ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

«Обґрунтування параметрів способу використання геотермальної енергії для інтенсивної рекультивації деградованих територій»

Автор: ***БОГОМАЗ Ольга Петрівна – PhD, доцент кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «ДонНТУ»***

2022 рік

Актуальність дослідження

Ліквідація гірничих підприємств

Утворення техногенно-деградованих територій (понад 800 тис.га), відновлення яких сповільнене через дефіцит води й відсутність родючого ґрунту для життєдіяльності біоти.

Потрапляння у водойми понад 600 млн м^3/рік високомінералізованих шахтних та кар'єрних вод, опріснення яких представляє складну технічну проблему, поєднану зі значними витратами

Перспективним є створення на деградованих територіях очисного комплексу біоплато з вищими водними рослинами (очерет звичайний, рогіз широколистий)

Невивчені питання

Суттєва залежність роботи біологічних споруд від кліматичних чинників (зимовий простій)

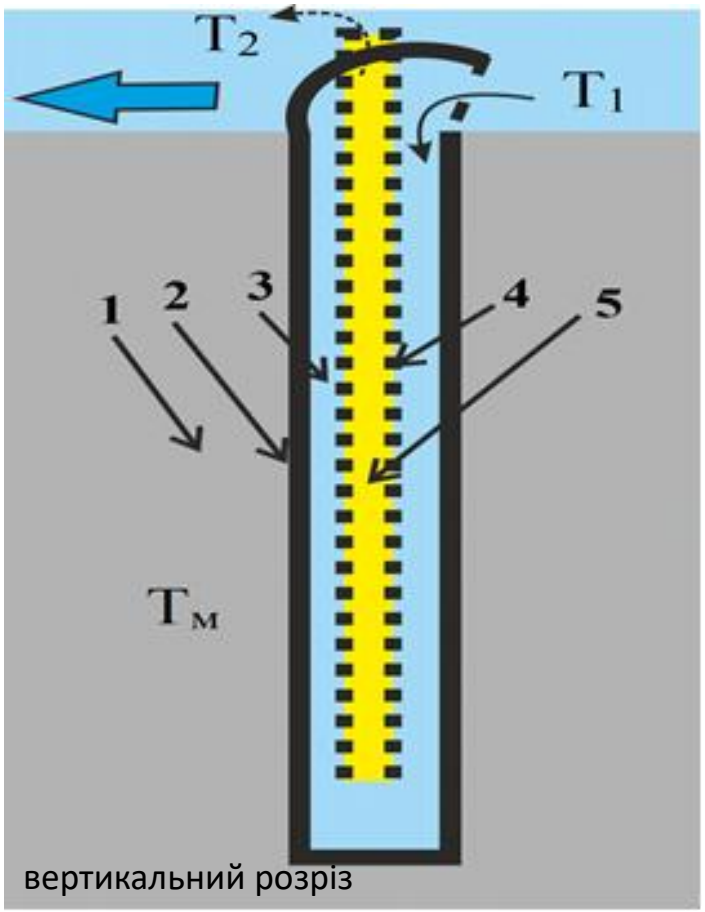
Неможливість паралельних процесів рекультивації ґрунту та очищення дренажних стоків

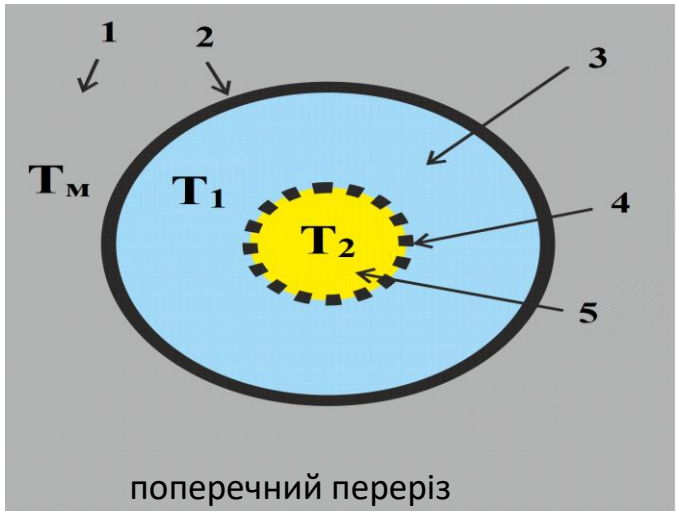
Неможливість регулювання температури води, що видається з шахтних теплообмінників

Розв'язання проблеми

Наукове обґрунтування раціональних параметрів розробленого способу інтенсифікації процесів відновлення природних екосистем, з цілорічним біологічним очищенням стоків , шляхом видобутку та використання геотермальної енергії надр закритих гірничих підприємств

Для вилучення геотермальної енергії з надр запропоновано використання коаксіального геотермального свердловинного колектора “труба в трубі”





1 – масив гірських порід; 2 – металева труба; 3 – потік води, що надходить; 4 – пластикова внутрішня труба; 5 – потік води, що виходить; $T_м$, T_1, T_2 – температура, відповідно, масиву, води, що входить в колектор і виходить з нього

Для забезпечення найкращої теплопередачі з глибини масиву до свердловинного колектору запропоновано заповнювати простір між трубою колектора і породами, що вміщають, глино-графітовою сумішшю, теплопровідність якої вища, ніж теплопровідність ґрунту.

