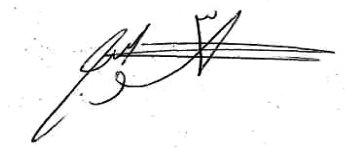


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

САЛЕХІРАДЖ Саєд Шаєбан



УДК 662.997:504.062.2

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВІДБОРУ ГЕОТЕР-
МАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ГЛИБОКИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Спеціальність 05.15.09—«Геотехнічна і гірнича механіка»

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі природоохоронної діяльності Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Костенко Віктор Климентович,
завідувач кафедри природоохоронної діяльності Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Рудаков Дмитро Вікторович,
завідувач кафедри гідрогеології та інженерної геології, Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ);

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Слацова Олена Анатоліївна,
старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ корисних копалин на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ).

Захист відбудеться 30 травня 2014 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, Україна, м. Дніпропетровськ, проспект К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» за адресою 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К.Маркса 19.

Автореферат розісланий 30 квітня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Найбільш поширені види палив, такі як природний газ, нафта, будуть вичерпані найближчим часом. Запаси вугілля та урану також обмежені. Тому людство змушене переходити на альтернативні види енергоносіїв.

Для гірничодобувних регіонів України, в яких відсутні неглибоко розташовані високопотенціальні термальні ресурси, перспективним джерелом є теплота, яка одержується з надр через стінки гірничих виробок глибоких шахт. При цьому рівномірно розподілена в гірничому відводі шахти геотермальна енергія, може бути сконцентрована в заповнених теплоносієм протяжних каналах (виробках) лабіринтової конфігурації і утилізована. Тому встановлення закономірностей перерозподілу геотермальної енергії в надрах вугільних шахт, створення ефективної і безпечної системи раціонального використання теплоти надр на глибоких вугільних шахтах та геомеханічне обґрунтування параметрів технічних засобів її реалізації є актуальним науково-технічним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота виконана на виконання Законів України «Про альтернативні джерела енергії», «Про охорону навколишнього природного середовища», постанови ВР України «Про Основні напрями державної політики України в галузі охорони природи, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки», в рамках Регіональної програми «Донбас - 2020», відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт ДонНТУ «Зниження техногенного впливу на атмосферу при розробці вугільних родовищ» (№ДР0110U004940), в якій автор брав участь як відповідальний виконавець.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні параметрів підземних засобів використання геотермальної енергії при комплексному освоєнні природних ресурсів надр шляхом застосування встановлених закономірностей перерозподілу теплових полів в породному масиві, підданому техногенному впливу.

Основна ідея роботи полягає у концентруванні та ефективному відборі у надрах вугільних шахт низькопотенціальної геотермальної енергії для корисного використання.

Для досягнення поставленої мети сформульовані та вирішені наступні задачі:

- проведені теоретичні дослідження, спрямовані на встановлення основних залежностей, що визначають динаміку теплообміну між породним масивом і теплоносієм, який рухається в каналі (шахтного геотермального теплообмінника), а також основних його параметрів і режимів функціонування;
- виконані шахтні дослідження теплообміну в гірничих виробках глибоких шахт;
- розроблена конструкція геотермального теплообмінника і визначені його оптимальні параметри;
- виконана економічна оцінка способів використання низькопотенціальної геотермальної енергії для потреб підприємства і зовнішніх споживачів.

Об'єкт дослідження - термодинамічний стан системи «породний масив - теплоносії в підземній гірничій виробці».

Предмет дослідження—параметри дисипації геотермального тепла і умови, що визначають витяг його з породного масиву і передачу від стінок виробок теплоносію.

Методи дослідження - використано комплексний підхід з використанням наступних методів дослідження: аналіз та узагальнення інформаційних джерел, присвячених питанням утилізації геотермальної енергії; теоретичні дослідження процесу переносу тепла між стінкою гірничої виробки і теплоносієм; шахтні дослідження температурного режиму в гірничих виробках очисних ділянок глибокої вугільної шахти; теоретично-експериментальні дослідження конструктивних параметрів шахтного геотермального теплообмінника (ШГТ); еколого-економічний аналіз перспективних технологій використання низкопотенціальної енергії на підприємствах

Основні наукові положення, що захищаються в роботі:

1. Теплообмін між породним масивом і рухомим в гірничій виробці теплоносієм визначається розмірами виробки, коефіцієнтом теплопровідності порід і подачею теплоносія і не залежить від температури порід, що дозволяє обґрунтувати ефективність протяжності і тривалості робочого циклу шахтного геотермального теплообмінника;

2. Зниження коефіцієнта теплопровідності породного масиву до $(0,512...0,91)\lambda_0$ і ослаблення теплового потоку до виробки визначає природна і техногенна тріщинуватість оточуючих гірничу виробку порід, особливо паралельних контуру виробки тріщин, що вимагає штучного збільшення теплопровідності порід при витяганні геотермальної енергії.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Удосконалена математична модель теплообміну між породним масивом і теплоносієм в підземній виробці, яка відрізняється від відомих тим, що уточнена залежність, яка описує розмір охолодженої зони навколо гірничої виробки.

2. Вперше встановлена залежність між теплофізичними параметрами породного масиву і повітряного потоку у виробці для визначення коефіцієнта ефективності геотермального теплообмінника η , що дозволило обґрунтувати оптимальні параметри ШГТ (для виробки радіусом 1,5 м і середніх для Донбасу значеннях теплофізичних параметрів це відповідає довжині каналу від 1500 до 6750 м і тривалості роботи теплообмінника від 1,2 місяця до півтора років), при цьому η не залежить від температури гірських порід.

3. Вперше теоретично встановлені і експериментально підтвержені умови протікання теплообміну між гірськими породами і вентиляційним повітряним потоком при провітрюванні розташованих на глибині 1000...1300 м штретків, що мають площу поперечного перерізу 18...20 м² і протяжність 600...1200 м. Нагрівання повітря відбувається до подачі 1500...1600 м³/хв, при подальшому посиленні вентиляційного потоку рівень температури в ньому знижується.

4. Уточнений механізм поширення теплових полів поблизу контуру підготовчої виробки, який відрізняється тим, що в ньому враховується наявність

природної та техногенної тріщинуватості, особливо орієнтованих паралельно контуру гірничої виробки тріщин, це визначає зменшення коефіцієнта теплопровідності λ_0 породного масиву до $(0,512...0,91)\lambda_0$ і, відповідно, ослаблення теплового потоку до виробки, що визначає доцільність штучного підвищення теплопровідності порід біля контуру при витяганні геотермальної енергії.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи підтверджена обґрунтованістю прийнятих вихідних положень, гіпотез і методів досліджень, які спираються на фундаментальні закони термодинаміки і фізики гірських порід, задовільною якісною і кількісною збіжністю теоретичних і експериментальних даних.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці:

- комбінованої конфігурації шахтного теплообмінника, яка поєднує послідовні і паралельні гілки; безперервність роботи ШГТ такого виду забезпечується шляхом періодичного відключення окремих паралельних гілок для рекреації, і використання інших для продуктивної роботи;

- рекомендацій щодо забезпечення найкращої теплопередачі з глибини тріщинуватого масиву до контуру гірничої виробки шляхом заповнення пустот складом що твердіє на основі глини з додаванням наповнювача, що проводить тепло, за який доцільно використовувати порошок графіту;

- анкерного кріплення для каналів теплообмінника з теплопровідними наповнювачем шпурів, який поліпшує теплопередачу з масиву до контуру виробки шляхом збільшення коефіцієнта теплопередачі.

