

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.228+[662.97:621.571.22]

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/28>

Рудаков Д.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Інкін О.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОГО ВОДОВІДБОРУ ІЗ ЗАТОПЛЕНИХ ШАХТ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЇХ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Представлені дослідження спрямовані на обґрунтування раціональних параметрів шахтного дренажу при використанні шахтних вод як джерела низькопотенційної теплової енергії. Розглядається приклад системи гідравлічно поєднаної Селидівської групи шахт з відбором води на одній з них (№ 2 «Новогродівська») і подальшим потенційним використанням на геотермальній системі для опалювання та гарячого водопостачання. Тепловий потенціал затоплених шахт оцінюється на основі змішування вод з різною температурою, які надходять шляхом інфільтрації, гідравлічного перетікання з сусідніх шахт та припливу підземних вод з урахуванням геотермічного градієнту від теплового поля Землі.

В рамках порівняльного прогнозного аналізу ефективності різних технологічних варіантів шахтного дренажу, суміщеного з використанням тепла шахтних вод, водовідлив на шахті № 2 «Новогродівська» розглядався для змінного у часі та усталеного рівня шахтних вод на різних позначках. Було виконано кількісне порівняння основних показників водовідливу та геотермальної системи при підтриманні рівня шахтних вод нижче гідродинамічно безпечного рівня на 26–35 м та 10–20 м, причому при водовідливі як протягом лише опалювального періоду (5 місяців), так і цілого року. Показано, що водовідбір з більш низьким положенням рівня шахтних вод дозволяє отримати більше теплової енергії, хоча з більшими витратами електроенергії на підйом води та теплові насоси. Відношення отриманої протягом року теплової енергії до електроенергії, що витрачається на експлуатацію геотермальної системи оцінюється у 3,48–3,62.

За допомогою розробленої методики можливо визначати рівень шахтних вод, який доцільно підтримувати для існуючих потреб теплової енергії. Це дає можливість домогтися оптимального суміщення у часі водовідливу з роботою геотермальної системи та фактичним освоєнням теплової енергії споживачами. Таким чином, новизна роботи полягає у пропонуваному суміщенні у часі водовідбору та використання тепла шахтних вод у період опалювального сезону, що дає можливість оптимізувати місцевий енергобаланс з витратами на шахтний дренаж та прибутком від виробленої теплової енергії протягом року.

Ключові слова: шахтні води, водовідбір, тепловий потік, геотермальні системи, насоси, теплозабезпечення.

Постановка проблеми. Відповідно до світових тенденцій та цілей сталого розвитку ООН Концепція реформування вугільної галузі 2020 в Україні ставить за мету зростання частки відновлювальної енергетики, у тому числі за рахунок скороченням вугільної індустрії [1]. За останніми оцінками, число непрацюючих шахт в країні в найближчому майбутньому зростатиме, що потребуватиме значних витрат для підтримання їх гідродинамічної безпеки, зокрема, попередження неконтрольованого підтоплення тери-

торії, що викликає деформації земної поверхні та будівель [2]. При цьому шахтні води та породний масив є величезним джерелом та поновлюваним ресурсом низькопотенційної теплової енергії, використання якої за допомогою теплових насосів наразі вже є доцільним і може частково покривати витрати на водовідлив.

Виходячи зі світового досвіду, освоєння тепла закритих шахт стає економічно ефективним тільки у разі наявності біля них потужних споживачів, готових постійно споживати вироблювану теплову

