

УДК 504.43; 621.577.2

DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2\(57\).70-78](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2(57).70-78)

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРШИХ ВІД ПОВЕРХНІ ВОДОНОСНИХ ГОРИЗОНТІВ ДЛЯ ТЕПЛО- І ХЛАДОПОСТАЧАННЯ

Ю.П. Морозов¹, доктор технічних наук, А.А. Барило¹, Д.М. Чалаєв^{1,2}, кандидат технічних наук, М.П. Добровольський²

¹Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20А

²Інститут технічної теплофізики НАН України
03057, м. Київ, вул. Марії Капніст (Желябова), 2а

На підставі експлуатаційних даних двох свердловин, пробурених на території Міжнародного центру відновлювальної енергетики, визначена енергетична ефективність використання підземних вод перших від поверхні землі водоносних горизонтів для отримання теплоти та холоду в системах теплохолодопостачання житлових будинків та будівель громадського призначення. Дослідні свердловини розташовані на відстані 11,5 м одна від одної, глибина яких складає 50 і 57 м відповідно. Під час проведення пробних відкачок одержані основні попередні експлуатаційні характеристики горизонту. Статичний рівень встановлюється на глибині 32,0 м, дебіт свердловин складає 2-3 м³/год., початкова температура підземних вод – 12 °С.

Були розкриті такі водоносні горизонти та комплекси: горизонт алювіально-делювіальних відкладень першої надзаплавної тераси, що складається кварцовими пісками з лінзами та проверстками суглинків і залягає на глибині від 8 до 12 м; водоносний комплекс у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену (полтавська і харківська серії), який залягає на глибині від 32 до 50 м та створений з дрібно-зернистого піску; бучаксько-канівський водоносний горизонт, що залягає на глибині від 90 до 117 м і складається з мілкового та дрібно-зернистого піску.

Для оцінки можливості використання підземних вод з метою геотермального тепло- і холодопостачання використано водоносний горизонт полтавського і харківського віку, оскільки цей горизонт ізольований від поверхневих і ґрунтових вод потужною товщею (до 20 м) щільних глин, що забезпечує йому сталий режим фільтрації і стабільні гідрогеологічні параметри.

В роботі показано, що використання підземних вод як джерела низькопотенційної енергії для теплових насосів дозволяє отримати від свердловини в 7...10 разів більшу теплову потужність в порівнянні з традиційними теплонасосними системами на основі ґрунтових зондів. Запропоновано схему роботи теплонасосних агрегатів з ступінчастим спрацьовуванням температурного потенціалу підземних вод від +12 °С до +1 °С, що дозволяє майже в півтора рази підвищити енергетичну ефективність процесу генерування теплової енергії. Оцінено ефективність застосування підземних вод для кондиціонування приміщень в літній час. Показано, що для даних свердловин величина COP процесу «пасивного» кондиціонування перевищує 25. Температуру в приміщенні можна знизити на 5 градусів. Кількість «холоду», яка може бути отримана від однієї свердловини, становить більше 10 кВт.

На підставі аналізу гідрогеологічних характеристик та режиму фільтрації перших від поверхні водоносних горизонтів вибрано найбільш придатний для створення систем геотермального тепло- і холодопостачання водоносний комплекс та проведено розрахунки, які показали доцільність використання водоносного горизонту у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену. Бібл. 3, табл. 3, рис. 4.

Ключові слова: підземні води, тепловий насос, теплопостачання, холодопостачання, енергетична ефективність

ENERGY EFFICIENCY OF THE SHALLOW AQUIFERS UTILIZATION FOR THE DISTRICT HEATING AND COOLING

Yu. Morozov¹, Doctor of Technical Sciences, A. Barylo¹, D. Chalaev^{1,2}, candidate of technical sciences, M. Dobrovolskyi²

¹Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine
02094, Kyiv, st. Hnat Hotkevich, 20A,

²Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine
03057, Kyiv, st. Maria Kapnist (Zhelyabova), 2a

The energy efficiency of the groundwater utilization from the shallow s to obtain heat and cold in the heating and cooling systems of residential buildings and public buildings was determined. The calculations are based on the operational data from two wells drilled on the territory of the International Renewable Energy Center. Experimental wells are located at a distance of 11.5 m from each other, the depth of which is 50 and 57 m, respectively. During the holding of the test pumping, the main preliminary operational aquifer characteristics were obtained. The static level is set at a depth of 32.0 m, the flow rate of wells is 2-3 m³/h., the initial temperature of groundwater is 12 °C.

The following aquifers and complexes were discovered: the alluvial-deluvial horizon of the first above-flood terrace terrain, consisting of quartz sand with lenses and layers of loam and lying at a depth of 8 to 12 m; the aquiferous complex in the sediments of the Mezhygorskaya, Berek and Novopetrovsky formations of the Oligocene-Miocene (Poltava and Kharkiv series), which lies at a depth of 32 to 50 m and consists of fine-grained sand; Buchak-Kanev aquifer, occurring at a depth of 90 to 117 m and consisting of fine and fine-grained sand.

In order to evaluate the possibility of groundwater using for geothermal heat and cold supply, an aquifer of Poltava and Kharkiv age is used, since this horizon is isolated from surface and groundwater by a thick layer (up to 20 m) of dense clays, provides it with a permanent filtration mode and stable hydrogeological parameters.