Ефективність розроблених здобувачем пропозицій полягає в скороченні споживання шахтою вичерпних природних енергетичних ресурсів і супутнього їх спалювання, зниженні негативного впливу на навколишнє середовище (викид нагрітих парникових газів, твердих і рідких відходів). Застосування геотермальної енергії для провітрювання шахт забезпечує, в характерних для Донбасу умовах, скорочення величини геотехнічного ризику не менш ніж на два порядки (з 1600 до 16 ГДж), а при геотермічному підігріві підживлювальної води і повітряного дуття у типовій шахтній котельні, дає геотермічний ефект 49 ТДж.

Очікуваний економічний ефект від використання геотермальної енергії для провітрювання гірничих виробок, наприклад, в умовах шахти «Жовтневий рудник» понад 4 млн.грн/рік. При використанні ШГТ в комплексі «шахта - теплоелектростанція» економічний ефект складатиме 23 млн.грн/рік.

Отримані в роботі результати були використані ПрАТ «Донецьксталь - металургійний завод» як науково-методична основа при обґрунтуванні основних параметрів шахтного геотермального теплообмінника, призначеного для підігріву повітря і підживлючої води в шахтних котельних.

Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Державного ВНЗ «ДонНТУ» в курсах «Комплексне використання ресурсів надр», «Технології використання геотермальної енергії та підземної газифікації» для студентів гірничого факультету та факультету екології та хімічної технології.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні завдання досліджень спрямованих на встановлення залежностей, що визначають динаміку теп-

лообміну між породним масивом і теплоносієм, виконанні розрахунків, розробці математичної моделі теплообміну між породним масивом і теплоносієм в підземній виробці, аналізі результатів шахтних спостережень теплообміну в гірничих виробках глибоких шахт; виборі аналогів, обґрунтуванні конструктивних параметрів геотермального теплообмінника; виконанні економічних та технічних розрахунків.

Апробація роботи. Результати дисертаційної роботи доповідалися і були схвалені на: III-й Міжнародній науково-практичній конференції «Управління інноваційним розвитком промисловості: держава, регіон, підприємство» (м. Донецьк 2010 р.), регіональних конференціях «Комплексне використання природних ресурсів» (м.Донецьк 2010, 2011р.р.), «Екологічні проблеми паливно-енергетичного комплексу» (м.Донецьк 2009, 2010, 2012р.р.), Міжнародному семінарі «Геотермія» (м.Донецьк 2012 р.), Другому міжнародному науково-практичному семінарі «Повховські наукові читання» (м. Донецьк 2012 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 13 наукових робіт, в тому числі чотири у фахових виданнях України, дві в іноземних виданнях, отриманий 1 патент на корисну модель.

Структура і обсяг. Дисертаційна робота складається з вступу, шести розділів, висновку, списку використаних джерел з 61 найменування на 6 сторінках і 2 додатків на 4 сторінках. Містить 116 сторінок машинописного тексту, 37 рисунків, 8 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 126 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показана актуальність теми роботи, зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами, викладені мета і завдання досліджень, наукова новизна отриманих результатів та практична цінність роботи, відомості про апробацію результатів та їх впровадження.

Перший розділ присвячений обґрунтуванню актуальності роботи, оцінці ресурсів геотермальної енергії на планеті і в надрах гірничодобувних регіонів, сучасним способам її використання, особливостям розподілу низькопотенціальної геотермальної теплоти в вугленосній товщі. Підготовчі й очисні виробки розташовані в області охолоджених порід. На контурі глибокої гірничої виробки температура на $10...15^{\circ}\text{C}$ менше ніж у масиві, де вона становить $T_m = 40...45^{\circ}\text{C}$.

ДонНТУ запропонований спосіб використання низькопотенціальної енергії, що надходить з надр та знімається теплоносієм зі стінок гірничих виробок. Особливість способу полягає в тому, що для цього використовують вироблений простір, тобто ділянки породного масиву, з яких вилучена корисна копалина та їх практичне використання не передбачається в перспективі. В таких умовах знімання тепла може проводитися тривалий період, оскільки джерело теплоти буде існувати ще тривалий час. На відміну від свердловинних технологій, у цьому способі процес теплообміну є контрольованим, та обумовлює мінімальний ризик суфозії або кольматації. Однак, це перспективне для гірничодобувних регіонів технічне рішення існує на рівні ескізної пропозиції і потребує нау-

кового обґрунтування. В результаті проведеного аналізу сформульовані мета та завдання досліджень.

Другий розділ присвячений дослідженню режимів роботи і вдосконаленню термодинамічної моделі; математичному опису та оцінці ефективності експлуатаційного режиму роботи шахтного геотермального теплообмінника (ШГТ).

Можна виділити кілька характерних режимів роботи теплообмінників. При проходці виробок - режим будівництва (РБ), коли оголена поверхня виробки охолоджується повітрям від температури масиву (T_M) до температури повітряного потоку (T_θ). При експлуатації виробки за ШГТ використовується основний робочий режим (РР). Гірські породи охолоджуються за рахунок теплообміну з вентиляційним струменем від температури масиву (T_M) до деякої допустимої (T_δ) за період (t_p). Цьому передує період відновлення температурного поля масиву від (T_θ) до (T_M) або підготовчий режим (ПР), тривалістю (t_n). Подібний період існування ШГТ необхідний для відновлення температури від (T_δ) до (T_M) протягом часу (t_3) - режим «зарядки» акумулятора тепла (РЗ)(рис.1). Модель РР геотермального акумулятора повинна дозволяти визначити такі величини: температурне поле в масиві в довільний момент часу $t > 0$; температуру повітря на виході з виробки в будь-який момент часу $t - T_{BL}(t)$; час оптимального режиму експлуатації (ефективного нагріву повітряного струменя) - t_p . Для визначення температурного поля в масиві розглянута крайова задача:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} = \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r \rightarrow \infty} = 0, r \in (R_0, \infty) \quad t > 0 \quad (1)$$

$$T(r, x, t) \Big|_{t=0} = T_M(H) = const, r \in (R_0, \infty), x \in (0, L) \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} = \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r \rightarrow \infty} = 0, r \in (R_0, \infty) \quad t > 0 \quad (3)$$

$$T(r_1, x_1, t) \Big|_{r=R_0} = T_B(r_1, x_1, t) \Big|_{r=R_0}, \lambda_M \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_0} = \lambda_B \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_0} \quad x \in (0, L)$$

$$T(r_1, x_1, t) \Big|_{r=R_0} = T_\theta(r_1, x_1, t) \Big|_{r=R_0}, \lambda_M \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_0} = \lambda_\theta \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_0} \quad x \in (0, L) \quad (4)$$

де $T_M(H)$ - температура в непорушеному масиві на глибині H ; $T(r, x, t)$ - розподіл температури в породному масиві; $a_M = \lambda_M \cdot C_M^{-1}$, λ_M, C_M - відповідно теплопровідність і питома теплоємність масиву; R_0, L - радіус перерізу і довжина вироб-

ки; r і x - координати точки в нормальному і поздовжньому до осі виробки напрямку; індекси m і v означають, що дана величина відноситься до масиву або повітря.