Використання суміші обмежувалось тим, що не були проведені дослідження щодо її теплопровідності.

Мета роботи полягає у науковому обґрунтуванні параметрів способу використання геотермальної енергії для інтенсифікації відновлення біологічного різноманіття деградованих територій, з одночасним очищенням стоків, на основі встановлення закономірностей теплопереносу в геотермальній системі.

Ідея роботи полягає у використанні ефекту теплообміну між породним масивом та шахтними стоками для вилучення геотермальної енергії, а також для використання її для інтенсифікації нарощування біомаси й вирішення екологічних питань техногенно-деградованих територій.

Об'єкт дослідження – процес енергообміну між водним потоком і гірничим масивом при роботі свердловинного геотермального теплообмінника.

Предмет дослідження – параметри способу відновлення біологічного різноманіття техногенно-деградованих територій.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено **наступні задачі**:

– виконати аналіз існуючих технологій відновлення біологічного різноманіття на промислових майданчиках ліквідованих шахт та у вироблених просторах кар'єрів;

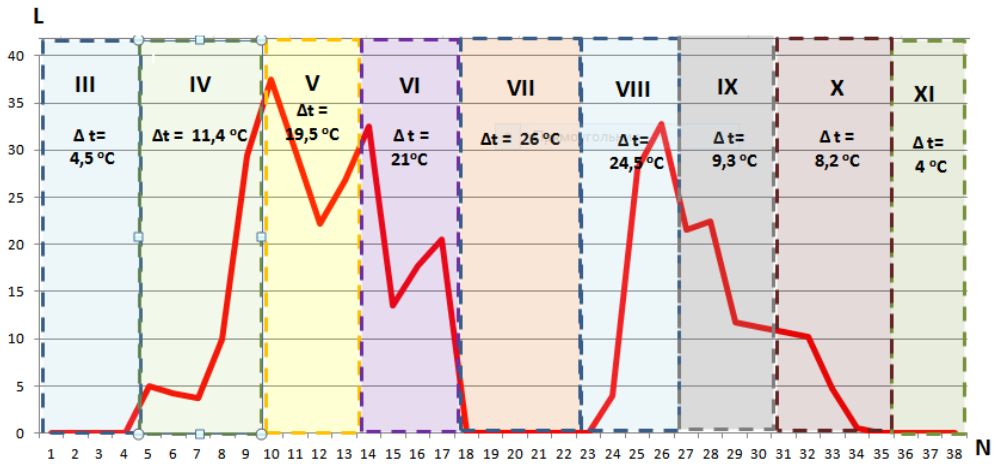
– здійснити аналітичне обґрунтування та визначити закономірності використання геотермальної енергії з надр для інтенсифікації відновлення біорізноманіття на техногенно-деградованих територіях;

– обґрунтувати параметри технологічних процесів використання геотермальної енергії для інтенсивної рекультивації деградованих територій гірничих підприємств;

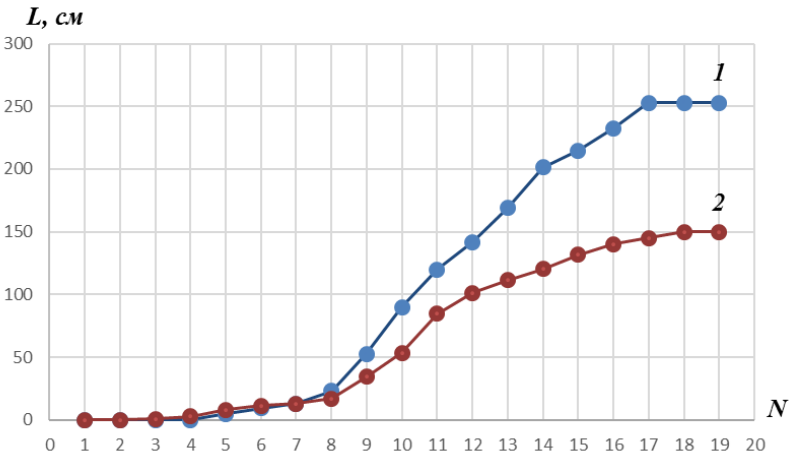
– узагальнити аналітично-експериментальні залежності стосовно ефективного використання геотермальної енергії для відновлення біологічного різноманіття на деградованих територіях гірничих підприємств;

– виконати оцінку економічної доцільності застосування способу використання геотермальної енергії для інтенсивної рекультивації деградованих територій.

Дослідження впливу температурних умов навколишнього середовища на динаміку росту очерету звичайного