© Ю.П. Морозов, А.А. Барило, Д.М. Чалаєв, М.П. Добровольський, 2019

The work shows that the use of groundwater as a source of low-potential energy for heat pumps makes it possible to obtain from the well 7...10 times more thermal power compared to traditional heat pump systems based on ground probes. A scheme of operation of heat pump units with stepwise activation of the temperature potential of groundwater from +12 °C to +1 °C is proposed, which makes it possible to increase the energy efficiency of the thermal energy generation process by almost one and a half times. The effectiveness of the use of groundwater for air conditioning in the summertime has been evaluated. It is shown that for these wells, the COP value of the «passive» conditioning process exceeds 25. The temperature in the room can be reduced by 5 degrees. The amount of «cold» that can be obtained from one well is more than 10 kW.

Based on the analysis of hydrogeological characteristics and filtering mode of the first aquifers from the surface, the most suitable complex for creating geothermal heat and cold supply systems was the water complex and calculations were carried out that showed the feasibility of using the aquifer in the oligoran, berek and novopetrovsky suite deposits. Ref. 3, tabl. 3, fig. 4

Keywords: shallow aquifers, heat pump, heat supply, cold supply, energy efficiency



Ю.П. Морозов
Yu. Morozov

Відомості про автора: зав. відділом геотермальної енергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник.
Освіта: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».
Наукова сфера: відновлювана енергетика, геотермальна енергетика, використання тепла доквілля.
Публікації: більше 160.
ORCID: 0000-0003-1632-9735
Контакти: тел./факс +38 (044) 206-28-09
e-mail: geotherm@ukr.net

Author information: Head of the Department of Geothermal Energy of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, doctor of technical sciences, senior researcher.
Education: National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".
Research area: renewable energy, geothermal energy, use of warm environment.
Publications: more than.
ORCID: 0000-0003-1632-9735
Contacts: phone/fax +38 (044) 206-28-09
e-mail: geotherm@ukr.net



А.А. Баріло
A. Barylo

Відомості про автора: науковий співробітник відділу геотермальної енергетики, Інститут відновлюваної енергетики НАНУ.
Освіта: Київський національний університет імені Тараса Шевченка за спеціальністю гідрогеологія та інженерна геологія (1990 р).
Наукова сфера: геотермальні джерела енергії.
Публікації: більше 25, в тому числі 2 державних стандарти.
ORCID: 0000-0001-7981-6464
Контакти: тел./факс +38 (044) 206-28-09
e-mail: geotherm@ukr.net

Information about the author: Researcher at the geothermal energy department, Renewable Energy Institute of the NAS of Ukraine.
Education: Taras Shevchenko National University of Kyiv, hydrogeologist and engineering geologist (1990).
Research area: geothermal energy.
Publications: more than 25 including 2 state standards.
ORCID: 0000-0001-7981-6464
Контакти: тел./факс +38 (044) 206-28-09
e-mail: geotherm@ukr.net



Д.М. Чалаєв
D. Chalaev

Відомості про автора: Старший науковий співробітник відділу геотермальної енергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України, кандидат технічних наук. Провідний науковий співробітник відділу тепломасообміну в дисперсних системах Інституту технічної теплофізики НАН України.
Освіта: Московський технологічний інститут м'ясної і молочної промисловості.
Наукова сфера: відновлювані джерела енергії, теплові насоси, енергозбереження.
Публікації: більше 100.
ORCID: 0000-0002-5154-4257
Контакти: тел.+38 (044) 209-07-68
e-mail: chalaev@i.ua

Author information: Senior Researcher of the Department of Geothermal Energy of the Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, Ph.D. (engineering). Leading Researcher of the Department of Heat and Mass Transfer in Disperse Systems of the Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine.
Education: Moscow Technological Institute of Meat and Dairy Industry.
Research area: renewable energy sources, heat pumps, energy saving.
Publications: more than 100.
ORCID: 0000-0002-5154-4257
Contacts: phone+38 (044) 209-07-68
e-mail: chalaev@i.ua



М.П. Добровольський
M. Dobrovolskyi

Відомості про автора: аспірант Інституту технічної теплофізики НАН України
Освіта: Київський національний університет будівництва та архітектури.
Наукова сфера: відновлювана енергетика, використання тепла доквілля, теплоенергетика.
Публікації: 1.
ORCID: 0000-0001-9140-5158
Контакти: тел./факс +38 (066) 950-27-56
e-mail: Dobrik316@gmail.com

Author information: postgraduate student of the Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine
Education: Kyiv National University of Construction and Architecture.
Research area: renewable energy, use of warm environment, heat power engineering.
Publications: 1.
ORCID: 0000-0001-9140-5158
Contacts: phone/fax +38 (066) 950-27-56
e-mail: Dobrik316@gmail.com

Дослідження ефективності використання підземних вод перших від поверхні водоносних провідимо на підставі експлуатаційних даних свердловин № 1 та № 8, пробурених на території Міжнародного центру відновлюваної енергетики та трансферу технологій (м. Київ, вул. Метрологічна, 48-50). Гідрогеологічний розтин ділянки та конструкції свердловин наведено на рис. 1.

Робота проводиться в рамках виконання наукового проекту «Розробити науково-технічні засади перетворення та акумулювання енергії відновлюваних джерел енергії для забезпечення споруд громадського призначення за рахунок коштів бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень».