енергію [3, 4]. Однак у кліматичних умовах України тривалість опалювального сезону з великими потребами у теплозабезпеченні зазвичай не перевищує 5 місяців (листопад – березень). Протягом інших місяців тепло шахтних вод може бути використане лише на гаряче водопостачання. Але, як правило, шахтний водовідлив працює цілий рік, тому відповідні енерговитрати в неопалювальний період складніше компенсувати за рахунок використання тепла відкачуваних шахтних вод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час у країнах з розвинутою в минулому вугільною індустрією (Німеччина, Великобританія, Сполучені Штати, Іспанія та інші) на закритих шахтах експлуатуються кілька десятків геотермальних систем відкритого типу (теплоносій – шахтні води) та закритого типу – зондів (теплоносій – спеціальна рідина, гідравлічно ізольована від шахтних вод) [5, 6]. Зазначені технологічні схеми були адаптовані до умов шахт, які знаходяться в різних стадіях ліквідації, при цьому була обґрунтована принципова можливість використання інфраструктури закритої вугільної шахти та її енергетичного ресурсу для вироблення теплової енергії [7, 8]. У роботі [9] були запропоновані екологічно прийнятні схеми локального дренажу шахтних вод, що забезпечують відновлення їх рівня до природного (доексплуатаційного) стану з попередженням підтоплення і забруднення денної поверхні.

Однак при виборі варіанта закриття шахт та їх водовідливу питання суміщення їх водовідливу з роботою геотермальної системи та споживанням теплової енергії розглядалися недостатньо. Зокрема, не досліджувались можливості періодичного водовідливу, суміщеного з періодом найбільшого попиту на теплову енергію за умови підтримки гідродинамічно безпечного рівня шахтних вод протягом всього року. Це пов'язано, з одного боку, з проблемами достовірного прогнозування додаткового водоприпливу в закриті шахти з сусідніх, а з другого – технологічними особливостями шахтного водовідливу. Надання таких оцінок є комплексним завданням, що потребує розробки методики для визначення термогідродинамічних параметрів закритих шахт при різних технологічних варіантах використання їх теплового ресурсу.

Постановка завдання. Метою даної роботи є обґрунтування та апробація методики оцінки показників використання геотермального потенціалу затоплених шахт в умовах періодичного водовідбору з них та виконання порівняльного аналізу ефективності цих варіантів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Розроблювана методика розглянута для умов Селидівської групи шахт, до складу якої входять шахти № 2 «Новгородівська», ім. Д.С. Коротченка та «Селидівська», що закриваються, та суміжна з ними діюча шахта № 1–3 «Новгородівська». За адміністративним поділом ця група шахт входить до Покровського вуглепромислового району Донецької області. За геологічним районуванням технооекосистема відноситься до Донецького кам'яновугільного басейну і розташована в межах Красноармійської моноклінали, порушеної тектонічними структурами – гілками Новгородівського скиду та Селидівського насуву.

Згідно з даними «Донецькгеологія» та геологічної служби шахти № 1-3 «Новгородівська» [10], станом на вересень 2019 р. шахта № 2 «Новгородівська» була затоплена до абс. відм. +121,1 м, сусідня з нею шахта ім. Д.С. Коротченка – до абс. відм. +164,15 м. За даними спостережень та аналітичних оцінок встановлено, що води шахти ім. Д.С. Коротченка надходять до затопленої шахти № 2 «Новгородівська» по вугільним пластам, через кору вивітрювання карбону та палеоген-неогенові піски, а також Гродівський скид загальною витратою близько 35 м³/год. Крім того, до шахти № 2 «Новгородівська» надходить водоприплив за рахунок інфільтрації та підземних вод. Проектом застосування існуючої інфраструктури шахт Селидівської групи в процесі їх закриття для підтримання безпечного гідрогеологічного режиму і попередження підтоплення в [11] пропонувався додатковий водовідлив з шахти № 2 «Новгородівська» потужністю до 125 м³/год, що буде достатньо для дренажу даної території.

Шахтний дренаж доцільно спрямувати на задоволення потреб в опаленні мешканців м. Новгородівка, на території якого розташована ця шахта за допомогою систем відкритого типу зі скиданням термічно відпрацьованих шахтних вод у ставки-відстійники, а після відстоювання – в гідрографічну мережу. Відбір тепла шахтних вод при цьому відбувається за допомогою проміжного теплообмінника, який використовується як низькопотенційне джерело теплової енергії для теплового насоса. Трансформоване тепло з насоса передається споживачам для опалення та гарячого водопостачання.