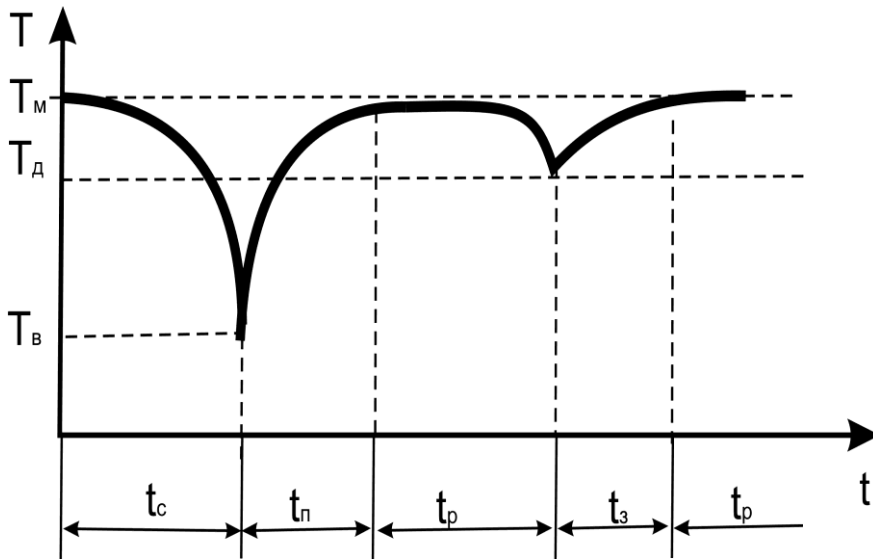


Рис. 1. Зміна температури (T) на поверхні каналу шахтного геотермального теплообмінника в періоди: будівництва (t_c); підготовки до роботи (t_n); роботи (t_p); зарядки (t_3); T_m , T_v , T_d - температури, відповідно, масиву, теплоносія (повітря), допустимого охолодження стінок каналу.

Рівнянням(4) описується умова сполучення температурних полів масиву і виробки.

Температурне поле у виробці описано рівнянням:

$$\frac{\partial T_B}{\partial t} + g \frac{\partial T_B}{\partial x} = \frac{\lambda}{C_{PB}} \frac{P}{S} [T_B(R_0, x, t) - T_B(x, t)] \quad (5)$$

де g - середня швидкість повітряного потоку; α - коефіцієнт теплообміну між масивом і повітрям; P , S - відповідно периметр і площа перетину виробки. Крайові умови (5), крім уже наведених умов сполучення температури полів (4), включають початкові (6) і граничні (7) умови:

$$T_B(r, x, t)|_{t=0} = T = const, r \in [0, R_0), x \in (0, L) \quad (6)$$

$$T_B(r, x, t)|_{x=0} = T_B^{(0)}(t), t > 0 \quad (7)$$

Отримано рівняння для визначення температури стінки виробки:

$$T_{cm}(F_0) = \frac{T_M + 2Bi\sqrt{F_0} \times T_B(t)}{1 + 2Bi\sqrt{F_0}} \quad (8)$$

Безрозмірні числа позначені: $Bi = \frac{\alpha R_0}{\lambda}$ - Біо; $F_0 = \frac{at}{R_0^2}$ - Фур'є.

Оскільки температура стінки змінюється по ходу струменя повітря, як і температура цього струменя, в (8) можна записати: $T_{cm} = T_{cm}(x, F_0)$, $T_B = T_B(x, F_0)$, де $x \geq 0$ - координата уздовж виробки, що відраховується від вхідного перетину геотермального теплообмінника. Для опису зміни температури повітряного струменя уздовж виробки використано рівняння:

$$\frac{\partial T_B}{\partial x} = K [T_{cm}(x, F_0) - T_B(x, F_0)] \quad (9)$$

де $K = \alpha \Pi / C_p S V$, Π , S - відповідно, периметр і площа перетину виробки; C_p - питома теплоємність повітря при постійному тиску; V - середня по перерізу швидкість повітряного потоку.

Позначаючи температуру повітря у вхідному перерізі виробки - T_B , граничні умови для рівняння (9) записано у вигляді:

$$T_B(x, F_0) \Big|_{x=0} = T_{B1}(F_0), \quad F_0 > 0 \quad (10)$$

На основі отриманих результатів експонентна апроксимація температурного поля перетворена і наведена в наступному вигляді:

$$T(r, t) = T_{cm}(t) + [T_M - T_{cm}(t)] \left\{ 1 - \exp\left[-\beta \left(\frac{r - R_0}{\delta_3(t)}\right)\right] \right\}, \quad (11)$$

де $T_{cm}(t)$ - температура стінки каналу, $\delta_3(t) = r_3 - R_0 = 4\sqrt{at}$ - ширина охолодженої зони гірського масиву, β - чисельний коефіцієнт, що визначається умовою $r = r_3$ - «фронту» температурного поля.

Скорегувавши вираз для $T_B(x, F_0)$ з урахуванням (11) одержимо:

$$T_B(x, F_0) = T_{B1}(F_0) + [T_{\Pi} - T_{B1}(F_0)] [1 - \exp(-\tilde{K}\xi)], \quad \xi = \frac{x}{R_0}, \quad (12)$$

$$\text{де } \tilde{K} = \left(\frac{\alpha \pi R_0}{\gamma c_p S V}\right) (1 + 0,58 B_i \sqrt{F_0}). \quad (13)$$

Критерієм ефективності роботи ШГТ є умова максимальності кількості тепла, переданого гірським масивом повітряному потоку:

$$\Delta Q(\xi, F_0) = C_p G [T_B(\xi, F_0) - T_{B1}(F_0)] = \max. \quad (14)$$

Коефіцієнт η ефективності ШГТ визначається за формулою:

$$\eta = \frac{\Delta Q(\xi, F_0)}{\Delta Q_{\max}}, \quad \eta \in [0, 1] \quad (15)$$

При зростанні швидкості \mathcal{G} руху повітряного потоку (або його витрати G) η зменшується. Тому оптимізація ШГТ за швидкістю руху потоку повинна здійснюватися на основі балансу між тенденцією зростання η при зниженні \mathcal{G} і зростання $\Delta Q(\xi, F_0)$ при збільшенні \mathcal{G} .