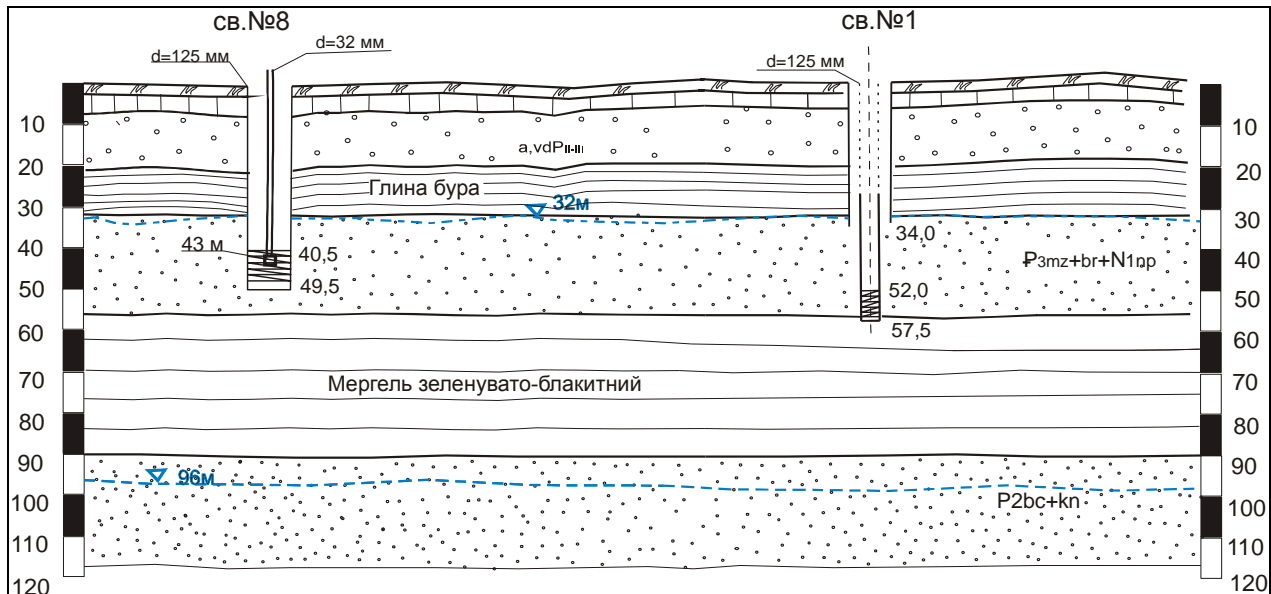


Рис. 1 Схема геологічного розтину і розташування свердловин експериментальної ділянки

Fig. 1 Scheme of geological section and location of wells of the experimental plot

В геологоструктурному відношенні ділянка дослідження розташована в межах північно-східного пологого схилу Українського щита, що занурюється під область Дніпровсько-Донецької западини. Земні надра в цьому районі мають двоповерхову будову: нижній поверх – кристалічний фундамент, що складається з кристалічних і метаморфічних порід докембрію, верхній поверх є потужною (до 400 м) товщю палеозойських, мезозойських і кайнозойських осадових порід[1].

Сприятливі умови водообміну на пологому схилі кристалічного щита створили можливість для утворення зони прісних підземних вод, що охоплює весь розріз осадової товщі. Практичне значення мають водоносні горизонти і комплекси, приурочені до юрських, сеноманських, буцацько-канівських і харківсько-полтавських відкладень.

На ділянці дослідження під час проведення бурильних робіт від поверхні землі були розкриті такі водоносні горизонти:

1. Алювіально-делювіальні відклади першої надзапвної тераси – кварцові піски з лінзами та проверстками суглинків. Цей горизонт, так звана «верховодка», має сезонний характер і дуже залежить від кількості атмосферних опадів. Залягає

на глибині від 8 до 12 м.

2. Водоносний горизонт у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену (полтавська і харківська серії). Залягає на глибині від 32 до 50 м. Складається з сірого дрібно-зернистого піску, що перекритий потужною товщю (до 20 м) строкатих глин неогену. Статичні рівні встановлюються на глибині кривлі горизонту, тобто горизонт напірно-безнапірний.

3. Буцацько-канівський водоносний горизонт залягає на глибині від 90 до 117 м, складається мілким та дрібно-зернистим піском. Горизонт сильно виснажений через активне використання його для водопостачання і для господарських цілей. Статичні рівні встановлюються на відмітках 96 м, тобто верхня частина горизонту «суха», горизонт безнапірний.

Свердловина № 1 була пробурена до глибини 57 м, діаметр буріння склав 215 мм. Свердловина має двохколонну конструкцію. Перша обсадна колона з НПВХ має діаметр 125 мм та встановлена в інтервалі глибин від поверхні землі до 36 м. В середині її в інтервалі глибин 23-57 м встановлена друга колона з того ж матеріалу та діаметром 50 мм, яка закінчується сітчастим поліпро-

піленовим фільтром, довжиною 5,5 м.

Свердловина № 1 розкрила водоносний горизонт у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену (полтавська і харківська серії). Складається горизонт з дрібнозернистих пісків, що залягають в інтервалі глибин 34-57 м. Під час буріння було встановлено, що верхня частина горизонту «суха», статичний рівень розташований на глибині 21 м, тобто горизонт є безнапірним.

Свердловина № 8 була пробурена на відстані 11,5 м від свердловини № 1. Глибина свердловини – 50 м, а діаметр буріння – 215 мм. Свердловина по всій глибині закріплена обсадними трубами діаметром 125 мм, в інтервалі глибин 40,5-49,5 м встановлений поліпропіленовий фільтр такого ж діаметру. Нижня частина свердловини обладнана відстійником завдовжки 0,5 м з заглушкою з нПВХ.

У середині свердловини на водопідйомних трубах діаметром 32 мм на глибині 43 м встановлений електрозанурювальний насос марки Воллі 80.