Методика розрахунку параметрів теплопостачання включає визначення діапазону рівня шахтних вод у затопленій шахті в умовах періодичного водовідбору, розрахунок теплової енергії, що може бути вилучена з шахтних вод

для опалення та гарячого водопостачання, електричної енергії, необхідної для роботи теплових насосів та водопідйомників, та розрахункову оцінку теплової потужності, яка можуть бути забезпечена наявним тепловим потоком. Приймається, що перенос тепла практично не впливає на об'єми ануру вальні до виробок, тому температуру води можна розраховувати після розрахунку водного балансу. Крім того, вважається, що при водовідборі відбувається змішування всієї води, що надходить до дренажної шахти з трьох джерел.

Рівень шахтних вод визначається з рівняння водного балансу затопленої шахти (рис. 1):

$$Q_{inf} + Q_{gw} + Q_{nb} - Q_w = S_w (h_{mw}) \frac{\Delta h_{mw}}{\Delta t}, \quad (1)$$

де Q_{inf} – приплив інфільтраційних вод, Q_{gw} – приплив підземних вод, Q_{nb} – приплив води з сусідньої шахти, яка гідравлічно пов'язана з дренажною шахтою, S_w – площа горизонтального перетину виробок на рівні води у шахті h_{mw} , Δt – проміжок часу, за який відбувається зміна рівня води на величину Δh_{mw} .

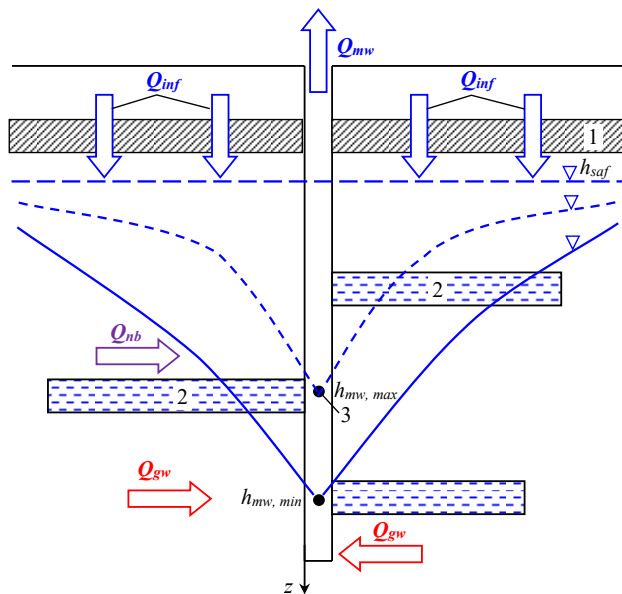


Рис. 1. Схема водовідбору з затопленої шахти: 1 – водотрив; 2 – затоплені виробки; 3 – занурювальний насос; $h_{mw, max}$, $h_{mw, min}$ – максимальний та мінімальний рівень положення насоса; h_{saf} – гідродинамічно безпечний рівень шахтних вод; Q_{mw} – водовідбір з шахти; Q_{nb} – водопритлив із сусідніх шахт; Q_{inf} – водопритлив за рахунок інфільтрації; Q_{gw} – приплив підземних вод

Складові балансу Q_{inf} та Q_{nb} в умовах коливань рівня шахтних вод до 20 м протягом року можна прийняти усталеними; приплив підземних вод Q_{gw} буде змінюватися відповідно до коливань рівня води при сезонному водовідборі.

Неусталений рівень шахтних вод $h_{mw}(t)$ в умовах змінного в часі водовідбору $Q_w(t)$ розраховується шляхом моделювання радіального припливу до шахтного ствола, який схематизується як гідравлічно поєднаний з виробками великий колодязь [12] зі змінним у часі рівнем води. Цим способом за допомогою аналітичних співвідношень теорії фільтрації вдалося досить точно відтворити процес затоплення трьох шахт у Німеччині, як гідравлічно ізольованих, так і поєднаних виробками з однією–двома сусідніми шахтами.