Із збільшенням часу експлуатаційного режиму ШГТ, його ефективність знижується. Тому, рекомендується обмежити цей час першими невеликими

значеннями F_0 . Оптимізувати величину довжини каналу ШГТ (ξ_*) можливо, задавшись величиною η . У цьому випадку, так само, необхідно встановити баланс між тенденціями зменшення тривалості експлуатаційного циклу ШГТ, при відносно коротких каналах, і зростанні капітальних і експлуатаційних витрат, при довгих каналах, що дозволяють ШГТ ефективно працювати при тривалих експлуатаційних циклах. Для $R_0 = 1,5\text{ м}$ і середніх по Донбасу значеннях теплофізичних параметрів, це відповідає довжині каналів до 6750 м і часу роботи ШГТ від 1,2 місяця до півтора року (рис.2). Зауважимо, що коефіцієнт ефективності η (фактично - аналог к.к.д.) від температури порід T_m не залежить.

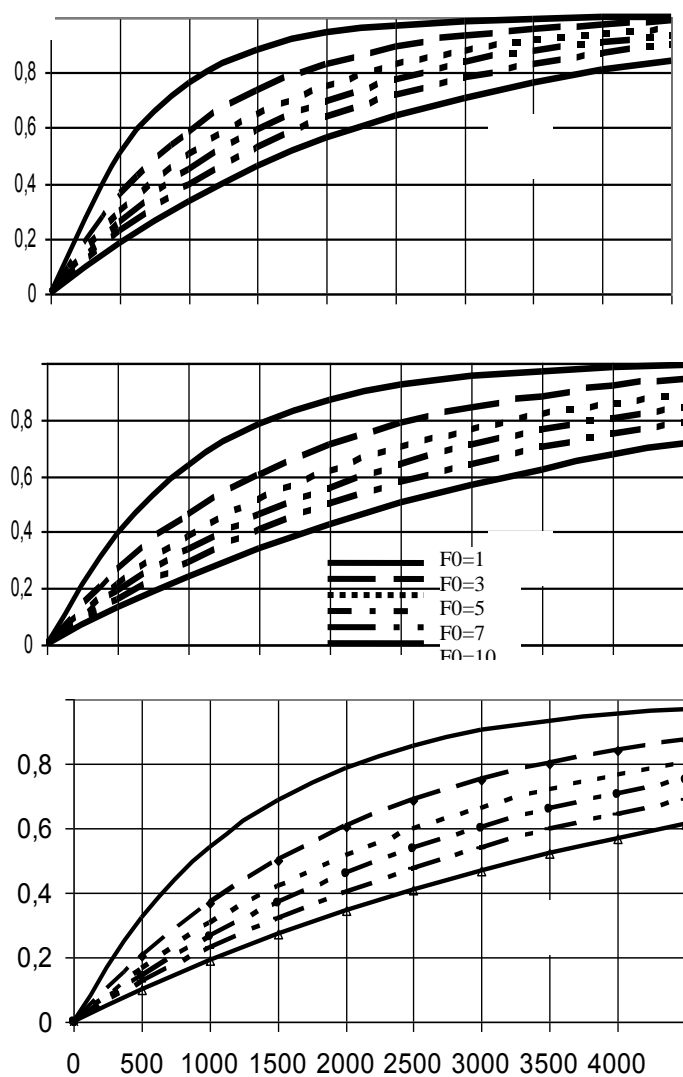


Рис. 2. Залежність ефективності ШГТ(η) від швидкості (v , мс^{-1}) потоку теплоносія $v=2$ (а); 3(б); 4(в) і довжини каналу (ξ , м)

Третій розділ присвячений експериментальній оцінці потужності низькопотенційних геотермальних потоків в глибокій вугільній шахті. За експериментальну ділянку для визначення параметрів теплових потоків обрано мережу гірничих виробок ПАТ «Шахта ім. О.Ф.Засядька». Це обумовлено тим, що шах-

та веде гірничі роботи на глибинах 1000...1300м і більше, температура масиву гірських порід досягає 45...51°С. Всі вугільні пласти m_3 , l_1 , l_4 , k_8 - газоносні. Природна газоносність всіх пластів від 8 до 26 м³ на тону сухої беззольної маси вугілля.

Визначали зміну температури повітря на вході і виході повітряподаючих, очисних (лав) і вентиляційних виробок в різні періоди відпрацювання запасів вугілля в виїмковій ділянці. При цьому в точках вимірювання температури фіксували витрату повітря.

Результати показали однозначну залежність одержуваної повітряним потоком теплової енергії від протяжності маршруту руху повітря. У початковий період відпрацювання ділянки, коли довжина повітряподаючих і вентиляційних виробок була максимальною, приплив тепла досягав $\Delta U = 420$ кВт. Після виїмки основної частини запасів і скорочення протяжності ΔU скоротився більш ніж на порядок до 10...50 кВт.

Показовим є зміна показника $T_{en} = T_2 - T_1$, а саме, зв'язок між протяжністю повітряподаючої виробки і величиною приросту температури повітря в ній.

Встановлено, що за період переміщення по гірничих виробках видобувних ділянок потоки повітря, що використовується для провітрювання, нагріваються на 4,3...13К. У середньому, в повітряподаючих виробках ділянок пласта m_3 повітря нагрівалося на один градус, переміщаючись на 300...400 м (рис.3).

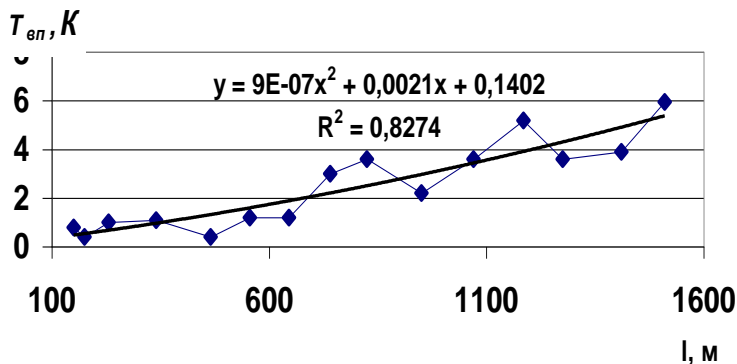


Рис. 3. Залежність температури повітря (T_{en}) в повітряподаючій виробці від величини посування (l) 17-й східної лави пласта m_3 ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»

При коротких, менш 1000м, маршрутах руху вентиляційних потоків істотний вплив на температуру повітря може надавати масова витрата повітря. Збільшення витрати повітря Q понад 1600м³/хв. призводило до зниження температури на 2-3К (рис. 4). Для довгих маршрутів, протяжністю понад 2000м, охолоджуючий вплив витрати повітря не позначався, оскільки тривалість контакту повітря з гірськими породами була достатньою.

Натурні вимірювання приросту температури повітря в межах видобувної ділянки (T_d) підтвердили, що зі збільшенням протяжності маршруту руху повітря його температура зростає (рис.5,а), при цьому охолоджуючий вплив витрати повітря не виявлявся (рис.5,б), оскільки збільшується час контакту повітря і нагрітих гірських порід.

