі, як в ґрунті так і у водоносних горизонтах. Виконано загальний економічний аналіз інвестиційної привабливості впровадження теплонасосних систем, що використовують як первинне джерело низькопотенційальну відновлювану енергію приповерхневих шарів Землі. Проведено порівняльний аналіз ефективності використання геотермального теплового колектора, що складається з вертикальних ґрунтових теплообмінників та гідротермального теплового колектора, що складається з двох свердловин: першої для забору води, яка відіграє роль теплоносія для роботи теплонасосної системи, другої — для повернення відпрацьованої води до водоносного горизонту.*

*Описано діючий макет розробленої і сконструйованої в ІВЕ НАНУ гідротермальної експериментальної теплонасосної системи. Подано методику проведення досліджень. Наведено характеристики вимірювального обладнання, встановленого на макеті експериментальної установки, і програмного забезпечення, яке використовувалося для архівування і візуалізації даних, отриманих в процесі проведення досліджень. Викладено результати наукової роботи, отримані в ході теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень ефективності теплонасосних систем, в залежності від системи відбору первинної теплової енергії. Подано залежності коефіцієнта трансформації теплового насоса від типу колектора теплової енергії. Обґрунтовано залежності ефективності теплонасосної системи від параметрів первинного джерела низькопотенційного тепла і конструктивних особливостей системи теплопостачання. Зроблено висновок, що теплонасосна гідротермальна система відкритого типу ефективніша, ніж геотермальна. Мають перспективу подальші дослідження можливості та ефективності використання водоносного горизонту як природного акумулятора теплоти для стабілізації генерування енергії від відновлюваних джерел незалежно від кліматичних умов і пори року.*

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, геотермальна енергетика, теплота ґрунту, ґрунтові води, гідротермальна система, геотермальна система.

### **Вступ**

Одним з питань сьогодення, що найгостріше стоїть перед світовим суспільством, є необхідність встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь. Одним із шляхів забезпечення екологічної безпеки держави може стати перехід до екологічно чистих технологій, що неможливо без широкого застосування відновлюваних джерел енергії. У кліматичних та географічних умовах України одним з перспективних напрямків використання відновлюваної енергетики з погляду як екології, так і економіки є застосування геотермальних та гідротермальних теплонасосних систем (ГеоТС, ГідроТС), у яких за відновлюване джерело енергії може бути використана низькопотенційна енергія приповерхневих шарів Землі [1].

Основна відмінність теплового насоса від інших перетворювачів відновлюваної енергії полягає в тому, що в процесі виробництва тепла до 80 % енергії отримується з навколишнього середовища: ґрунту, води, повітря. Однак така система має і недоліки, які визначаються суттєвою залежністю ефективності від температури низькопотенційного джерела тепла.

Для отримання необхідної первинної енергії для роботи теплового насоса в ГеоТС використовуються ґрунтові теплообмінники, встановлені горизонтально в траншеї, або вертикально в сверд-

ловини, що складають систему вилучення низькопотенційної відновлюваної енергії з ґрунту. В ГідроТС використовуються закриті системи відбору первинної енергії, які складаються з гідротермального теплообмінника, встановленого в водойму або водоносний горизонт, в якому по замкнутому контуру циркулює теплоносій, або відкриті системи відбору первинної енергії води підземних горизонтів що складаються з одної або декількох пар свердловин (видобувної та поглинальної).

Кожна з цих систем має свої переваги і недоліками, які необхідно враховувати під час вибору джерела енергії для ефективної роботи теплового насосу.

В останні роки питання підвищення ефективності теплонасосних систем досліджено у багатьох роботах. Зокрема аналіз перспектив застосування теплових насосів в Україні виконано в статтях [2] і [3]. Аналіз ефективності використання теплового потенціалу доквілля та верхніх шарів Землі подано в роботах [4] і [5]. У дослідженні [6] запропоновано новий підхід до оцінки ефективності теплових насосів. В роботах [7] і [8] проведено оцінку ефективності різних варіантів теплових насосів та виконано термодинамічний аналіз різних типів енергетичних теплонасосних систем.