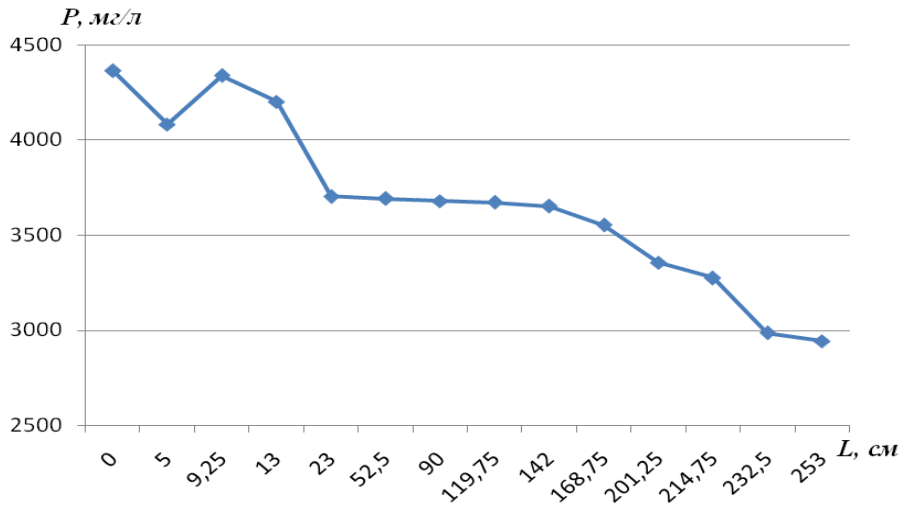
Динаміка приросту очерету звичайного:
L – приріст очерету звичайного, см/тиж.,
N – тижні спостережень,
III-XI місяці спостережень з березня по листопад,
Δt – середньомісячна температура



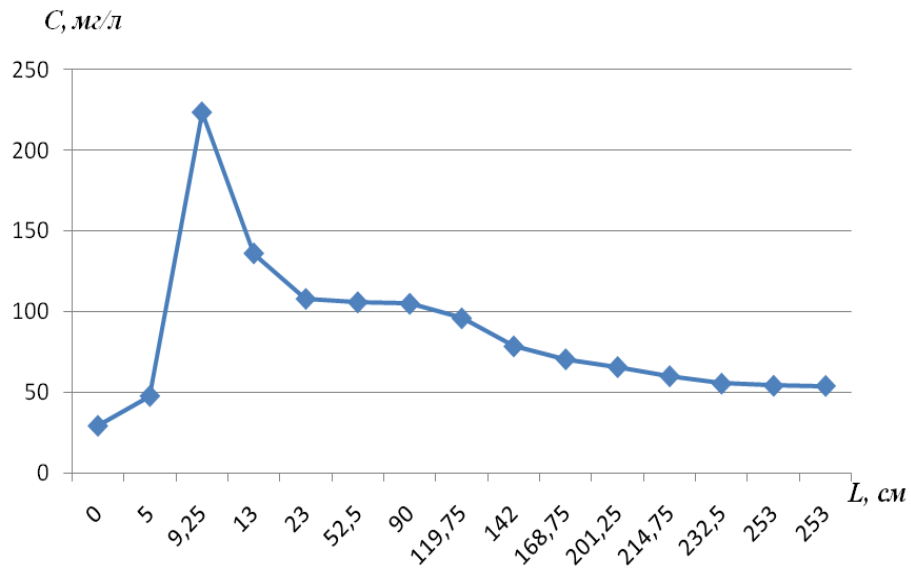
Динаміка росту стебел очерету звичайного розташованого у воді (1) і на суші (2) у 2016 році:
L – висота стебла очерету, *см*;
N – тижні спостереження.

Встановлено: щоб уникнути зниження ефективності очищення води в зимовий період, необхідно підтримання температури води в очисній споруді на рівні не нижче 10 °C…12 °C, а в літній період - до 22 °C.

Дослідження взаємозв'язку складу води та динаміки зростання біомаси очерету звичайного



Динаміка зміни солевмісту у досліджуваній експериментальній водоймі:
P – солевміст *мг/л*; *L* – висота стебла очерету звичайного, *см*.



Динаміка зміни вмісту завислих речовин у досліджуваній експериментальній водоймі:
C – вміст завислих речовин, мг/л;
L – висота стебла очерету звичайного, см.

Встановлено: **що розвиток гідробіонтів у експериментальній водоймі призвело до зниження загального солевмісту приблизно на 30%, а кількість завислих речовин зменшилося на 75% .**

Регулювання кількості біомаси очерету у водоймі дозволить знизити вміст солі у воді до вимог, що пред'являються до якості води для подальшого очищення або скидання у водні об'єкти.

Оцінка темпів приросту органічної біомаси очерету звичайного

Визначення об'єму біомаси на обліковому майданчику методом «квадратів»

Сезонний приріст сухої маси на добу:

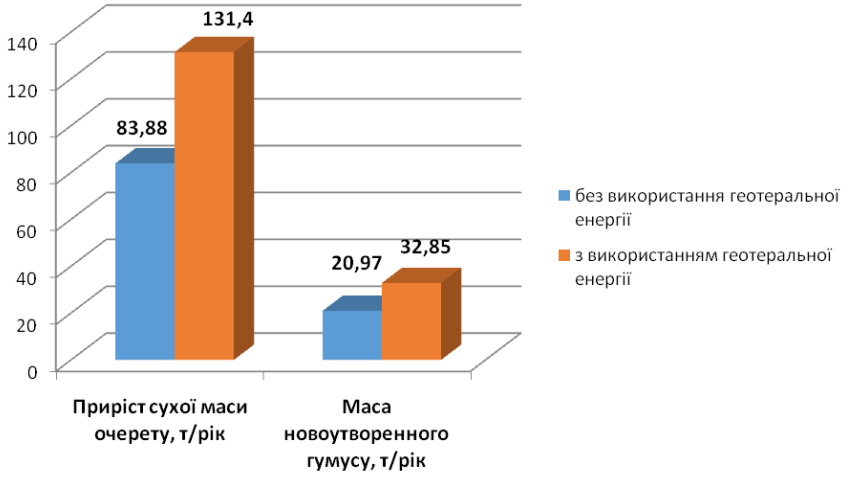
$$F = \frac{M_{сух} \cdot 2}{N}$$

$M_{сух}$ – біомаса очерету у повітряно-сухомі стані, *кг/0,5 м²*;
N – період росту експериментальних зразків очерету звичайного, днів.