Продуктивний водоносний горизонт відкла

день межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену у свердловині № 8 розташований на глибині 32-50 м. Водовмісні породи представлені піском тонко- та дрібнозернистим світло сірим. Статичний рівень встановлений на глибині 32,0 м, тобто збігається з покрівлею горизонту.

Для визначення попередніх величин продуктивності і приємності межигірського, берекського та новопетрівського водоносного комплексу були проведені такі дослідно-фільтраційні випробування: в свердловині № 1 – пробний налив води з дебітом 2 м³/год; в свердловині № 8 – пробна відкачка. Продуктивність свердловини № 8 під час пробної відкачки становила 3,5 м³/год із зниженням рівня у водоносному горизонті 9,0 м. Температура підземних вод – 12 °С.

Згідно з [2], водоносний комплекс у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену в межах Дніпровсько-донського артезіанського басейну має повсюдне поширення та характеризується наступними узагальненими гідрогеологічними параметрами:

Таблиця 1. Зведені параметри водоносного комплексу у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену

Table 1. Summary parameters of the aquifer complex in the deposits of the mezhigirskaya, berekiska and newpetrivskaya world of oligocene-miocene

№	Параметр	Величина
1	Товщина горизонту, м	30-50
2	Глибина покрівлі від поверхні землі, м	від 5-9 до 40-50
3	Глибина залягання рівня води від поверхні землі, м	від 1-3 до 40
4	Напір над покрівлею, м	10-40
5	Питомий дебіт водопривлів дм ³ /с	0,0006-0,4
6	Коефіцієнт фільтрації, м/добу	0,001-10
7	Мінералізація, г/дм ³	0,5-2,2; до 9

Водоносний комплекс зараз широко використовується для водозабезпечення окремих сільських населених пунктів. Він характеризується локальним забрудненням NH₄, Br, Fe, F та іншими елементами.

На теперішній час найбільш широке використання теплоти верхніх шарів Землі здійснюється за допомогою теплонасосних систем типу «грунт-вода», в яких видобування теплоти ґрунту здійснюється з застосуванням підземних горизонтальних трубних теплообмінників або U-подібних вертикальних зондів, в яких циркулює проміжний теплоносій, що переносить низькопотенційне тепло в контур випарника теплового насоса. Перевагою таких систем є повсюдна доступність джерела тепла і стабільність його температури незалежно від сезону і часу доби.

Разом з тим, ґрунтові теплообмінники мають ряд недоліків, основним з яких є мала величина

теплозйому, що викликано низькою теплопровідністю ґрунтового масиву. Залежно від складу і вологості порід питомий теплозйом з одного погонного метра ґрунтового теплообмінника складає від 20 Вт/м до 80 Вт/м [3]. Відповідно, при опалювальній площі будинку 100 м², для роботи теплового насоса потрібно 3-4 вертикальних ґрунтових теплообмінника довжиною до 50 м. Витрати на буріння таких свердловин і їх облаштування U-подібними вертикальними зондами можуть сягати 2/3 від вартості всієї теплонасосної системи.

У даній ситуації перспективним рішенням є використання в якості джерела низькопотенційної теплоти підземних вод. В Україні на зазначених глибинах (50-100 м) практично повсюдно є підземні води непитного якості, які можна використовувати для роботи теплових насосів типу «вода-вода». Для використання підземних

вод в якості джерела низькопотенційної енергії достатньо двох свердловин. З однієї свердловини вода викачується свердловинним насосом, подається у випарник теплового насоса і охолоджується, після чого охолоджена незабруднена вода повертається в підземний горизонт через другу свердловину.

Для вивчення енергетичних характеристик такої системи тепlopостачання нами створено дослідний стенд, який містить дві свердловини глибиною 49,5 м і 57,5 м. Експерименти з визначення дебіту свердловин показали, що при відкачці з першої свердловини 2 м³/год води за допомогою насоса статичний рівень стабілізується на величині 32 м і 34 м.

Для порівняння систем нагріву на основі ТНУ з традиційними системами тепlopостачання

застосовують показник ефективності використання первинного палива. За цим показником гранню конкурентоспроможності установок теплонасосного тепlopостачання є $COP < 3$, тому що для вироблення теплоти за допомогою теплового насоса використовується електрична енергія, яка, в свою чергу, виробляється при спалюванні палива з к.к.д. близько 30%.

Підвищення ефективності ТНУ за рахунок вдосконалення їх робочих циклів і схем складає основу сучасних досліджень в області теплонасосних технологій. Залежно від температури термальної води на вході у випарник теплового насоса можливі різні варіанти його підключення. Правильний вибір схеми підключення і режимів роботи теплового насоса значною мірою визначає ефективність установки.