Температуру води, що припливає до виробок з різних джерел, можна розрахувати у першому наближенні відповідно до лінійних співвідношень залежно від геотермічного градієнту [13; 14].

Максимальна тепла потужність q_{max} , яка може бути створена на поверхні землі за допомогою геотермальної системи з тепловими насосами біля водовідливу зі скидом термічно відпрацьованих вод до поверхневих водотоків чи водойм, розраховується за формулою

$$q_{max} = C_w \rho_w Q_w (T_{mw} - T_{min}), \quad (2)$$

де C_w , ρ_w – питома теплоємність та густина шахтних вод, T_{mw} – температура відкачуваних шахтних вод, T_{min} – мінімальна температура охолодження в теплових насосах, в оцінках для сучасних теплових насосів приймається $T_{min} = 6^\circ\text{C}$.

Споживання тепла може бути розраховано за кількома методиками. Згідно [15], для розрахунку кількості тепла, необхідної для обігріву житлових будинків в опалювальний період, з урахуванням кількості осіб, що перебувають чи проживають у приміщеннях, використовується формула

$$q_1 = q_0 k V (T_r - T_{av}), \quad (3)$$

де q_0 – середні питомі опалювальні характеристики будівлі; k – коефіцієнт, що враховує залежність витрат тепла від типу системи опалення; T_r – температура в приміщенні (найбільш сприятлива для людини $T_n = 22^\circ\text{C}$). Методика дозволяє розраховувати об'єм приміщень, що обігріваються, та тепла для гарячого водопостачання залежно від кількості осіб (мешканців) у будинках, виходячи з норма проживання та споживання підігрітої води на одну особу.

Витрати електроенергії для підйому води насосами розраховуються за методикою [16], а для роботи теплових насосів – за формулою

$$COP = h \frac{T_p}{T_p - T_{mw}}, \quad (4)$$

де h – коефіцієнт термодинамічної досконалості теплового насоса (0,5); T_p – температура теплоносія у споживача тепла (прийнята при розрахунках 50 °С).

Розрахунки для умов шахт № 2 «Новгородівська» та ім. Д.С. Коротченка проводилися за вихідними даними з табл. 1. Властивості шахтних вод визначалися за їх середній мінералізації 3–5 г/дм³. Розглядалися два варіанти підтримання рівня шахтних вод та водовідбору протягом опалювального сезону тривалістю 5 місяців: 1) від +150 м до максимально +165 м, 2) від +165 м до максимально +180 м. Для порівняння розглядалися також можливість постійного водовідливу протягом року при еквівалентному водовідборі за весь рік. Гідродинамічно безпечним рівнем для шахти № 2 «Новгородівська» згідно з місцевими умовами [11] прийнято +185 м. Відповідно до формул [13, 14] та діапазону глибин виробок у шахті ім. Д.С. Коротченка з –312,5 м по +185 м

середня температура вод з шахти ім. Д.С. Коротченка була визначена $T_{nb} = 17,05$ °С, температура інфільтраційних вод $T_{inf} = 10,5$ °С, а температура підземних вод для варіанту «1» $T_{gw} = 18,69$ °С, варіанту «2» $T_{gw} = 18,62$ °С, що відповідає діапазону глибин виробок у шахті № 2 «Новгородівська» з –370,3 м по +205 м. Значення гідрогеологічних параметрів прийняті такі: інтенсивність інфільтраційного живлення $w_{inf} = 1,09 \cdot 10^{-4}$ м/доб, коефіцієнт фільтрації у зоні виробок $k_f = 1,2$ м/доб, активна тріщинувата пористість $n_{e,a}$ у зоні виробок 0,01. Глибина розміщення насоса для водовідбору при витратах електроенергії визначалась при заглибленні насосу 5 м під водою для поверхні землі +210 м. При розрахунках показників геотермальної системи враховувались втрати 10% тепла при його транспортуванні.