Використання геотермальної енергії для управління температурним режимом води в біоочисному спорудженні, дозволить забезпечити зростання очерету протягом року.

Для загальної площі засіяної очеретом приріст сухої маси досягатиме 131,4т на рік, а маса новоутвореного гумусу становитиме 32,85т на рік ,що в 1,57 раза більше ніж без використання підземного тепла.

Теоретична оцінка накопичення родючого шару ґрунту



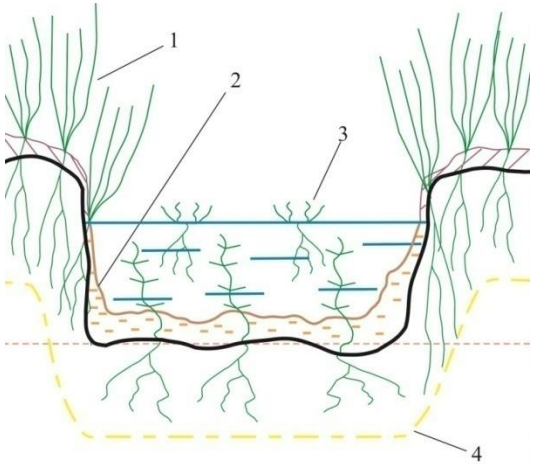
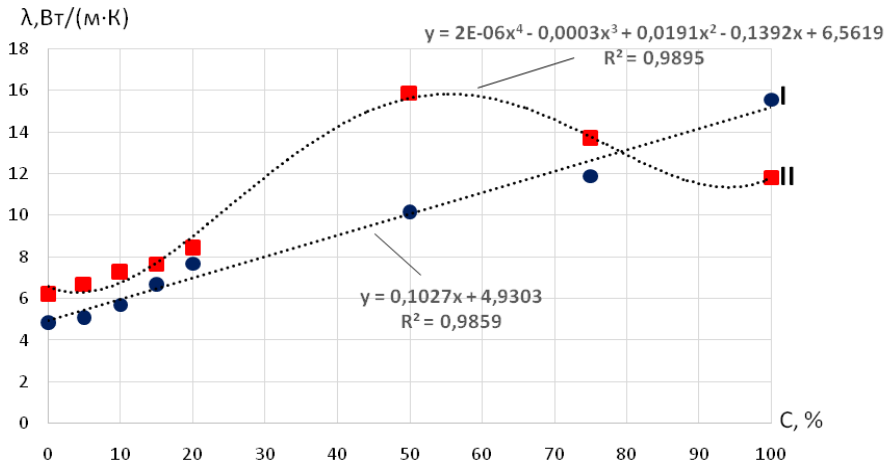


Схема формування родючого ґрунтового шару в руслі споруди
1,3 – берегові та водні рослини;
2,4 – відповідно верхня і нижня межі родючого шару.

Дослідження теплопровідних властивостей глино-графітової суміші

Зразки для дослідження та тепломір для вимірювання теплопровідних властивостей глино-графітової суміші



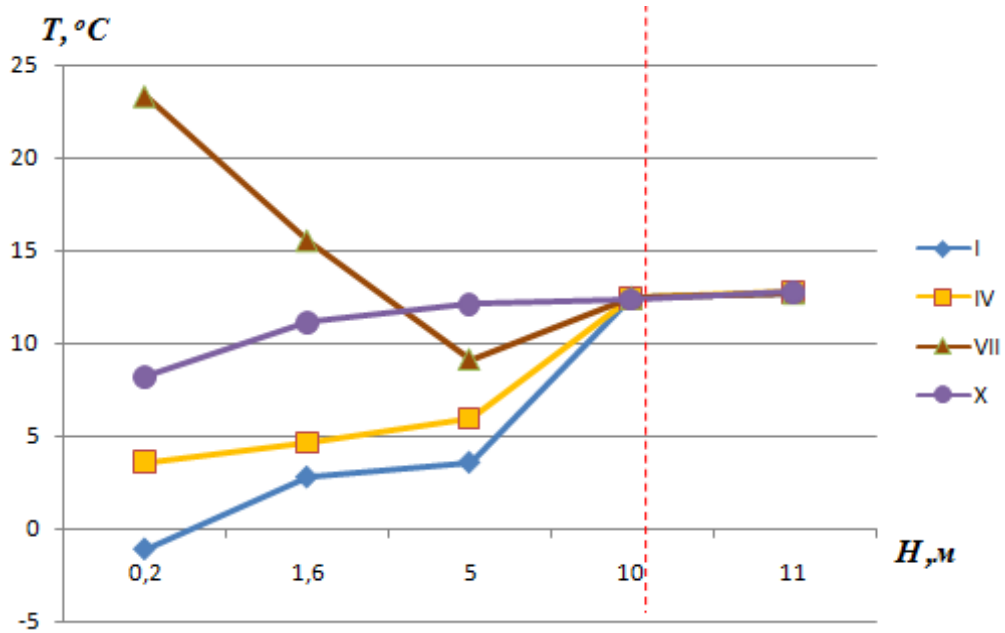
Залежність впливу вмісту графіту в глино-графітовій суміші на її коефіцієнт теплопровідності:
λ – коефіцієнт теплопровідності, *C* – зміст графіту, %,
I – сухі зразки масою 30 грамів, II – зволожені зразки масою 30 грамів