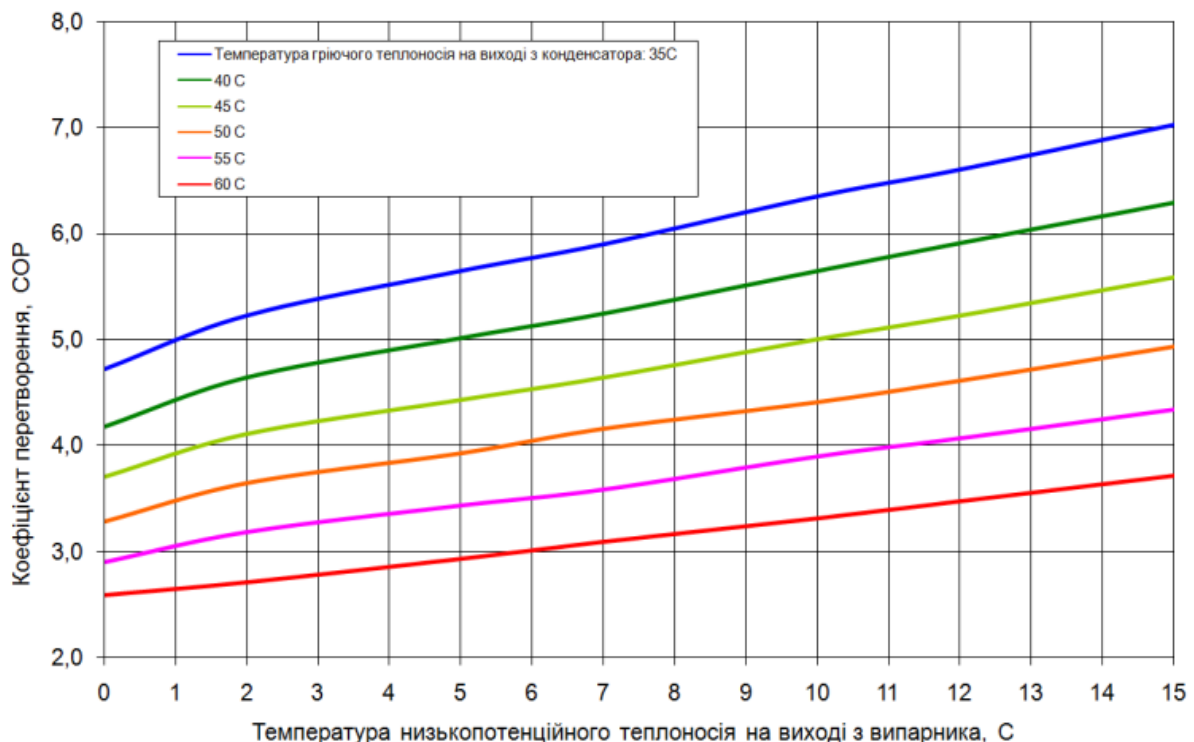


Рис. 2. Значення дійсного коефіцієнта перетворення теплового насоса HYDROCIAT на робочому тілі R134a [4].

Fig. 2. The value of the actual conversion factor of the heat pump HYDROCIAT on the working body R134a [4].

Енерговитрати на привід теплового насоса характеризуються величиною коефіцієнта перетворення і залежать в основному від співвідношення температур кипіння і конденсації холодоагенту (рис. 2). Чим менше перепад температур між випарником і конденсатором, тим нижче енерговитрати. Тому, при глибокому заходженні термальної води доцільно спрацювати її температуру поступово за допомогою декіль-

кох послідовно встановлених ТНУ. Така робота теплових насосів, поряд зі зниженням енерговитрат на вироблення теплоти, забезпечує можливість регулювання продуктивності установки в широкому діапазоні потужностей.

1. Схема роботи теплових насосів з паралельною подачею води, що нагрівається, в конденсатори і послідовним проходженням низькопотенційної термальної води через випарники (рис.3).

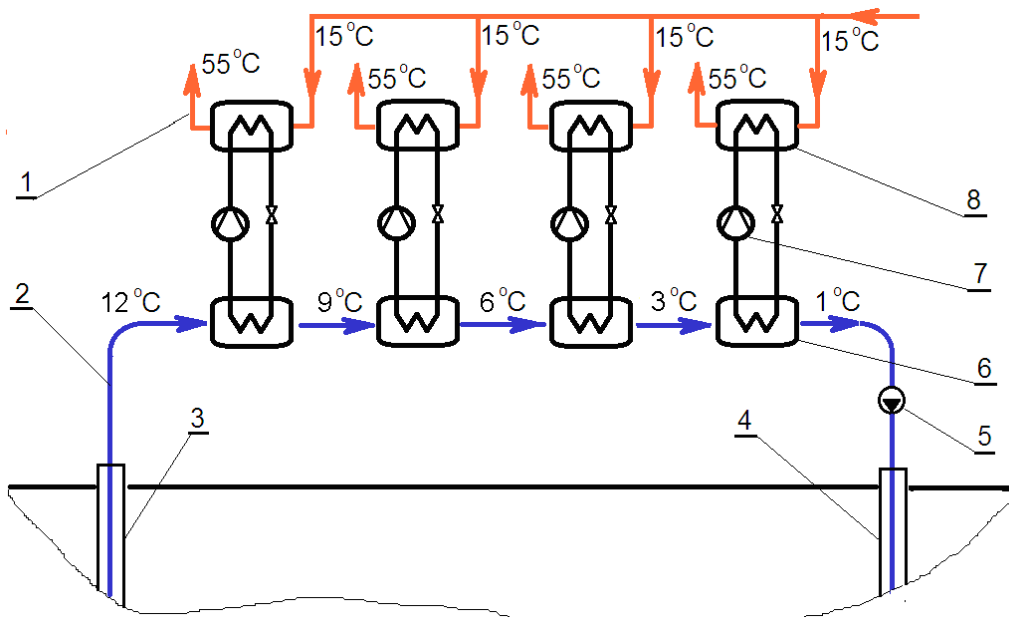


Рис. 3. Схема теплонасосної установки з паралельним підключенням конденсаторів: 1 – гаряча вода; 2 – низькопотенційна термальна вода; 3,4 – видобувна і нагнітальна свердловини; 5 – насос; 6 – випарник теплового насоса; 7 – компресор; 8 – конденсатор теплового насоса.