Сьогодні з упевненістю можна сказати, що перші кроки на цьому шляху вже зроблені. Але вони ще досить повільні. Актуальними залишаються питання дослідження можливості акумулювання теплової енергії як в ґрунті так і в водоносних горизонтах, розробки методик проектування систем що використовують декілька відновлюваних джерел енергії одночасно.

*Метою роботи є визначення ефективності роботи гідротермальної теплонасосної системи відкритого типу в порівнянні з іншими аналогічними системами в залежності від використовуваного джерела низькопотенційного тепла та конструктивних особливостей системи акумулювання та відбору первинної теплової енергії.*

### Результати дослідження

Для проведення досліджень в Інституті відновлюваної енергетики НАН України (ІВЕ НАНУ) спроектовано і сконструйовано експериментальну гідротермальну теплонасосну систему відкритого типу. Принципова схема гідротермальної системи ІВЕ НАНУ показана на рис. 1.

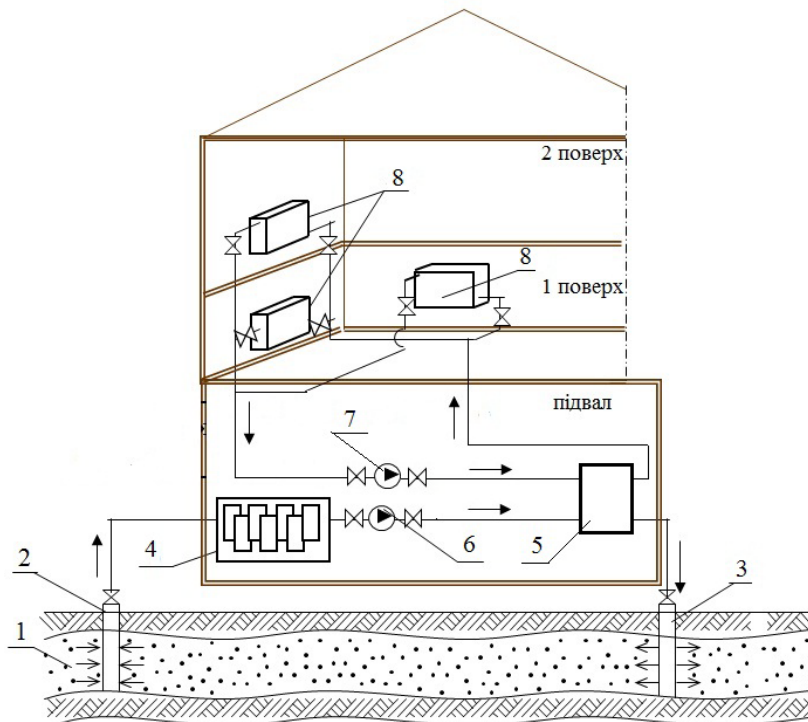


Рис. 1. Принципова схема експериментальної гідротермальної теплонасосної системи відкритого типу [9]:

- 1 — проникний підземний шар; 2 — видобувна свердловина; 3 — поглинальна свердловина;  
4 — баки-акумулятори (7 шт.); 5 — тепловий насос; 6, 7 — циркуляційні насоси; 8 — фанкойли (3 шт.)

Для визначення ефективності роботи гідротермальної теплонасосної системи у порівнянні з аналогічною геотермальною системою, як систему аналога використали геотермальну теплонасосну систему, розроблену в Українському державному геологорозвідувальному інституті (УкрДГРІ).

Принципова схема геотермальної системи УкрДГРІ показана на рис. 2.