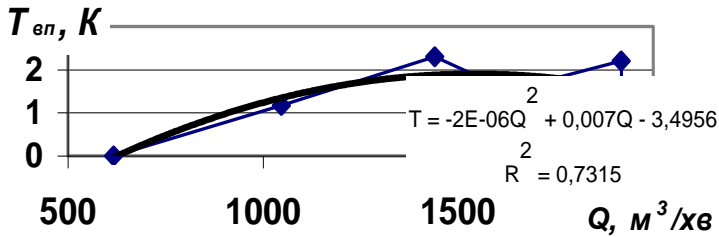
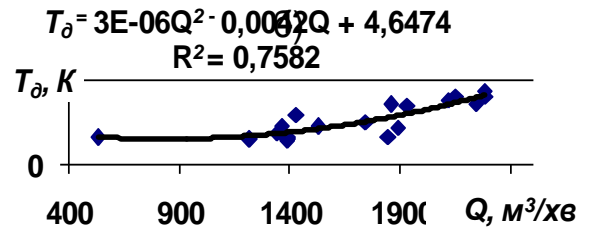
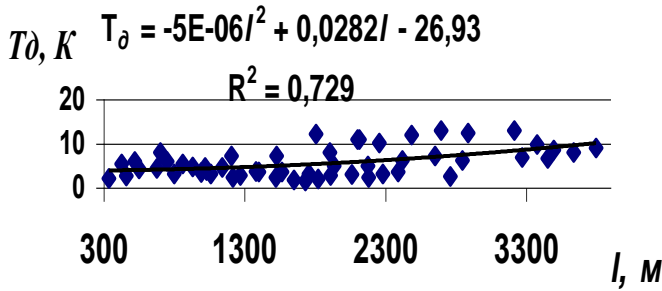


Рис. 4. Залежність приросту температури повітря (T) в повітряподаючій виробці 17-й східної лави пласта m_3 ПАТ «Шахта ім.О.Ф.Засядька» від витрати повітря Q



а

б

Рис. 5. Залежність приросту температури (T_d) повітря в межах шести виїмкових ділянок пласта m_3 від їх протяжності l (а) і витрати повітря Q (б)

Четвертий розділ містить результати дослідження логістики потоків теплоносія в мережі гірничих виробок, конструкції каналу шахтного геотермального теплообмінника і теплопровідних анкерних кріплень.

Кількість питомої теплоти (Q , Дж) що надходить в ШГТ можна, в першому наближенні, визначити з виразу:

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T, \quad (16)$$

де m - маса теплоносія, в нашому випадку - повітря, кг; C - його питома теплоємність, Дж/(кг град); $\Delta T = T_{вих} - T_{вх}$ - різниця температур повітря на вході і виході ШГТ, град.

Якщо врахувати, що для конкретного теплообмінника теплоємність носія (C) і різниця температур (ΔT) є величинами, практично, постійними, то регулювання потужності ШГТ можна здійснювати тільки зміною маси (m), а точніше масової витрати теплоносія. Через поперечний переріз виробки площею S , m^2 , повітря, що має щільність ρ , $кг/м^3$, проходить зі швидкістю v , $м/с$. Ці величини визначають масову витрату теплоносія в ШГТ:

$$M = S \cdot v \cdot \rho, \quad кг/с \quad (17)$$

При інтенсифікації споживання енергії, коли витрата споживаної енергії перевищує приток з надр, що її підживлює, відбувається виснаження ресурсів теплообмінника на ділянці L_{m0} за період t_0 . Якщо загальна протяжність теплообмінника перевищує довжину L_{m0} , то буде відбуватися перенесення зони теплообміну на більш віддалені від входу ділянки ШГТ.

Розглянуто три можливих конфігурації каналів ШГТ: послідовна, паралельна, комбінована.

Безперервність роботи ШГТ комбінованих конфігурацій забезпечується шляхом періодичного відключення окремих паралельних гілок для рекреації, та використання при цьому інших гілок для продуктивної роботи. У ШГТ комбінованого типу паралельні гілки слід розташовувати на початку маршруту руху повітря, що нагрівається. Наприклад, ШГТ, який містить три паралельних канали в першому контурі і два - у другому, дозволяє частіше переводити в рекреаційний режим канали першого контуру, які остивають швидше.

У процесі проведення і подальшої підтримки підготовчих гірничих виробок у породах, які їх вміщують, відбувається розвиток техногенних та таких мікротріщин, що існували в масиві, і перехід їх у розряд макротріщин. Наявність розривів суцільності порід призводить до різкого погіршення теплопровідності середовища. Пористість породного масиву може змінюватися $0,03 < P < 0,2$, а коефіцієнт теплопровідності становитиме $0,512 < \lambda_0 < 0,91$, де λ_0 - коефіцієнт теплопровідності монолітного зразка гірської породи.

У разі заповнення тріщин штучним матеріалом, наприклад, бентонітовою глиною з додаванням графітового порошку, відбувається збільшення коефіцієнта теплопровідності масиву. При цьому, чим більше була вихідна тріщинуватість масиву, тим вище стає здатність його проводити тепло після нагнітання (рис.6).

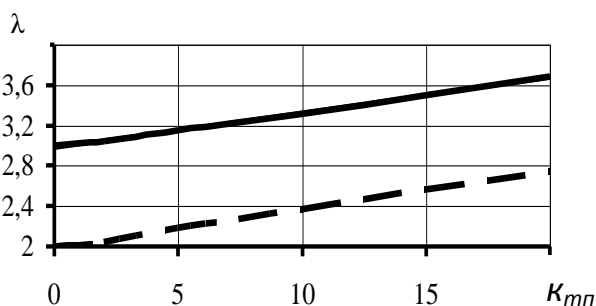


Рис. 6. Зміна коефіцієнта λ теплопровідності тріщинуватого масиву, що має показник тріщиної порожності K_{mn} , після обробки глино-графітної суспензією: суцільна лінія - піщаник; пунктир - алевроліт.

Ефект від використання анкерних кріпильних систем полягає в тому, що виготовлені з металу або вуглепластика стрижневі або тросові елементи кріплення в кілька разів краще проводять тепло ніж навколишні породи, навіть спеціально оброблені. При цьому замкова частина анкера розташовується за межами тріщинуватої області, тобто в області температур породного масиву. Раціональним є поєднання комбінованих пристроїв, що поєднують несучі стрижні з міцних матеріалів і теплопровідні елементи, що мають допоміжне значення як силові конструкції, а також забезпечують підвищену теплопровідність (рис. 7).

Розділ п'ятий присвячений розгляду можливості провітрювання гірничих виробок з використанням геотермальної енергії, застосування теплого повітря як дуття для шахтних котелень.

Розглянутий спосіб провітрювання шахти, відмінність якого полягає в тому, що повітря з лав, направляють в вентиляційну виробку через канали, які створені після виїмки корисної копалини.