Вплив вмісту графіту на величину коефіцієнта теплопровідності сухої та зволоженої глино-графітової суміші

Зміст графіту у глино-графітовій суміші, $C_{гр}$, % вес.	Суха глино-графітова суміш		Зволожена глино-графітова суміш	
	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·С)	Збільшення коефіцієнта теплопровідності, %	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·С)	Збільшення коефіцієнта теплопровідності, %
0	4,87	0	6,18	0
5	5,1	4,72	6,7	8,4
10	5,7	17,0	7,25	17,3
15	6,69	37,4	7,66	23,9
20	7,69	57,9	8,41	36,08
50	10,17	108,83	15,89	157,12
75	11,9	144,35	13,68	103,40
100	15,57	219,71	11,83	121,36

Вперше встановлено, що при додаванні порошку графіту до 50% (мас.) відбувається збільшення коефіцієнта теплопровідності глино-графітової суміші. Він склав 10,17 *Вт/(м·°С)* та 15,89 *Вт/(м·°С)* для сухої та зволоженої суміші відповідно, що на 108,83% та 157,12% більше в порівнянні з теплопровідністю сухої бентонітової глини. Вміст графіту понад 50% у зволоженій глино-графітовій суміші призводить до зниження коефіцієнта теплопровідності через гідрофобні властивості графіту.

Аналіз температурного режиму на денній поверхні та в глибині ґрунтової товщі в умовах Донбасу



Динаміка зміни температури ґрунту на різних глибинах для умов Донбасу

T – температура ґрунту, °C, *H* – глибина, *м*,
I – січень, IV – квітень, VII – липень, X – жовтень.

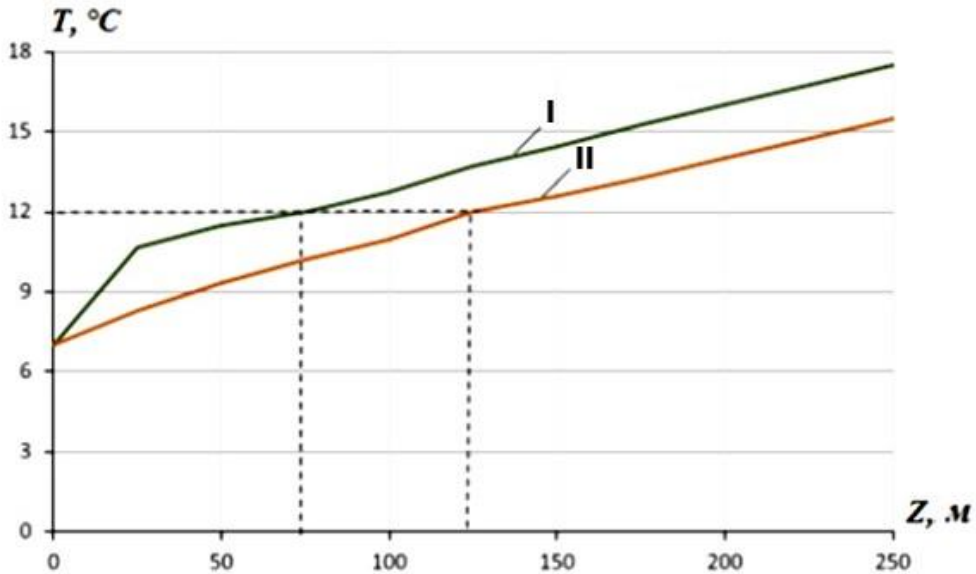
Глибина "нейтральної зони":

$$H_o = \sqrt{\frac{a \cdot 8760}{\pi}} \ln \frac{A_m}{A_m(H_o)} = 10м$$

a – коефіцієнт температуропровідності порід, *м²/ч;*
A_m – амплітуда коливань температури ґрунту, *°C;*
$A_m(H_o)$ – амплітуда коливань температури порід на глибині H_o.

Встановлено, що глибина нейтральної зони для умов Донбасу становить10 м, що визначає необхідність теплоізоляції геотермальної свердловини на глибину 5-10 м.

Тепловий розрахунок геотермального колектора



Зміна температури води по глибині свердловини

I – з використанням глино-графітової суміші;
II – без використання глино-графітової суміші;
T – температура води, °C;
Z – глибина свердловини, *м*.