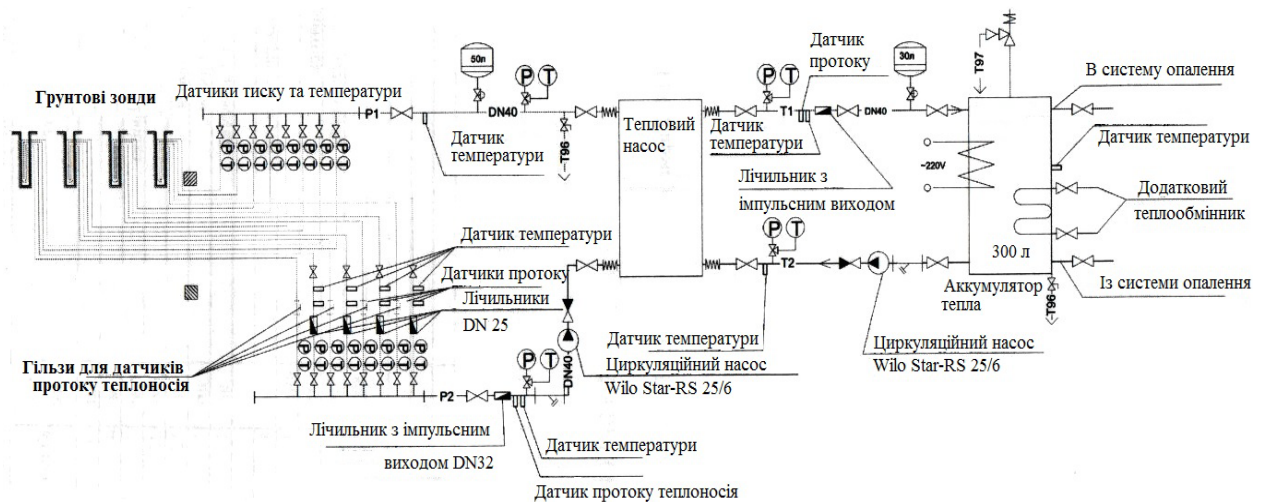


Рис. 2. Принципова схема експериментальної геотермальної енергетичної системи УкрДГРІ [10]

Наземна частина обох систем має однакові конструкції і в них застосовуються теплові насоси однакової потужності. Геотермальна енергетична система конструктивно відрізняється від гідротермальної тільки конструкцією теплообмінника (колектора) і джерелом використовуваної відновлюваної енергії. У першому випадку — це низькопотенційна теплова енергія води, в іншому — низькопотенційна теплова енергія ґрунту. Наземна частина експериментальної енергетичної системи складається з акумулятора теплової енергії та елементів теплового насоса з системою автоматики.

Отримана первинна теплова енергія приповерхневих шарів Землі перекачується тепловим насосом в систему теплозабезпечення будівлі з температурою, необхідною для комфортних умов проживання людей і роботи техніки.

Колектор для збору низькотемпературної теплової енергії ґрунту (див. рис.2) виготовлений з пластикової труби діаметром 31 мм і складається з чотирьох паралельно з'єднаних теплообмінників. Він являє собою вісім U-подібних функціонально пов'язаних геотермальних зондів, встановлених попарно в чотири свердловини на глибину 50 м. Довжина труби в кожному теплообміннику становить 200 м. Загальна довжина колектора становить 800 м. Як теплоносієм використовувався 25 % водний розчин пропіленгліколю ( $C_3H_8O_2$ ).

Колектор гідротермальної теплонасосної системи (див. рис. 1) складається з двох свердловин глибиною 49,5 м та 57,5 м, через які відкачується або закачується вода з водоносного горизонту, що є акумулятивним середовищем. Одна свердловина використовується для акумуляції тепла, інша — холоду. Свердловини знаходяться на відстані декількох десятків метрів одна від одної. Вода з видобувної свердловини подається свердловинним насосом в групу накопичувальних баків, які є акумулятором первинної теплової енергії для роботи теплового насоса.

З метою проведення досліджень до складу комплексу включено вимірювальне обладнання і автоматизована система управління.

Вимірювальні прилади, до складу яких входять датчики температури, і датчики витрати теплоносія встановлені як в наземній, так і підземній частині комплексу.

Для вимірювань температури в контрольних точках використовувалися температурні датчики (термоперетворювачі опору) ТСП-204. Термоперетворювачі опору ТСП-204 внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки України, за номером У246-07. Робочий діапазон вимірюваних температур від  $-40$  до  $+270$  °С, показник теплової інерції не більше 6...8 с.