Динаміка підйому води (рис. 2) для розглянутих варіантів підтримання рівня шахтних вод та оцінюваний сумарний водоприплив добре узгоджуються з даними моніторингу та прогнозних оцінок для цієї групи шахт щодо темпів затоплення при виключеному водовідливі [11].

Згідно результатів розрахунків (табл. 2) варіанти «1» та «1а» дозволяють створити суттєво більшу теплову потужність, однак це потребує

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку рівня шахтних вод у шахті № 2 «Новгородівська» при водовідборі протягом опалювального сезону

Параметр	Позначення	Значення	Розмірність
Об'єм виробленого простору	V_w	2,7	млн м ³
Водоприплив із сусідніх шахт	Q_{nm}	720 – 960	м ³ /доб
Водовідбір з шахти	Q_{mw}	2300 – 3240	м ³ /доб
Тривалість відбору шахтних вод	Δt_{dr}	150	діб
Висотний рівень виробок	$H_{wk, min/max}$	+121 – +185	м абс.
Безпечний рівень шахтних вод	h_w	+185	м абс.
Площа шахтного поля	S_m	18	млн м ²

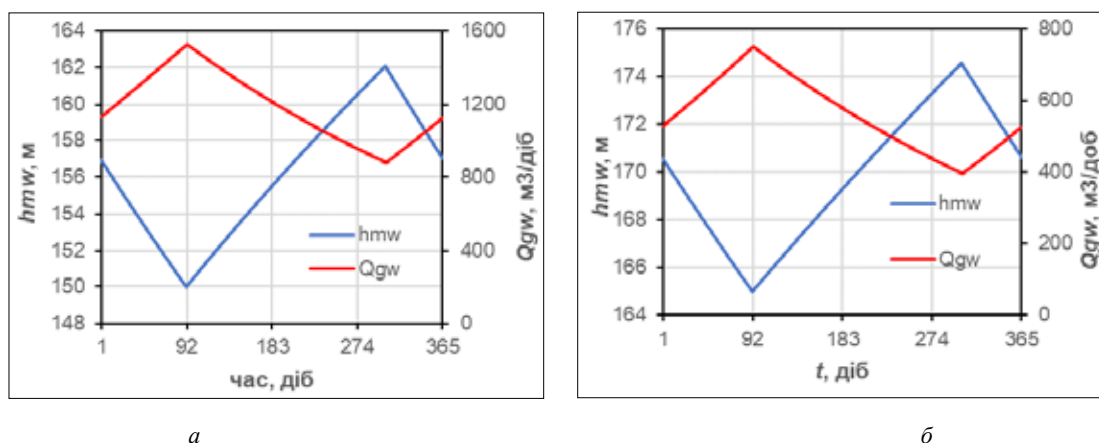


Рис. 2. Прогнозна зміна рівня шахтних вод h_{mw} та припливу підземних вод Q_{gw} за варіантами «1» та «2»

Таблиця 2

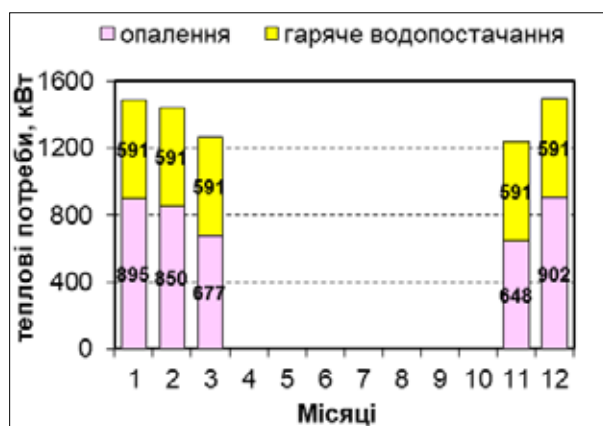
Результати розрахунків за варіантами «1», «1а», «2» і «2а» при періодичному та усталеному водовідборі протягом опалювального сезону