Fig. 3. Scheme of heat pump installation with parallel connection of capacitors: 1 – hot water; 2 – low-temperature thermal water; 3,4 – extraction and injection wells; 5 – pump; 6 – heat pump evaporator; 7 – compressor; 8 – heat pump condenser.

Кількість гарячої води, яка може бути отримана в кожній ступені ТНУ, визначається з умови:

$$COP = \frac{Q_{кд}}{Q_{км}} = \frac{Q_{кд}}{Q_{кд} - Q_o},$$

де $Q_o = c_p \rho G_T (t_{T1} - t_{T2})$ – низькотемпературна теплота, підведена до випарника; $Q_{кд} = c_p \rho G_e (t_{e2} - t_{e1})$ – теплота, відведена від конденсатора; c_p – теплоємність води; ρ – густина води; $(t_{T1} - t_{T2})$ – зниження температури термальної

води в випарнику; G_T – витрата термальної води через випарник; $(t_{e2} - t_{e1})$ – нагрів води в конденсаторі; G_e – витрата води, що нагрівається; COP – коефіцієнт перетворення теплового насоса.

Поточне значення COP в кожній ступені ТНУ визначається за характеристикою теплонасосного агрегату (рис. 1) виходячи з температури води на виході з випарника і конденсатора.

Розрахункові величини COP при послідовному відборі теплоти (з кроком в 3°C) від низькопотенційного теплоносія наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Розрахункові величини COP при послідовному відборі теплоти від низькопотенційного теплоносія

Table 2. Estimated values of COP for consistent selection of heat from low-temperature coolant

Температура води на виході з випарника ТНУ		Температура води на виході з конденсатора ТНУ		Коефіцієнт перетворення ТНУ
початкова, °C	кінцева, °C	початкова, °C	кінцева, °C	
12	9	15	55	3,80
9	6	15	55	3,51
6	3	15	55	3,26
3	1	15	55	3,11
Середній COP за цикл нагріву води				3,42

Як бачимо, дана схема роботи ТНУ дозволяє в 1,1 рази (3,42 / 3,11) збільшити середній за цикл COP і знизити енерговитрати на привід теплового насоса в порівнянні з од-

ноступеневою процесом.

Теплова потужність експериментальної свердловини при такій схемі підключення теплових насосів становить

$$Q_{\text{кд}} = \frac{COP_{cp}}{COP_{cp} - 1} \cdot Q_o = \frac{COP_{cp}}{COP_{cp} - 1} \cdot c_p \rho G_T (t_{T1} - t_{T2}) =$$

$$= \frac{3,42}{3,42 - 1} \cdot 4,2 \cdot 1 \cdot 0,56 \cdot (12 - 1) = 36,56 \text{ кВт},$$

де $G_T = 0,56$ л/сек – дебіт свердловини.

Потужність, що споживається компресором теплового насосу

$$Q_{\text{км}} = \frac{Q_{\text{кд}}}{COP_{cp}} = \frac{36,56}{3,42} = 10,69 \text{ кВт}.$$

Потужність, що споживається погрузним свердловинним насосом

$$Q_{\text{нас}} = \frac{\rho \cdot g \cdot G_T \cdot H}{\eta} = \frac{1 \cdot 9,8 \cdot 0,56 \cdot 50}{0,6} = 457 \text{ Вт},$$

де $H = 50$ м – необхідний напір насосу; $\eta = 0,6$ – ККД насосу.

2. Схема роботи теплових насосів з послідовним проходженням потоків теплоносія випарники і конденсатори (рис. 4).

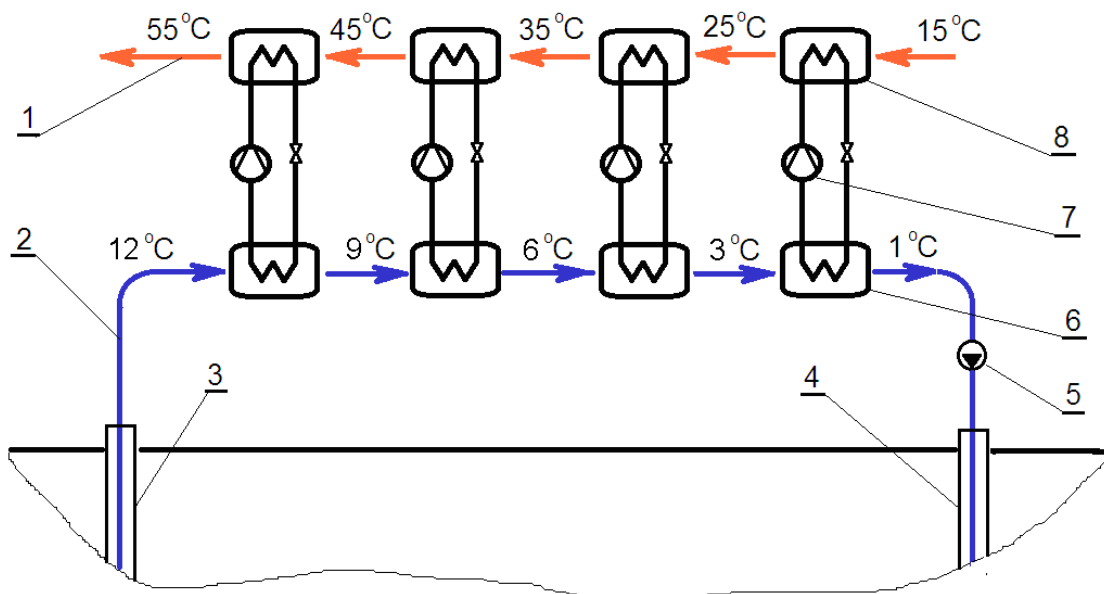


Рис. 4. Схема теплонасосної установки з послідовним підключенням конденсаторів: 1 – гаряча вода; 2 – низькопотенційна термальна вода; 3, 4 – видобувна і нагнітальна свердловини; 5 – насос; 6 – випарник теплового насоса; 7 – компресор; 8 – конденсатор теплового насоса.