Датчики температури в наземній частині теплонасосної системи встановлені на впускних і вихідних трубопроводах всіх контурів, на акумуляторі тепла та на вході і виході датчиків витрати теплоносія. Інформація з датчиків знімалася автоматично, з часовим інтервалом в п'ять секунд.

В обох системах встановлені датчики витрати теплоносія, на кожній лінії подачі теплоносія як в геотермальні зонди, так і свердловини, та так само по два датчики на загальних магістралях потоку теплоносія по низькотемпературному і високотемпературному контурам наземної частини обох систем.

Датчики температури, встановлені в підземній частині геотермальної енергетичної системи, дозволяють вимірювати температуру ґрунту на глибинах: 0,02 м; 0,30 м; 0,70 м; 1,20 м; 2,00 м; 5,00 м; 15,00 м; 35,00 м; 50,00 м і температуру теплоносія як у вертикальній частині ґрунтового

колектора на відстані 2,00 м; 5,00 м; 15,00 м; 35,00 м; 50,00 м від поверхні, так і в контрольних точках горизонтальної частини ґрунтового колектора на ділянці між геотермальною свердловиною і входом в будівлю [10].

Датчики температури, встановлені в свердловину гідротермальної теплонасосної системи дозволяють вимірювати температуру повітря в затрубному просторі свердловини на глибині 1 м, 2 м, 5 м, 10 м, 20 м, 30 м, 40 м, і температуру води в свердловині на глибині 45 м.

Контролером MAXYCON FLEXY і спеціальним програмним забезпеченням, розробленим на базі відкритого конфігуратора FDB фірми RAUT AUTOMATIK, забезпечується збір даних з вимірювальних пристроїв з можливістю подальшої обробки та запису в архів для їх інтерпретації та виведення на монітор комп'ютера програмою візуалізації в реальному часі. Контролер дозволяє знімати показники більш ніж з 36 каналів інформації і дистанційно керувати системою, як в автономному, так і ручному режимі.

Для виконання порівняльного аналізу теплонасосних енергетичних систем прийняті критерії, в яких враховані як фізичні параметри, так і техніко-економічні показники теплових насосів (ТН):

1. Теплова продуктивність;
2. Коефіцієнт перетворення теплової енергії;
3. Діапазон температур ефективної роботи теплового насоса;
4. Питома вартість на 1 кВт виробленої теплоти.

Основним показником ефективності теплового насоса є коефіцієнт трансформації (коефіцієнт перетворення теплової енергії)  $\varphi_T$ .

$$\varphi_T = \frac{Q_1}{N} = \frac{(Q_2 + N)}{N} = \frac{T_2}{(T_2 - T_{11})},$$

де  $Q_1$  — теплова продуктивність ТН, Вт;  $N$  — потужність компресора, Вт;  $T_2$  — температура теплоносія на виході з конденсатора, °К;  $T_{11}$  — температура теплоносія на вході в випарувальник, °К.

Дійсний коефіцієнт трансформації теплового насоса  $\varphi$  може мати вигляд

$$\varphi = \varphi_T \eta_{ТН},$$

де  $\eta_{ТН}$  — коефіцієнт втрат, що враховує реальні процеси, які здійснюються робочим тілом в ТН [11].

Експеримент проводився протягом календарного року. В ході проведення експерименту у вказаний період установчі параметри контуру конденсатора відповідно до методики проведення експерименту не змінювалися.

Тепловий режим ґрунту приповерхневих шарів Землі має вікову, багаторічну, річну і добову циклічність, пов'язану зі зміною режимів інсоляції і випромінювання. Головне джерело теплової енергії, що надходить в ґрунт є сонячна радіація.

Тепловий режим води визначається декількома процесами, що впливають одночасно, а саме таких, як сонячна радіація, випаровування, теплообмін з ґрунтом, перенос тепла, турбулентне перемішуванням вод та інше. Температура теплоносія на вході у випарник безпосередньо залежить від цих параметрів відновлюваного джерела.