Параметр	Варіанти			
	«1»	«1а»	«2»	«2а»
Рівень шахтних вод h_{mw} , м. абс.	+150...+162,1	+156,1	+165...+174,6	+169,8
Приплив підземних вод Q_{gw} , м ³ /доб	880,3...1528,6	1173,5	395,4...749,0	555,0
Період водовідбору	Листопад – березень	Протягом року	Листопад – березень	Протягом року
Водовідбір Q_w , м ³ /доб	7200	3013,1	5700	2388,0
Середня температура води, що відбирається, °С	15,53	15,53	14,71	14,71

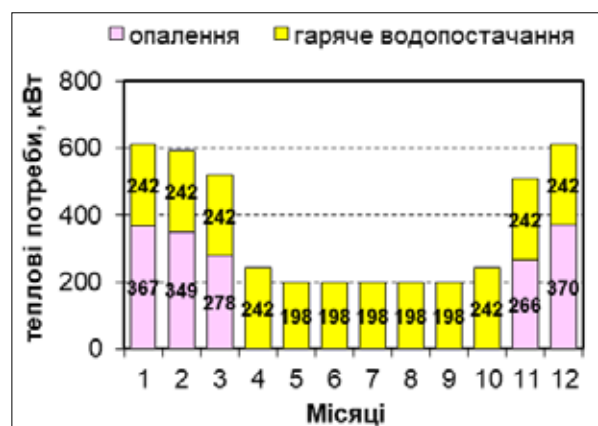
Таблиця 3

Теплові потреби, що можуть бути задоволені у разі різних варіантів дренажу шахти та створення геотермальної системи (табл. 2)

Варіанти водовідбору	q_{max} , кВт*	E_a , МВт год	E_s , МВт год	E_d/E_s	S_{min} , м ²	N_{min}
«1»	1501,2	5476,4	1514,1	3,62	80100	1780
«1а»	625,5	5479,4	1516,0	3,61	32850	730
«2»	1086,4	3963,2	1138,9	3,48	57600	1280
«2а»	452,7	3965,7	1141,0	3,48	23400	520



а



б

Рис. 3. Ресурс теплозабезпечення для варіантів «1» (а) та «1а» (б)

більших витрат електроенергії на підтримання роботи геотермальної системи через більшу глибину, на якій необхідно розмістити занурювальні насоси.

Потенційна максимальна теплова потужність геотермальної системи для розглянутих варіантів підтримуваного рівня шахтних вод (табл. 3) буде достатньою для забезпечення теплом від 23 400 до 80 100 м² житлових приміщень та гарячим водопостачанням від 520 до 1780 осіб, що відповідає кільком багатоповерховим будинкам. У табл. 3 прийнято: q_{max} – створювана теплова потужність з урахуванням втрат тепла 10%, S_{min} – мінімальна опалювана площа, N_{min} – мінімальна кількість осіб, забезпечених гарячим водопостачанням, E_a – вироблена теплова енергія протягом року, МВт год, E_s – витрати електроенергії на експлуатацію

геотермальної системи (підйом води та теплові насоси), МВт год.

Варіанти «1» та «1а» з більшою глибиною водовідбору попередньо можна визначити як дещо більш енергетично доцільні, ніж «2» та «2а» через більше (до 4%) відношення отриманої теплової енергії до витраченої електричної E_d/E_s ; хоча більш глибокий порівняльний аналіз потребує зіставлень на основі теплового еквіваленту електричної енергії, уведеного авторами у [17].

Зазначимо, що застосування варіанту «1» буде економічно доцільніше порівняно з варіантом «2» лише за наявності біля водовідливу шахти потужного споживача теплової енергії. Отримані результати показують, що за допомогою запропонованої методики розрахунку стає можливим визначати рівень шахтних вод, який доцільно

підтримувати для заданого режиму теплоспоживання, тобто досягти оптимального суміщення водовідливу у часі з роботою геотермальної системи та освоєнням теплової енергії споживачем. Обмежувальною умовою цієї технологічної схеми є підтримування рівня шахтних вод нижче його гідродинамічно безпечної межі.