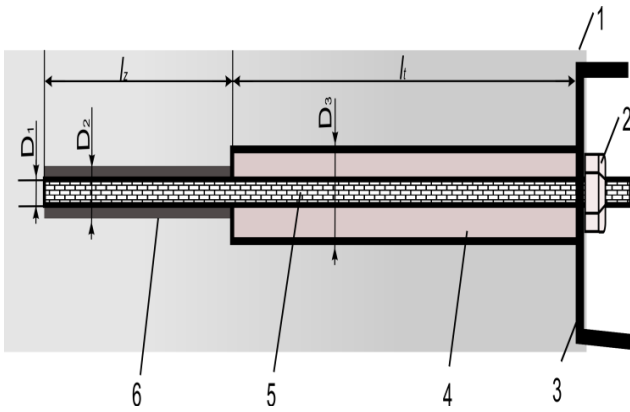


Рис. 7. Конструкція анкера що проводить тепло: 1 – породний масив; 2 – гайка, 3 – шайба-радіатор; 4 – теплопровідний наповнювач шпура; 5 – анкер; 6 – скріплюючий склад; D_1, D_2, D_3 – діаметри, відповідно, анкера, шпура в замкової частини, шпура в теплопроводячої частини; l_2, l_1 – довжина, відповідно, замкової і теплопроводячої частини шпуру.

Оцінку можливості застосування розглянутого способу провітрювання зроблено шляхом зіставлення його з існуючим в умовах шахти «Жовтневий рудник». Для визначення теплової депресії в шахті застосований метод індикаторних діаграм (рис. 8).

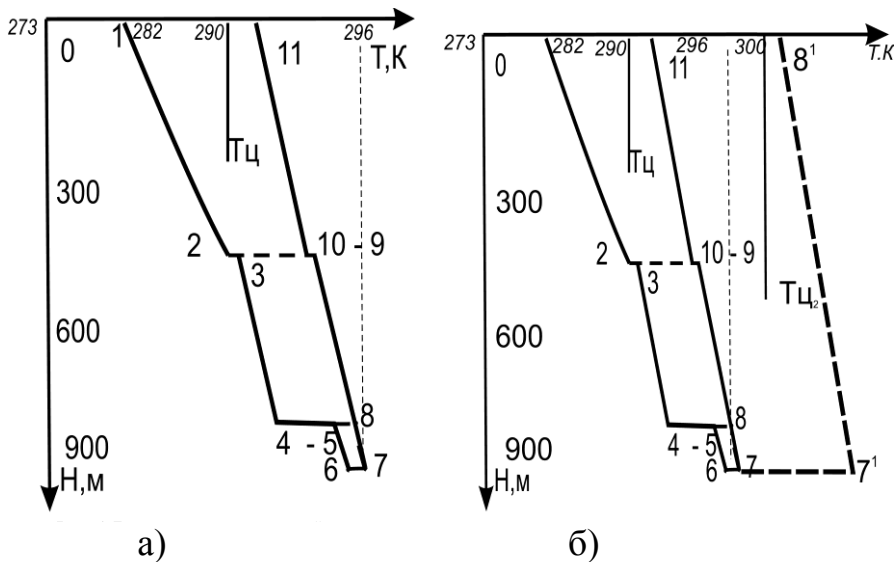


Рис. 8. Діаграми для визначення природної тяги шахти «Жовтневий рудник» при діючій схемі провітрювання (а), з теплообмінником (б): H – глибина, м; T – температура повітря, K ; 1,2...11 – точки сполучення виробок, пунктир – рух повітря в теплообміннику (7-7¹) і тепловому тракті (7¹-8¹).

Результати розрахунків показують, що якщо обладнати на шахті «Жовтневий рудник» два геотермальних теплообмінника, то можна відмовитися від використання вентиляторів головного провітрювання і тим самим скоротити витрати електроенергії на провітрювання шахти не менше ніж на 4,7 млн. грн. за рік.

Розглянуто можливість використання відпрацьованого шахтного повітря для потреб шахтної котельні, розташованої в безпосередній близькості від вентиляційного ствола. Очікуваний економічний ефект від пропонуваніх заходів складе 4,442...6,225 млн. грн. Витрати на проведення заходів оцінюються в сумі 85820 грн. Такий захід є середньозатратним і високоефективним, оскільки окупиться менш ніж за один місяць.

У шостому розділі виконана ідентифікація ризиків обумовлених веденням підземних гірничих робіт. Встановлено, що негативний вплив гірничих робіт на теплову обстановку в гірничодобувних регіонах надають геотермальне нагрівання атмосфери і спалювання невідновних енергоресурсів. У зв'язку з цим технічні рішення, спрямовані на скорочення витрачання традиційних видів палива або заміну їх альтернативними видами енергії дозволять поліпшити екологічну обстановку на прилеглий до шахти території і знизити ризики.

Імовірність (P) негативного впливу шахтної теплоти на обстановку в тропосфері визначена з приросту температури:

$$P = 1 - \frac{T_a}{T_a + T_b}, \quad (19)$$

де T_a, T_b - температури повітря, відповідно, у вентиляційному потоці і середньорічна в приповерхневому шарі тропосфери, K .

Ризик негативного впливу теплової енергії, що викидається з шахти, на навколишнє середовище можна визначити як добуток приросту температури на поверхні (P), потужності (Φ), що споживається вентиляційною установкою і тривалості (t) дії теплового джерела :

$$R = P\Phi t, \text{ Дж} \quad (20)$$

Диверсифікація електричної енергії, що витрачається вентиляторами, на геотермальну дозволяє приблизно на два порядки скоротити цей ризик з 1600 до 16 ГДж .

Аналогічний підхід використаний для оцінки ризиків, пов'язаних з використанням геотермії для підігріву повітря, підживлювальної води і палива в енергогенеруючих установках .

Величина ймовірності (P_t) настання несприятливої події, пов'язаної з нанесенням шкоди від теплових викидів, залежить від витрат палива в котельні при звичайному режимі роботи (Q_t) і з підігрівом повітря (Q_a):

$$P_t = \frac{Q_t - Q_a}{Q_t}, \quad (21)$$

а ризик оцінений як добуток імовірності настання несприятливої події (P_t), теплової потужності (Φ_t) котельної установки і тривалості її роботи (t_i):

$$R_t = P_t\Phi_t t_i, \text{ Дж}. \quad (22)$$

Ефект використання геотермальної енергії для підігріву підживлювальної води і повітряного дуття типовою шахтної котельні (два котла типу ДКВР 10-13, витрата природного газу $Q_g = 1105 \text{ м}^3/\text{год}$) становить 49 ТДж.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей перерозподілу теплових полів в породному масиві підданому техногенному впливу в умовах глибоких шахт Донбасу, вирішене актуальне науково-технічне завдання вибору ефективних параметрів підземних засобів відбору та утилізації геотермальної енергії при комплексному освоєнні надр, що має велике значення для паливо-енергетичного комплексу України.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Розроблена математична модель теплообміну між породним масивом і теплоносієм в підземній виробці, що враховує основні теплофізичні характеристики масиву і динамічні показники руху теплоносія. При цьому уточнена залежність, що описує ширину охолодженої зони навколо гірничої виробки. Це дозволило обґрунтувати параметри теплопроводячого анкерного кріплення.