В процесі проведення дослідження на обох енергетичних установках отримані дані річних змін температур в ґрунті і в свердловині на різних глибинах і так само температури на вході і виході з випарника і конденсатора.

Експериментально встановлено, що для систем з вертикальним ґрунтовим теплообмінником, змонтованим у свердловину та для гідротермальної теплонасосної системи із забором води зі свердловини температура теплоносія на глибині 50 м є досить стабільною у часі та становить в середньому 9,8...10,2 °С. Під час дослідження встановлені незначні сезонні коливання температури теплоносія (0,5...2°С) на виході зі свердловини. Теоретично обґрунтовано, що такі коливання температури теплоносія можливі за рахунок теплообміну між стінками труби, по якій підіймається теплоносій та ґрунтом вище границі промерзання (1...2 м.).

На основі експериментально отриманих даних витрат теплоносія по контуру конденсатора і значень температур на вході і виході з конденсатора теплового насоса, розраховане значення теплової продуктивності всієї енергетичної системи в цілому, яка склала 14 кВт по теплу для кожної з систем.

Розраховані коефіцієнти трансформації для кожної з енергетичних систем для трьох зимових місяців року. Отримані дані зведені в таблицю.

**Залежність коефіцієнта трансформації теплонасосної системи в залежності від джерела  
низькопотенційної теплової енергії**

Місяць	Коефіцієнт трансформації ( $\eta$ )	
	(геотермальна система)	(гідротермальна система)
Грудень	4,5	4,5
Січень	4,5	4,5
Лютий	4,5	4,5

З таблиці випливає, що обидві системи, як геотермальна так і гідротермальна працюють стабільно з високим коефіцієнтом трансформації протягом всього опалювального періоду.

*Діапазон температур ефективної роботи теплового насоса по контуру конденсатора* визначається системою опалення будівлі. Також ефективність системи обернено пропорційна температурі теплоносія на виході з конденсатора ТН. В процесі експерименту в обох системах, температура на виході з конденсатора встановлювалася в ручному режимі однаковою і становила 40...46 °С.

*Діапазон температур ефективної роботи теплового насоса по контуру випарника*, визначається джерелом низькопотенційної енергії і встановлюється на підставі аналітичних розрахунків в залежності від середньої температури теплоносія на вході у випарник. Під час проведення експерименту він становив 8...13 °С для обох систем.

*Питома вартість системи* на 1 кВт виробленої теплової енергії визначається вартістю монтажу колектора для збору низькотемпературної теплової енергії. Складається з вартості буріння 1м свердловини та вартості обладнання. Для геотермальної системи вона становить 100...140 тис. грн, а для гідротермальної — 50...70 тис. грн (станом на червень 2021).

### Висновки

1. Встановлено, що оптимальна температура на вході у випарник геотермальної теплонасосної системи становить 8...13 °С і відповідає температурі ґрунту на глибині від 15 метрів і глибше.

2. Встановлено, що оптимальна температура на вході у випарник гідротермальної теплонасосної системи відкритого типу становить 8...13 °С і відповідає температурі води водоносного горизонту до якого пробурена свердловина.

3. Аналітично обґрунтовано і експериментально підтверджено, що геотермальні теплонасосні системи з вертикально встановленим колектором в свердловину на глибину понад 15 м вимагають, в порівнянні з аналогічними гідротермальними системами у двічі більших початкових інвестицій, і при цьому мають аналогічний гідротермальним системам високий коефіцієнт перетворення теплової енергії (коефіцієнт трансформації), який в зимовий період дорівнює 4,5.

4. Обґрунтовано, що зміна температури води у водоносному горизонті залежить від геотермальних особливостей району. Вона відображає вікові, тектонічні, літологічні і гідродинамічні особливості водоносних горизонтів, та є результатом декількох природних та техногенних факторів, що впливають одночасно, а саме таких, як сонячна радіація, випаровування, теплообмін з ґрунтом, перенос тепла, турбулентне перемішуванням вод, умови залягання водоносного горизонту, живлення і дренажу, а також клімат, біосферний та антропогенний вплив та ін.