Загальна кількість виробленої протягом року теплової енергії при сезонному та цілорічному водовідливі практично однакова для варіантів «1» та «1а» (рис. 3). Однак при сезонному водовідборі протягом 5 місяців опалювального сезону (варіант «1») кількість виробленої за цей період теплової енергії у 2,4 рази більша порівняно з варіантом «1а», що є більш раціональним для закладів комунального господарства. З іншого боку, при постійному водовідборі при варіанті «1а» залишається можливість виробляти до 242 кВт тепла на гаряче водопостачання, тоді як при варіанті «1» у цей період геотермальна система взагалі не працює.

Висновки. Запропонована в роботі методика оцінки показників використання геотермального потенціалу затоплених шахт при різних технологічних варіантах водовідбору заснована на встановленні температури шахтних вод під впливом інфільтрації, гідравлічного перетікання, припливу підземних вод та теплового поля Землі. Апробація методики виконана для гірничо-гео-

логічних и технічних умовах гідравлічно поєднаної Селидівської групи шахт. Розглянути варіанти періодичного (протягом опалювального сезону) та постійного протягом року водовідливу на шахті № 2 «Новгородівська» при різних рівнях шахтних вод нижче гідродинамічно безпечної межі.

Відношення отриманої протягом року теплової енергії до електроенергії, що витрачається на експлуатацію геотермальної системи оцінюється у 3,48–3,62. При водовідборі протягом тільки опалювального періоду кількість виробленої за цей час теплової енергії оцінюється у 2,4 рази більше порівняно з цілорічним водовідбором. Разом з тим, у період між опалювальними сезонами при цілорічному водовідборі існують можливість створити теплову потужність до 242 кВт для потреб гарячого водопостачання.

За допомогою розробленої методики стає можливим визначення рівня шахтних вод, який необхідно підтримувати для існуючих місцевих потреб у теплової енергії. Це дає можливість домогтися оптимального суміщення водовідливу з роботою геотермальної системи та освоєнням теплової енергії споживачем. При цьому обмежувальною умовою цієї технологічної схеми є підтримування рівня шахтних вод нижче його гідродинамічно безпечної межі.

Список літератури:

1. Полуніна О., Балан С. Вугільна реформа: концепція змінилася. (2021). Отримано з <https://ua.boell.org/uk/2021/01/26/vugilna-reforma-koncepciya-zminilasya>
2. Голубева Ю. Ситуация в угольной отрасли Украины. (2020). URL: <https://112.ua/statji/orzhel-posovetoval-detyam-shahterov-ne-iditi-po-stopam-roditeley-pochemu-vlast-reshila-likvidirovat-shahty-522909.html>
3. LANUV NRW: Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Potenzialstudie warmes Grubenwasser – Fachbericht 90. Recklinghausen, 2018. 154 p.
4. Loredó, C., Roqueñí, N., & Ordóñez A. (2016). Modelling flow and heat transfer in flooded mines for geothermal energy use: A review. *Int J of Coal Geology*, 164, 115–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.04.013>
5. Gillespie, M. R., Cran, E. J., & Barron, H. F. (2013). Deep geothermal energy potential in Scotland British Geological Survey Geology and Landscape. *Scotland Programme. Commissioned Report Cr*, 12(131), 125 p.
6. Ramos, E., Breede, K., & Falcone, G. (2015). Geothermal heat recovery from abandoned mines: a systematic review of projects implemented worldwide and a methodology for screening new projects. *Environ Earth Sci*, 73, 6783–6795. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4285-y>.
7. Banks, D., Athresh, A., Al-Habaibeh, A., & Burnside, N. (2019). Water from abandoned mines as a heat source: practical experiences of open- and closed-loop strategies, United Kingdom. *Sustainable Water Resources Management*, 5, 29–50. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0094-7>
8. Burnside, N. M., Banks, D., & Boyce, A. J. (2016). Sustainability of thermal energy production at the flooded mine workings of the former Caphouse Colliery, Yorkshire, United Kingdom. *Int J Coal Geol*, 164, 85–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.03.006>
9. Rambabu K., et al., (2020) Biological remediation of acid mine drainage: Review of past trends and current outlook. *Environmental Science and Ecotechnology*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100024>
10. Беседа Н.И., Сляднев В.А., Яковлев Е.А. Информационный бюллетень о региональных техногенных изменениях экологического состояния геологической среды Донбасса под влиянием горных работ. ГПП «Геопробноз». Киев. 1995. 66 с.