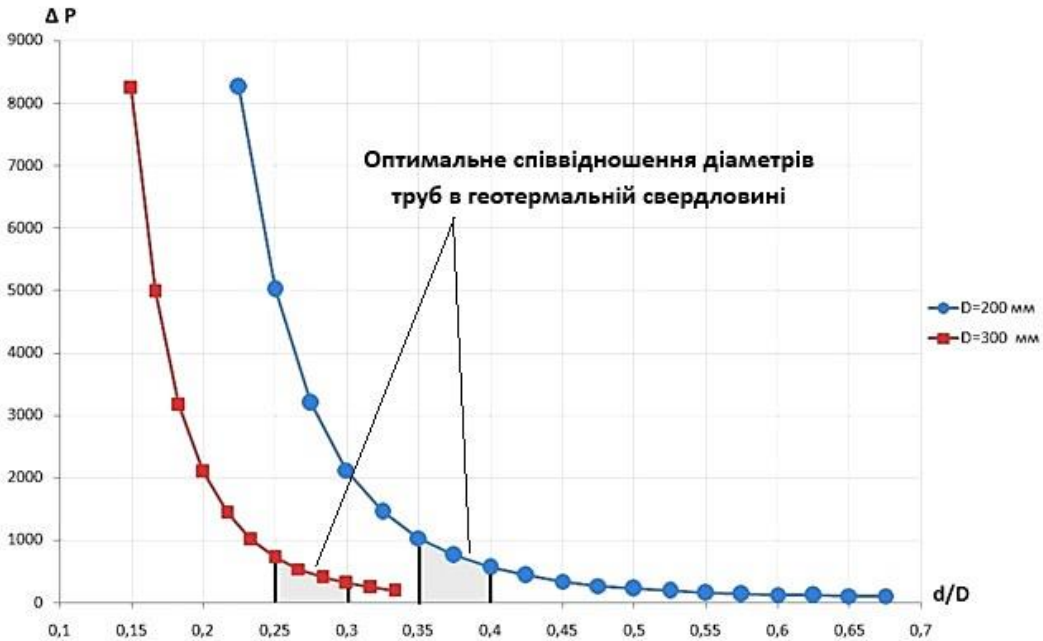
λ'=3,4 *Вт/(м·•С)* – коефіцієнт теплопровідності пісковиків та аргілітів;
k_1=43,5 *Вт/(м²•К)* – коефіцієнт теплопередачі

$\lambda_{гг}$=15,8 *Вт/(м•С)* – коефіцієнт теплопровідності суміші;
k_2=483 *Вт/(м²•К)* – коефіцієнт теплопередачі

Вперше встановлено, що використання глино-графітової суміші як заповнювача затрубного простору, з масовою часткою графіту до 50%, дозволить збільшити питому знімання тепла, а отже зменшити довжину свердловини у 1,7 раза.

z, м	0	5	50	75	100	125	150	175	200	225	250
I,°C	7	10,67	11,45	12,21	12,97	13,73	14,49	15,24	15,99	16,76	17,52
II,°C	7	8,3	9,36	10,21	10,97	11,98	12,58	13,2	13,99	14,76	15,51

Гідравлічний розрахунок геотермального колектора



Динаміка зміни втрати напору від співвідношення діаметра внутрішньої та зовнішньої труби

ΔP– втрати напору, *Па;*

d/D – співвідношення діаметрів внутрішньої та зовнішньої труби.

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n} h^{MC} + h_{1-2}^{TP} + h_{3-4}^{TP}$$

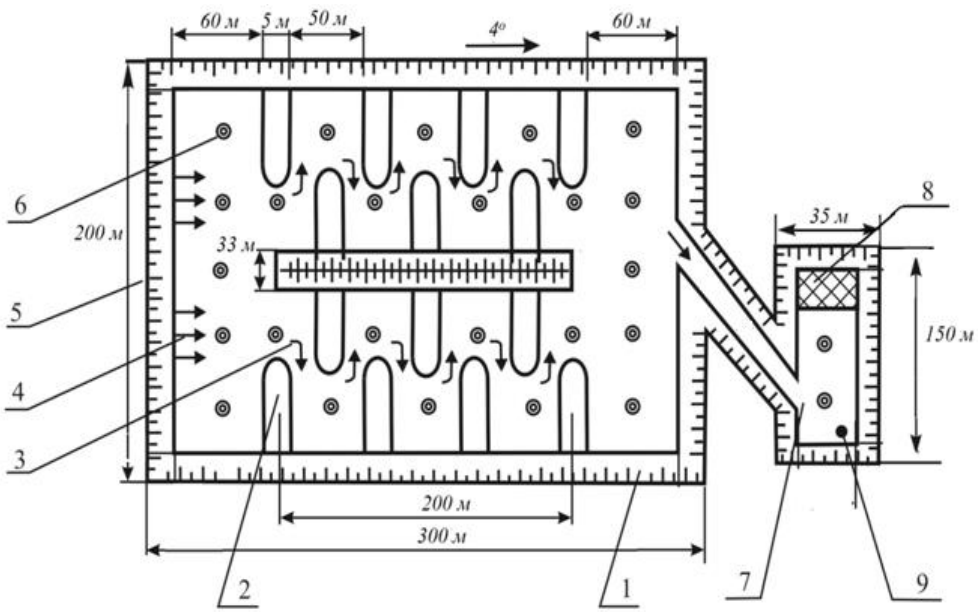
$\sum_{i=1}^{n} h^{MC}$ – сума втрат на місцеві опори, що обумовлені поворотом потоку при вході й виході з теплообмінника, а також поворотом на 180° при вході з кільцевого каналу у внутрішню трубу;

h_{1-2}^{TP} – втрати на тертя по довжині кільцевого каналу;

h_{3-4}^{TP} – втрати на тертя по довжині внутрішньої труби;

Встановлено, що при витраті води не більше 400 м³/добу діаметр внутрішньої труби свердловинного теплообмінника повинен бути рівним 0,35…0,5 діаметра зовнішньої труби