5. Мають перспективу подальші дослідження можливості та ефективності використання водоносного горизонту в якості природного акумулятора теплової енергії для стабілізації генерування теплової енергії від відновлюваних джерел енергії в різні сезону року.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] S. V. Goshovskiy, and O. V. Zurian, "Human-induced load on the environment when using geothermal heat pump wells," *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, no. 1, pp. 57-68, 2020. <https://doi.org/10.15421/112006>.
- [2] J. Lund, B. Sanner, L. Rybach R. Curtis, and G. Hellstrom, "Geothermal (ground-source) heat pumps a world overview," *GHC bulletin*, vol. 9, pp. 1-10, 2004.
- [3] В. Г. Олійниченко, М. В. Марченко, і І. О. Кушнір, «Ефективні напрямки інвестування в галузі геотермальної енергетики,» *Відновлювана енергетика*, № 3, с. 73-79, 2017.
- [4] Ю. П. Морозов, Д. М. Чалаєв, Н. В. Ніколаєвська, і М. П. Добровольський, «Оцінка ефективності використання теплового потенціалу доквілля та верхніх шарів Землі України,» *Відновлювана енергетика*, № 4(63), с. 80-88, 2019. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.4\(63\).80-88](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.4(63).80-88).
- [5] Ke Zhu, Philipp Blum, Grant Ferguson, Klaus-Dieter Balke, and Peter Bayer, "The geothermal potential of urban heat islands," *Environ. Res. Lett.*, no. 5, pp. 1-6, 2010. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/6/1/019501>.
- [6] V. G. Oliynichenko, and E. V. Marchenko, "Comparative analysis of the types of technological performance of heat

pumps,” *Renewable energy and energy efficiency in the XXI century: Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchno- prakticheskoy konferentsii*, Kiev, Ukraine, 2017, pp. 604-609.

[7] O. I. Denisov, “Comparative energy analysis of heat pumps and traditional heating systems,” *Tekhnicheskaya teplofizika i promyshlennaya teploenergetika*, Ukraine, vol. 2, pp. 22-34, 2010.

[8] O. V. Zurian, “Comparison of efficiency of geothermal and hydrothermal energy systems,” in *XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Renewable Energy Sources and Clean Tech*, Varna, Bulgaria, 2019, pp. 83-90. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/4.1/S17.011>.

[9] Ю. П. Морозов, Д. М. Чалаєв, В. Г. Олійніченко, і В. В. Величко, «Експериментальне дослідження добового акумулювання холоду шляхом використання води підземних горизонтів м. Києва,» *Відновлювана енергетика*, № 3, с. 67-77, 2019. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3\(58\).67-77](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3(58).67-77).

[10] С. В. Гошовский, и А. В. Зурьян, «Анализ применения различных источников возобновляемой энергии для оптимальной работы теплонасосных систем,» *Сборник научных трудов Украинского государственного геологоразведочного института*, № 2, с. 9-20, 2015.

[11] V. Ya. Fedyanin, and D. D. Miheev, “The method of calculating the heat flow in the soil heat exchanger, *Horizonty obrazovaniya*,” *Materialy 61-y Nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i professorsko-prepodavatelskogo sostava*, Russia, vol. 11, pp 12-15, 2005.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 1.07.2021

**Зур'ян Олексій Володимирович** — канд. техн. наук, науковий співробітник відділу геотермальної енергетики, e-mail: alexey\_zuryan@ukr.net ;

**Олійніченко Валерій Георгійович** — науковий співробітник відділу геотермальної енергетики.

Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ

**O. V. Zurian<sup>1</sup>**  
**V. G. Oliinichenko<sup>1</sup>**

## Hydrothermal System of Thermal Energy, Physical Processes, Efficiency

<sup>1</sup>Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

*Theoretical analysis of construction technologies and features of use of natural accumulators of thermal energy in the near-surface layers of the Earth, both in soil and in aquifers is given. The general economic analysis of investment attractiveness of introduction of the heat pump systems using as a primary source low-potential renewable energy of near-surface layers of the Earth is executed. A comparative analysis of the efficiency of using a geothermal heat collector consisting of vertical ground heat exchangers and a hydrothermal heat collector consisting of two wells: the first for water intake, which plays the role of a heat carrier for the heat pump system; the second - to return the waste water to the aquifer.*