2. На основі отриманих залежностей вперше запропонований математичний вираз для визначення коефіцієнта ефективності геотермального теплообмінника, що дозволило обґрунтувати оптимальні параметри ШГТ (для виробки радіусом 1,5м і середніх для Донбасу значеннях теплофізичних параметрів відповідає довжина каналу до 6750м і тривалість роботи теплообмінника від 1,2 місяця до півтора року залежно від витрати повітря).

3. Експериментально встановлено, що для каналів геотермального теплообмінника існує критична масова витрата теплоносія, перевищення якої веде до зниження температури на виході. При провітрюванні розташованих на глибині 1000...1300м штреків, що мають площу поперечного перерізу 18...20м² і протяжність до 1000 м, нагрівання повітря відбувається до подачі 1500...1600м³/хв. При подальшому посиленні вентиляційного потоку рівень температури знижується, що необхідно враховувати при визначенні параметрів шахтних геотермальних теплообмінників.

4. На основі аналізу динаміки температури в породному масиві, що віддає тепло, запропоновано використовувати комбіновану конфігурацію шахтного теплообмінника, яка поєднує послідовні і паралельні гілки. Безперервність роботи ШГТ такого виду забезпечується періодичним відключенням окремих паралельних гілок для рекреації та використання інших для продуктивної роботи.

5. Встановлено, що наявність і розвиток природної та техногенної тріщинуватості, особливо орієнтованих паралельно контуру гірничої виробки тріщин, визначає зменшення коефіцієнта теплопровідності породного масиву $0,512 < \lambda_0 < 0,91$ і, відповідно, зниження теплових потоків в напрямку порожнини виробітку. Це послужило основою рекомендацій щодо забезпечення найкращої теплопередачі з глибини тріщинуватого масиву до контуру гірничої виробки шляхом заповнення пустот складом, який твердіє, на основі глини з додаванням наповнювача, за який доцільно використовувати порошок графіту.

6. Теоретично обґрунтована параболічна залежність енергії теплового потоку, що надходить до контуру виробки, від діаметра теплопроводячого матеріалу і лінійна - від його коефіцієнта теплопровідності при поєднанні анкерного

кріплення з теплопровідним наповнювачем шпуру. У порівнянні зі звичайним анкерним кріпленням при заповненні шпуру, що має діаметр удвічі більше ніж тіло анкера, з коефіцієнтом теплопровідності в 5 ... 7 разів меншим, ніж у матеріалу анкера, але в 2...4 - більшим, ніж у гірських порід, потужність теплового потоку збільшується в 1,6...2,2 рази. Це дозволило розробити конструкцію анкерного кріплення для каналів теплообмінника, яка збільшує в кілька разів теплопередачу з масиву до контуру виробки шляхом збільшення коефіцієнта теплопровідності.

7. Ефективність розроблених у дисертації пропозицій полягає в скороченні споживання шахтою вичерпних природних енергетичних ресурсів і супутнього їх спалюванню негативного впливу на навколишнє середовище. Заміна електричної енергії, що витрачається вентиляторами, на геотермальну дозволяє приблизно на два порядки скоротити ризик з 1600 до 16 ГДж. Ефект використання геотермальної енергії для підігріву підживлювальної води і використання підігрітого повітряного дуття типовою шахтною котельною оцінюється в 49 ГДж.

8. Очікуваний економічний ефект від використання геотермальної енергії для провітрювання гірничих виробок в умовах шахти «Жовтневий рудник» становить понад 4 млн.грн/рік. При використанні ШГТ в комплексі «шахта - теплоелектростанція» економічний ефект може перевищувати 23 млн.грн/рік.

Основні положення дисертації викладені в роботах:

1. Костенко В.К. Определение эффективности шахтного геотермального теплообменника / В.К. Костенко, С. Салехирадж, И.Р. Венгеров, О.Э.Толкачев// Проблемы экологии. –2008. – №1-2. – С.12-17.

2. Костенко В.К. Визначення ефективності шахтного геотермального теплообмінника /В.К.Костенко, С.Салехирадж, І.Р.Венгеров, О.Э.Толкачев// Обладнання та технології харчових виробництв. –Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – Вип. 21. – С. 164-171.

3. СалехираджС. Использование газообразного теплоносителя для подземного геотермального теплообменника / С.Салехирадж // Известия Донецкого горного института. –Донецк: ДонНТУ, 2010. – №1-2. – С.42-51.

4. Салехирадж С. Выбор конфигурации каналов шахтного геотермального теплообменника /С. Салехирадж// Известия Донецкого горного института. – Донецк: ДонНТУ, 2011. –№2. – С.47-55.

5. Костенко В.К. Оценка возможности использования геотермальной энергии для проветривания горных выработок /В.К.Костенко, С.Салехирадж, Е.Ю.Белогурова//Проблемы экологии. –2011. –№1-2. – С.12-17.

6. Костенко В.К. Экспериментальная оценка низкопотенциальных геотермальных потоков в глубокой угольной шахте / В.К.Костенко, С.Салехирадж // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – №36, т.2 – Дніпропетровськ: НГУ, 2011. – С.77-85.

7. Костенко В.К. Обоснование параметров способа шпуровой разгрузки устьев дегазационных скважин /В.К. Костенко, Н.Н. Зинченко, В.С. Бригида,

С.Салехирадж// Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: Институт физики горных процессов НАН Украины, 2012. – Вып. 15. – С. 85-91.

8. Salehiraj S. Method of receipt of geothermal energy in deep coal mines /S. Salehiraj, V.K. Kostenko //Journal of science and today's world. 2013.- Volume 2, Issue 2. – P. 199-204.

9. Патент на корисну модель № 70012 Україна, МПК E21D 13/00. Спосіб анкерного кріплення виробки/ В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова, С. Саліхерадж, О.С. Шипика; заявник і власник ДонНТУ. – № u201112926; заявл. 03.11.2011; опубл. 25.05.2012, Бюл. №10.

10. Салехирадж С. Способы использования шахтной геотермальной энергии для нужд горнодобывающего предприятия /С.Салехирадж, Е.Л.Завьялова, В.А.Жердицкий//«Комплексне використання природних ресурсів»: IV регіонал. конф., 12 грудня 2011 р.: зб. доповідей студентів та аспірантів. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С.23-27.

11. Салехирадж С. Увеличение объема извлекаемой шахтным геотермальным теплообменником энергии из выработок глубоких шахт / С.Салехирадж, Е.Л.Завьялова, А.С.Шипика //«Комплексне використання природних ресурсів»: IV регіонал. конф., 12 грудня 2011 р.: зб. доповідей студентів та аспірантів. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С.28-30.

12. Костенко В.К. Повышение экологической безопасности шахтной природно-промышленной экосистемы за счет использования геотермальной энергии /В.К. Костенко, С. Салехирадж, Е.Л. Завьялова//Труды Второго международного научно-практического семинара «Повховские научные чтения»: под общ. ред. Ступина А.Б. –Донецк: ДонНУ, 2012.–С. 174-181.