Конструкція біологічної споруди для очищення води кар'єра з використанням геотермальної енергії

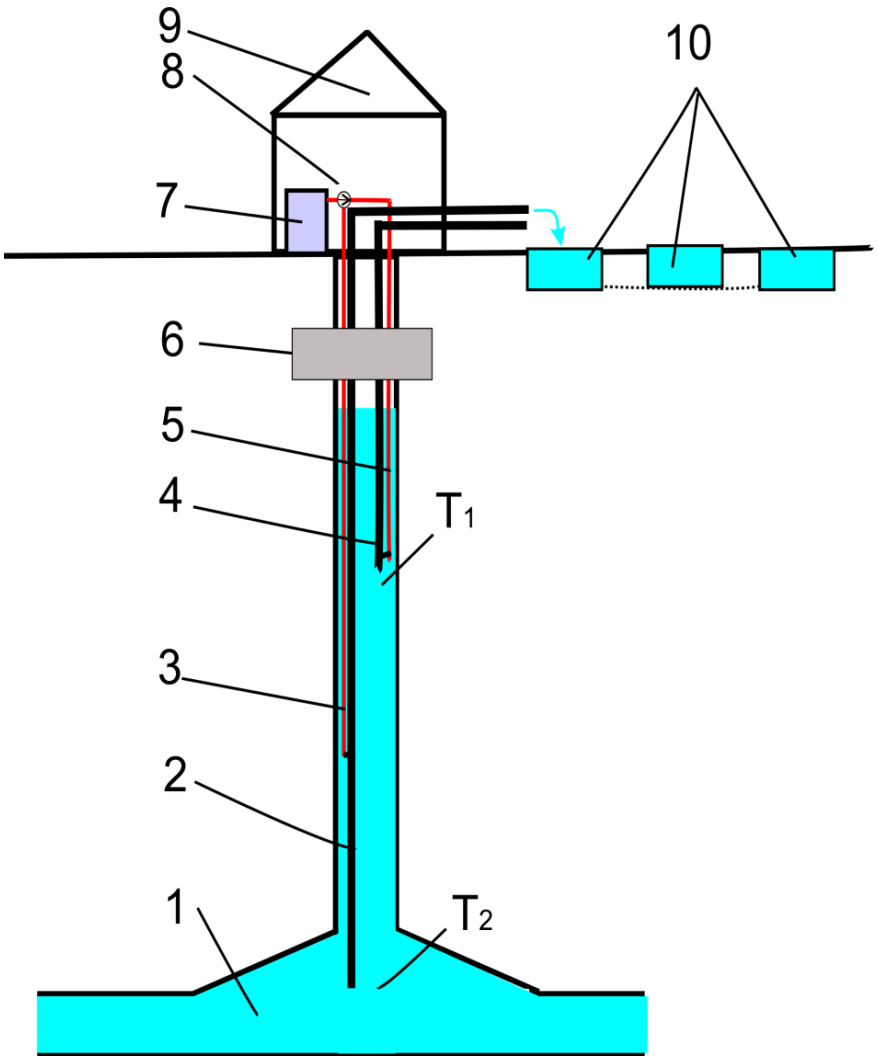


1 – борт кар'єру;
2 – допоміжні дамби;
3 – русло;
4 – водопритік;
5 – основна дамба;
6 – вертикальний свердловинний колектор «труба в трубі»;
7 – водозбірник;
8 – вищі водні рослини;
9 – насос.

Параметри очисної споруди

Площа біоплато	$м^2$	60000
Площа вищих водних рослин	$м^2$	18000
Кут нахилу дна очисної споруди	град	4
Параметри геотермальних свердловин: - кількість	шт.	26
- довжина зовнішньої металевої труби (сталь 4Х13, нержавіюча)	м	76
- діаметр зовнішньої металевої труби	м	0,1
- довжина внутрішньої труби зі спіненого пластику	м	75
- діаметр внутрішньої труби	м	0,05
Товщина шару теплопровідної суміші на ділянці 10-76 м	мм	0,01
Товщина шару теплоізоляції (піноскло) на ділянці 1-10 м	мм	0,02
Параметри основної дамби (Д*Ш*Г)	м	200*33*1
Кількість допоміжних дамб	шт.	14
Параметри основної дамби (Д*Ш*Г)	м	50*5*1

Конструкція фітокомплексу біоплато з ерліфтом для очищення шахтних вод



1 – гірничі виробки нижнього горизонту шахтного стовбура;
2,4 – стволи ерліфту що мають вхідні отвори, відповідно, нижній та верхній;
3,5 - колектори стиснутого повітря відповідних стволів ерліфту;
6 – перемичка що перекриває шахтний стовбур;
7 – компресор;
8 – перемикач для подавання стиснутого повітря до одного зі стволів;
9 – надшахтна споруда;
10 – канали біоплато;
T_1, T_2 – температура води в шахтному стовбурі, відповідно, на глибині 100…120 м і на глибині нижнього горизонту шахтного стовбура.