11. Улицький О.А., Єрмаков В.М., Луньова О.В., Бойко К.Є. До питання оцінки прогнозу змін гідрогеологічних умов техноекосистеми Селидівської групи шахт. *Екологічна безпека та природокористування*. 2019. № 4 (32). С. 32–42.
12. Rudakov, D., Westermann, S. Analytical modeling of mine water rebound: Three case studies in closed hard-coal mines in Germany. *Mining of Mineral Deposits*, 2021, 15(3), 22–30. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining15.03.022>
13. Гордиенко В.В. Гордиенко И.В., Завгородняя О.В. Тепловое поле Донбасса. *Геофизический журнал*. 2015. № 6. С. 3–23.
14. Лапшин А.А. Промышленные исследования микроклимата и состояния проветривания горных выработок в глубоких рудных шахтах. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2014. № 1. С. 76–79.
15. Тихомиров А.К. Теплоснабжение района города: учеб. пособие. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2006. 135 с.
16. Ишлинский А.Ю. Политехнический словарь. М. : Советская энциклопедия, 1989. 656 с.
17. Rudakov D., Inkin O. (2021). Validation of the operation efficiency criteria for geothermal probes in flooded mine workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, № 5, p. 100–105. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/20215/100>

Rudakov D.V., Inkin O.V. A RATIONALE OF PERIODIC WATER WITHDRAWAL FROM FLOODED MINES FOR UTILIZATION OF THEIR GEOTHERMAL POTENTIAL

This study aims to substantiate the rational parameters of mine drainage for utilization of mine water as a source of low-potential thermal energy. The system of hydraulically connected mines of Selidovo group with water hoisting in one of them (mine nr. 2 "Novogrodivs'ka") with the potential subsequent use in a geothermal system for heating and hot water supply is considered as the case study. The thermal potential of flooded mines is estimated based on mixing waters of different temperatures coming with infiltration, hydraulic flow from neighboring mines, and groundwater inflow considering the geothermal gradient of the Earth's thermal field.

Within the framework of comparative predictive analysis on the effectiveness of various technological options for mine drainage, combined with mine water heat recovery, the drainage of mine nr. 2 "Novogrodivs'ka" was considered for the time-dependent and steady-state mine water level at different elevations. A quantitative comparison of main indicators of drainage and geothermal system performance was carried out assuming the mine water level maintained 26–35 m and 10–20 m beneath the hydrodynamically safe level, with drainage either during the heating period of 5 months or throughout the year. It has been shown that water abstraction at a lower position of the mine water level allows to produce more thermal energy, although with higher electricity consumption for water transportation and running heat pumps. The ratio of thermal energy produced during the year to the total electricity consumed by the running geothermal system is estimated at 3,48–3,62.

Applying the developed methodology, it is possible to evaluate the mine water level that should be maintained for the existing demands on thermal energy. This enables achieving an optimal timing combination of drainage with geothermal system operation and the actual exploration of thermal energy by consumers. Thus, the study novelty consists in the proposed coincidence in time of water abstraction and mine water heat recovery during the heating season, which makes it possible to optimize the local energy balance with the spends on mine drainage and profits of generated thermal energy during the year.

Key words: mine water, water abstraction, heat flux, geothermal systems, pumps, heat supply.