13. Salehiraj S. Experimental Assessment of Low-Potential Geothermal Sources in Deep Coal Mine/ S.Salehiraj, V.Kostenko//Middle-East Journal of Scientific Research, 2013.-№16 (2). - P. 304-309.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві: [1,7] - розробка математичної моделі, аналіз результатів; [4] - збір та обробка експериментальних даних, висновки; [5,11] – формулювання завдань, виконання розрахунків, аналіз результатів; [6] – вибір аналогів, обґрунтування конструктивних параметрів, [8,9,10,12,13] – виконання економічних і технічних розрахунків.

АНОТАЦІЯ

Салехірадж С. Обґрунтування параметрів системи відбору геотермальної енергії в умовах глибоких вугільних шахт. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». - Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ - 2014 р.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей перерозподілу теплових полів в пород-

ному масиві підданому техногенному впливу в умовах глибоких шахт Донбасу, вирішене актуальне науково-технічне завдання вибору ефективних параметрів підземних засобів відбору та утилізації геотермальної енергії при комплексному освоєнні надр, що має велике значення для паливо-енергетичного комплексу України.

Вперше теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що для геотермального теплообмінника існує гранична масова витрата теплоносія, перевищення якої веде до зниження кінцевої температури. Отримала подальший розвиток математична модель теплообміну, яка враховує основні теплофізичні характеристики масиву і динамічні показники руху теплоносія. Уточнено рівняння, що описує ширину охолодженої зони породного масиву. Вперше запропонований математичний вираз для визначення коефіцієнта ефективності геотермального теплообмінника. Встановлено, що наявність природної і розвиток техногенної тріщинуватості визначає зниження теплових потоків саме в напрямку порожнини виробці.

Ключові слова: геотермальна енергія; математична модель; шахтний геотермальний теплообмінник; теплопровідний анкер; коефіцієнт теплопровідності; тріщинуваті гірські породи; теплова депресія.

АННОТАЦІЯ

Салехирадж С. Обоснование параметров системы отбора геотермальной энергии в условиях глубоких угольных шахт. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09—«Геотехническая и горная механика». — Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск.— 2014 г.

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основе впервые установленных закономерностей перераспределения тепловых полей в породном массиве подверженном техногенному воздействию в условиях глубоких шахт Донбасса решена актуальная научно-техническая задача выбора эффективных параметров подземных средств отбора и утилизации геотермальной энергии при комплексном освоении недр.

Впервые теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что для каналов геотермального теплообменника существует предельный массовый расход теплоносителя, превышение которого ведет к снижению конечной температуры. Для штреков с площадью поперечного сечения 18...20 м² длиной около 1000 м, пройденных на глубине 1000...1300 м, с увеличением расхода воздуха рост температуры и количества отбираемой теплоты происходит до скорости воздуха 1500...1600 м³/мин, при дальнейшем увеличении расхода уровень температуры снижается, что необходимо учитывать при определении параметров шахтных геотермальных теплообменников. Получила дальнейшее развитие математическая модель теплообмена между породным массивом и теплоносителем в подземной выработке, учитывающая основные теплофизические характеристики породного массива и динамические показатели

движения теплоносителя, при этом уточнено уравнение, описывающее ширину охлажденной зоны горного массива. На основе полученных зависимостей впервые предложено математическое выражение для определения коэффициента эффективности геотермального теплообменника и рекомендовано, определяя время эксплуатационного режима ограничиться первыми, небольшими значениями числа Фурье. Предложено использовать комбинированную конфигурацию шахтного теплообменника, сочетающую последовательные и параллельные ветви. Непрерывность работы ШГТ такого вида обеспечивается путем периодического отключения отдельных параллельных ветвей для рекреации, и использования остальных для продуктивной работы. Впервые установлено, что наличие природной и развитие техногенной трещиноватости, особенно ориентированных параллельно контуру горной выработки трещин, определяет уменьшение коэффициента теплопроводности породного массива $0,91 < \lambda_0 < 0,512$. Это послужило основой рекомендаций по обеспечению наилучшей теплопередачи из глубины трещиноватого массива к контуру горной выработки путем заполнения пустот твердеющим составом на основе глины с добавлением теплопроводящего наполнителя, в качестве которого целесообразно использовать порошок графита. Впервые теоретически установлена параболическая зависимость поступающего к контуру выработки теплового потока от диаметра теплопроводящего материала и линейная - от его коэффициента теплопроводности при сочетании анкерной крепи с теплопроводящим наполнителем шпура. По сравнению с обычной анкерной крепью при заполнении шпура, имеющего диаметр вдвое больше, чем анкер, с коэффициентом теплопроводности в 5...7 раз меньшим, чем у материала анкера, но в 2...4 раза большим, чем у горных пород, мощность теплового потока увеличивается в 1,6...2,2 раза. Это позволило разработать конструкцию анкерной крепи для каналов теплообменника с теплопроводящим наполнителем шпуров, улучшающую в несколько раз теплопередачу из массива к контуру выработки путем увеличения коэффициента теплопроводности. Эффективность разработанных в диссертации предложений заключается в сокращении потребления шахтой исчерпаемых природных энергетических ресурсов и сопутствующего их сжиганию негативного воздействия на окружающую среду. Замена расходуемой вентиляторами электрической энергии на геотермальную позволяет примерно на два порядка сократить экологический риск с 1600 до 16 ГДж. Ожидаемый экономический эффект от использования геотермальной энергии для проветривания горных выработок в условиях шахты «Октябрьский рудник» оценивается в 4 млн. грн/год.

Ключевые слова: геотермальная энергия; математическая модель; шахтный геотермальный теплообменник; теплопроводящий анкер; коэффициент теплопроводности; трещиноватые горные породы; тепловая депрессия.

ABSTRACT

Salehiradzh. S. Rationale for the selection of parameters using geothermal energy in terms of deep coal mines.- Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.15.09 - Geotechnical and Mining Engineering. - State university "National Mining University", Dnipropetrovsk. – 2014.

The thesis is completed research work, which on the basis of established patterns of redistribution of thermal fields in mountain ranges subjected to man-made impact in terms of deep mines of Donbass decided to relevant scientific - technical task of selecting effective parameters of underground facilities selection and utilization of geothermal energy development in the complex. Subsoilю

First theoretically proved and experimentally confirmed that the geothermal heat exchanger channels exist limiting mass flow of the coolant , the excess of which leads to lower final temperature . Further developed a mathematical model of heat transfer between the mountain range and cooled in an underground formulation takes into account the basic thermal characteristics of mountain range and dynamic performance of motion of the coolant , and the refined equation describing the width of the cooled zone massif. The first time the mathematical expression for determining the coefficient of efficiency of geothermal heat exchanger and recommended defining the operational mode to limit the time the first small values of the number of Fourier index for evaluating the effectiveness heat exchangers. For the first time found that the presence of natural and man-made development of fractures , especially oriented parallel circuit excavation cracks determines the reduction in the thermal conductivity of mountain range and, consequently, reduce heat flow in the direction of the oral formulation. Diversification of electricity consumed by fans for geothermal allow approximately two orders of magnitude to reduce environmental risk from 1600 to 16 *GJ*.

Keywords: geothermal energy, mathematical model, mine geothermal heat exchanger, heat-conducting glue, thermal conductivity, fractured rocks, thermal depression.