Умови застосування способу прискоренного відновлення техногенно-деградованих територій

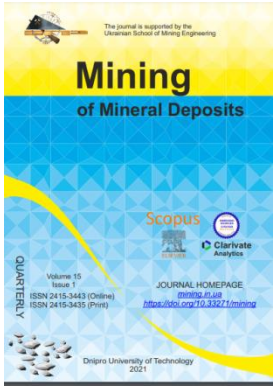
Критерій	Шахта	Кар'єр
Умови застосування	- промислові майданчики ліквідованих шахт - шахти, що знаходяться на стадії реструктуризації та ліквідації; - діючі шахти	- відпрацьовані простори ліквідованих кар'єрів; - відпрацьована частина діючого кар'єру
Глибина	120-1000 м	до 50 м
Тріщинуватість порід	обмежень по тріщинуватості порід немає	
Гірські породи	алевроліти, аргіліти, пісковики	
Теплопровідність	1,32-2,9 Вт/(м К)	
Проникність	середня та висока	
Конструктивні параметри	- вертикальні і похилі стовбури шахт які підлягають ліквідації; - наявність водоносних горизонтів	обводнені кар'єри
Технологічні параметри	- глибина розміщення першого ствола ерліфта – 100-120 м; - умова розміщення другого ствола ерліфта – рівень нижнього затоплення горизонту шахтного стовбура;	- глибини свердловини – 76 м; - довжина внутрішньої труби 75 м; - глибина теплоізоляції (піноскло) – 10 м; - товщина теплоізоляції – 0,02 м; - товщина теплопровідної суміші – не менше 10% від діаметру зовнішньої труби;

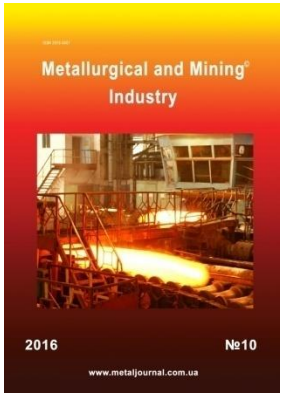
Публікація та реалізація результатів досліджень роботи

За результатами роботи опубліковано **28** наукових праць, серед яких: **1** стаття у журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та Web of Science; **1** стаття у закордонному журналі; **3** статті у фахових виданнях з переліку МОН України; **1** стаття у інших виданнях України; **17** статей та тез доповідей у матеріалах закордонних та вітчизняних конференцій; **1** патент на винахід; **4** патенти на корисну модель.

За напрямом представленою наукової роботи захищена дисертація на здобуття ступеня доктора філософії.

h-індекс роботи за наукометричними базами даних: Scopus – **1**, Web of Science – **1** Google Scholar – **2**.





Реалізація результатів роботи. Розроблені рекомендації які прийняті до дослідно-промислового використання при очищенні шахтних вод, а також включені до проєкту реструктуризації підприємства ВП «Шахта «5/6» ДП Мирноградвугілля».

Наукові та практичні результати роботи використані у навчальному процесі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет».

Наукова новизна отриманих результатів:

- Вперше встановлено закономірність, що полягає в збільшенні не менше ніж у 10 разів коефіцієнта теплопередачі у свердловинному теплообміннику за рахунок додавання шару речовини, що має підвищений коефіцієнт теплопровідності, завтовшки не менш ніж 10% від діаметра зовнішньої труби.
- Вперше встановлено, що при додаванні порошку графіту до 50% (мас.) відбувається збільшення коефіцієнта теплопровідності глино-графітової суміші. Він склав 10,17 *Вт/(м·°С)* та 15,89 *Вт/(м·°С)* для сухої та зволоженої суміші відповідно, що на 108,83% та 157,12% більше в порівнянні з теплопровідністю сухої бентонітової глини. Вміст графіту понад 50% у зволоженій глино-графітовій суміші призводить до зниження коефіцієнта теплопровідності через гідрофобні властивості графіту.
- Вперше визначено прийнятний діапазон температури води – +12...+22°С, який необхідно підтримувати в біоочисному спорудженні, що дозволить забезпечити ефективний цілорічний приріст біомаси, а, отже, буде сприяти інтенсивному нарощуванню родючого шару на техногенно-порушених територіях. При цьому накопичення родючого шару відбувається в 1,57 раза швидше ніж без використання підземного тепла. При температурі води вище +26°С та нижче +5°С ріст біомаси в біоочисному спорудженні припиняється.
- Вперше встановлено, що забезпечення температури в біоочисному спорудженні в діапазоні +12...+22°С є умовою ефективного використання геотермальної енергії, при витраті води не більше 400 м^3/добу діаметр внутрішньої труби свердловинного теплообмінника повинен бути рівним 0,35…0,5 діаметра зовнішньої труби, при цьому, глибина свердловини складає не менш 130 м, однак при використанні, в якості заповнювача затрубного простору, глино-графітову суміш, з містом графіту до 50%, глибина свердловини може бути знижена в 1,7 раза.

.

Практичне значення роботи:

- обґрунтовано параметри способу використання геотермальної енергії для інтенсивної рекультивації деградованих територій гірничих підприємств;
- удосконалено, стосовно до дренажного водовідведення ліквідованих «мокрим» способом шахт, схеми ерліфтного водовідливу, що дозволяє регулювати температуру відкачуваної води змінюючи глибину її відбору з шахтного стовбура та практично забезпечити цілорічну роботу біоплато;
- розроблено рекомендації щодо поліпшення теплоз'єму в системі “породний масив – водне середовище” у біоочисному спорудженні шляхом заповнення затрубного простору глино-графітовою сумішшю з масовою часткою графіту до 50%, що дозволить зменшити довжину свердловини в 1,7 раза.