*The current model of the hydrothermal experimental heat pump system developed and constructed in IVE of NASU is presented. The method of conducting research is described. The characteristics of the measuring equipment installed on the model of the experimental installation and the software used for archiving and visualization of the data received in the course of carrying out of researches are resulted. The results of scientific work obtained in the course of theoretical calculations and experimental studies of the efficiency of heat pump systems, depending on the system of primary thermal energy selection, are presented. The dependences of the heat pump transformation coefficient on the type of thermal energy collector are given. The dependences of the heat pump system efficiency on the parameters of the primary source of low - potential heat and design features of the heat supply system are substantiated. It is concluded that the open-type hydrothermal heat pump system is more efficient than the geothermal one and further studies of the possibility and efficiency of using the aquifer as a natural heat accumulator to stabilize the generation of thermal energy from renewable energy sources in different seasons.*

**Keywords:** renewable energy sources, geothermal energy, soil heat, groundwater, hydrothermal system, geothermal system.

**Zurian Oleksii V.** — Cand. Sc. (Eng.), Researcher of the Department of Geothermal Energy, e-mail: alexey\_zuryan@ukr.net ;

**Oliinichenko Valerii G.** — Researcher of the Department of Geothermal Energy

А. В. Зурьян<sup>1</sup>  
В. Г. Олійниченко<sup>1</sup>

## Гидротермальная система получения тепловой энергии, физические процессы, эффективность

<sup>1</sup>Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев

*Приведен теоретический анализ технологий построения и особенностей использования природных аккумуляторов тепловой энергии в приповерхностных слоях Земли, как в почве, так и в водоносных горизонтах. Выполнен общий экономический анализ инвестиционной привлекательности внедрения теплонасосных систем, использующих в качестве первичного источника низкопотенциальную возобновляемую энергию приповерхностных слоев Земли. Проведен сравнительный анализ эффективности использования геотермального теплового коллектора, состоящего из вертикальных грунтовых теплообменников и гидротермального теплового коллектора, состоящего из двух скважин: первой для забора воды, которая играет роль теплоносителя для работы теплонасосной системы; второй — для возврата отработанной воды в водоносный горизонт.*

*Представлен действующий макет разработанной и сконструированной в ИВЭ НАНУ гидротермальной экспериментальной теплонасосной системы. Описана методика проведения исследований. Приведены характеристики измерительного оборудования, установленного на макете экспериментальной установки, а так же программного обеспечения, которое использовалось для архивирования и визуализации данных, полученных в процессе проведения исследований. Изложены результаты работы, полученные в ходе теоретических расчетов и экспериментальных исследований, сравнения эффективности теплонасосных систем в зависимости от системы отбора первичной тепловой энергии. Приведены зависимости коэффициента трансформации теплового насоса от типа коллектора тепловой энергии. Обоснована зависимость эффективности теплонасосной системы от параметров первичного источника низкопотенциального тепла и конструктивных особенностей системы теплоснабжения. Сделан вывод, что теплонасосная гидротермальная система открытого типа эффективнее, чем геотермальная. Имеют перспективу дальнейшие исследования возможности и эффективности использования водоносного горизонта в качестве естественного аккумулятора тепла для стабилизации генерирования энергии от возобновляемых источников независимо от погодных условий и поры года.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, геотермальная энергетика, теплота грунта, грунтовые воды, гидротермальная система, геотермальная система.

*Зурьян Алексей Владимирович* — канд. техн. наук, научный сотрудник отдела геотермальной энергетики, e-mail: alexey\_zuryan@ukr.net ;

*Олійниченко Валерий Георгиевич* — научный сотрудник отдела геотермальной энергетики