Fig. 4. Scheme of heat pump installation with serial connection of capacitors: 1 – hot water; 2 – low-temperature thermal water; 3, 4 – extraction and injection wells; 5 – pump; 6 – heat pump evaporator; 7 – compressor; 8 – heat pump condenser.

Дана схема організації протитоку в апаратах ТНУ дозволяє створювати практично рівний температурний напір між випарником і конденсатором і, відповідно, підтримувати однакові режими

роботи у всіх ступенях установки. Розрахункові величини COP при роботі за схемою послідовного ступеневої зміни температур у випарник і конденсаторах ТНУ наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Розрахункові величини COP при роботі за схемою послідовного ступеневої зміни температур у випарник і конденсаторах ТНУ

Table 3. Estimated values of COP when working under the scheme of successive step change in temperature in the evaporator and condensers of heat pump plants

Температура води у випарнику ТНУ		Температура води в конденсаторі ТНУ		Коефіцієнт перетворення ТНУ
початкова, °C	кінцева, °C	початкова, °C	кінцева, °C	
12	9	45	55	3,80
9	6	35	45	4,54
6	3	25	35	5,37
3	1	15	25	6,35
Середній COP за цикл нагріву води				5,02

Дана схема роботи ТНУ є найбільш ефективною і дозволяє підвищити енергетичну ефективність установки майже в півтора рази в порівнянні з циклом, при якому охолоджується низькопотенційне джерело від 12 °С до 1 °С і нагрів гарячої води від 15 °С до 55 °С здійснюється в один етап.

Теплова потужність експериментальної свердловини при такій схемі роботи теплових насосів

$$Q_{\text{кд}} = \frac{COP_{\text{cp}}}{COP_{\text{cp}} - 1} \cdot Q_o = \frac{COP_{\text{cp}}}{COP_{\text{cp}} - 1} \cdot c_p \rho G_T (t_{T1} - t_{T2}) = \\ = \frac{5,02}{5,02 - 1} \cdot 4,2 \cdot 1 \cdot 0,56 \cdot (12 - 1) = 32,31 \text{ кВт.}$$

Потужність, що споживається компресором теплового насоса

$$Q_{\text{км}} = \frac{Q_{\text{кд}}}{COP_{\text{cp}}} = \frac{32,31}{5,02} = 6,44 \text{ кВт.}$$

Потужність, що споживається завантажувальним свердловинним насосом в обох схемах роботи однакова і дорівнює 0,457 кВт.

Таким чином, розрахунки показують, що система утилізації теплоти приповерхневих ґрунтових вод з використанням свердловин глибиною 20-40 м дозволяє значно збільшити теплотойм в порівнянні з ґрунтовим зондом аналогічної глибини.

Крім того, в літній час ґрунтові води можуть використовуватися для так званого «пасивного» кондиціонування. При цьому вода зі свердловини з температурою 10-12 °С безпосередньо подається в фанкойли системи кондиціонування будівлі і забезпечує охолодження приміщень.

Кількість «холоду», яка може бути отримано від однієї свердловини, становить

$$Q_{o=} = c_p \rho G_T (t_{T1} - t_{T2}) = \\ = 4,2 \cdot 1 \cdot 0,56 \cdot (17 - 12) = 11,76 \text{ кВт.}$$

Енергетична ефективність процесу «пасивного» кондиціонування:

$$COP_{\text{хол}} = \frac{Q_o}{Q_{\text{нас}}} = \frac{11,76}{0,457} = 25,73.$$

Висновки. 1. Приповерхневі ґрунтові води є ефективним джерелом низькопотенційного тепла для теплових насосів, оскільки їх температура протягом всього року знаходиться в діапазоні від +8 до +12 °С.

2. При утилізації теплоти ґрунтових вод з використанням свердловин глибиною 20-40 м досягається 7...10 кратне збільшення теплотойму в порівнянні з традиційними ґрунтовими теплообмінниками аналогічної глибини.

3. Додатковою перевагою використання ґрунтових вод є можливість їх застосування для «пасивного» кондиціонування в літній час. При цьому вода зі свердловини з температурою близько 10 °С напряму подається до фанкойлів системи кондиціонування будівлі, що забезпечує процес охолодження з показником COP 25 та більше.

4. Запропонована схема роботи ТНУ з послідовною ступінчатою утилізацією теплоти ґрунтових вод дозволяє майже в півтора рази підвищити енергетичну ефективність процесу генерування теплової енергії.

1. Арчакова Є.Г., Переверзев С.І. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000 Дніпровсько-Донецька серія М-36-XXIX (Кобеляки). Звіт ДНВП «Геоінформ України». 2014. кн. 1-6 .

2. Расовський В. М. Гідрогеологічне та інженерно-геологічне довивчення масштабу 1:200000 території аркушу М-36-ХІІІ (Київ). Звіт ДРГП «Північгеологія». Комплексна гідрогеологічна партія. 2001. кн.1-4 .

3. Морозов Ю.П. Добыча геотермальных ресурсов и аккумулярование теплоты в подземных горизонтах. Монография. Киев. Наукова думка. 2017. 198 с.

4. URL: <https://www.ciat.uk.com/wp-content/uploads/2017/02/Hydrociat-LW-information-manual.pdf>

REFERENCES

1. Archakova E.G., Pereverzev C.I. Derzhavna geologicheskaya karta Ukrainy/Masshtab 1:200000 Dneprovsko-donetzka seria M-36- XXIX (Kobelyaki). [State geological map of Ukraine. Scale 1:200000 Dnieper-Donetsk series M-36-XXIX (Kobelyaki). Zvit DRGP «Pivnichgeologiya» SI Report of SSPE "Geoinform of Ukraine]. 2014. v. 1-6. [in Ukrainian].

2. Rasovskiy V.M. Gidrogeologichne ta inzhenerno-geologichne dovchannya masszhtabu 1:200000 teritorii arkushu M-36-XIII (Kyiv). [Hydrogeological and engineering-geological study of scale 1:200000 pages of M-36-XIII (Kyiv). Report of DRGP «Pivnichgeologiya». Complex hydrogeological party]. 2001. v. 1-4. [in Ukrainian].

3. Morozov Yu.P. Dobyicha geotermalnyih resursov i akumulirovanie teploty v podzemnyih gorizontah. [Dobyicha geothermal resources and accumulation of heat in the underground horizons]. Monograph. Kyiv. Naukova Dumka. 2017. 198 p. [in Russian].

4. Retrieved from <https://www.ciat.uk.com/wp-content/uploads/2017/02/Hydrociat-LW-information-manual.pdf> [in English].

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРВЫХ ОТ ПОВЕРХНОСТИ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ ДЛЯ ТЕПЛО- И ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ

Ю.П. Морозов¹, док. техн. наук, А.А. Барило¹, Д.М. Чалаев^{1,2}, канд. техн. наук, М.П. Добровольский²

¹Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, 02094, Київ, ул. Гната Хоткевича 20А

²Институт технической теплофизики НАН Украины 03057, Киев, ул. Марии Капнист (Желябова), 2а

На основании эксплуатационных данных двух скважин, пробуренных на территории Международного центра возобновляемой энергетики, определена энергетическая эффективность использования подземных вод миоценовой водоносной горизонты для получения теплоты и холода в системах теплохладоснабжения жилых домов и зданий общественного назначения. Опытные скважины расположены на расстоянии 11,5 м друг от друга, глубина которых составляет 50 и 57 м соответственно. При проведении пробных откачек получены основные предварительные эксплуатационные характеристики горизонты. Статический уровень устанавливается на глубине 32,0 м, дебит скважин составляет 2-3 м³/час., Начальная температура подземных вод – 12 °С.

Были раскрыты такие водоносные горизонты и комплексы: горизонт аллювиально-делювиальных отложений первой надпойменной террасы, состоящий из кварцевых песков с линзами и прослойками суглинков и залегающий на глубине от 8 до 12 м; водоносный комплекс в отложениях межгорской, берекской и новопетровской свит олигоцен-миоцена (полтавская и харьковская сери), который залегают на глубине от 32 до 50 м и состоит из мелко-зернистого песка; бучакский-каневский водоносный горизонт, залегающий на глубине от 90 до 117 м и состоящий из мелкого и мелко-зернистого песка.

Для оценки возможности использования подземных вод с целью геотермального тепло- и хладоснабжения использован водоносный горизонт полтавского и харьковского возраста, поскольку этот горизонт изолирован от поверхностных и грунтовых вод мощной толщей (до 20 м) плотных

глин, обеспечивает ему постоянный режим фильтрации и стабильные гидрогеологические параметры.

В работе показано, что использование подземных вод как источника низкопотенциальной энергии для тепловых насосов позволяет получить от скважины в 7...10 раз больше тепловой мощности по сравнению с традиционными теплонасосными системами на основе грунтовых зондов. Предложена схема работы теплонасосных агрегатов со ступенчатым срабатыванием температурного потенциала подземных вод от +12 °С до +1 °С, что позволяет почти в полтора раза повысить энергетическую эффективность процесса генерирования тепловой энергии. Оценена эффективность применения подземных вод для кондиционирования помещений в летнее время. Показано, что для данных скважин величина COP процесса «пассивного» кондиционирования превышает 25. Температуру в помещении можно снизить на 5 градусов. Количество «холода», которое может быть получено от одной скважины, составляет более 10 кВт.

На основании анализа гидрогеологических характеристик и режима фильтрации первых от поверхности водоносных горизонтов выбран наиболее подходящий для создания систем геотермального тепло- и хладоснабжения водносный комплекс и проведены расчеты, которые показали целесообразность использования водоносной горизонты в отложениях межгорской, берекской и новопетровской свит олигоцен-миоцена. Библ. 3, табл. 3, рис. 4.

Ключевые слова: подземные воды, тепловой насос, тепло- и хладоснабжение, энергетическая эффективность

Стаття надійшла до редакції 24.04.19

Остаточна версія 11.06.19

**XII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.
ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА
2019**

**5-7
листопада**

ОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр
ЗА ПІДТРИМКИ
Міністерства регіонального розвитку,
будівництва та житлово-комунального
господарства України

Технічний партнер: *RentMedia*

ІЕС МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Київ, Броварський проспект, 15
© "Лівобережна"

☎ (044) 201-11-66, 206-87-86
e-mail: energo@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.мвц.укр
www.tech-expo.com.ua