



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **157523** (13) **U**
(51) МПК (2024.01)
E21F 1/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

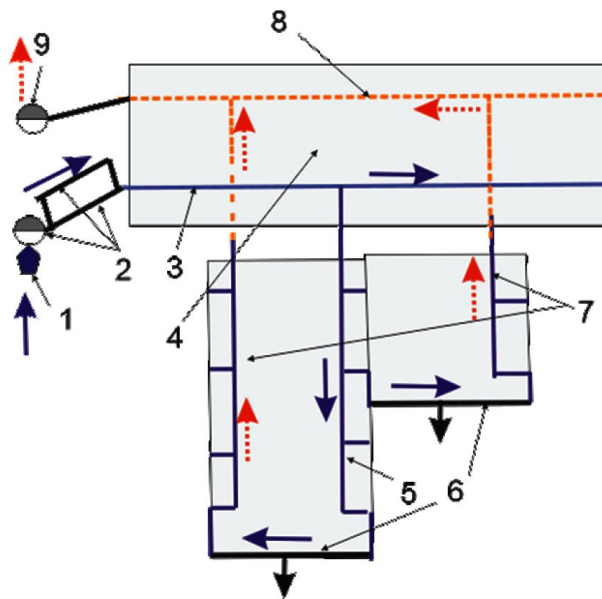
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2023 05959	(72) Винахідник(и): Костенко Віктор Климентович (UA), Ляшок Ярослав Олександрович (UA), Богомаз Ольга Петрівна (UA), Кутняшенко Олексій Ігорович (UA), Таврель Марина Ігорівна (UA), Костенко Тетяна Вікторівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 08.12.2023	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 31.10.2024	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 30.10.2024, Бюл.№ 44	(73) Володілець (володільці): ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ", вул. Потебні, 56, м. Луцьк, Волинська обл., 43003 (UA)

(54) СИСТЕМА КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ГЛИБИННИХ ВИБОЇВ ШАХТ

(57) Реферат:

Система кондиціювання повітря для глибинних вибоїв шахт містить холодильну установку, яку розміщено на поверхні землі та шляхи транспортування холодоагенту до підземних елементів системи кондиціювання повітря. Холодоагентом є повітря. Гірничі виробки є шляхами транспортування холодоагенту. Геотермальний тепловий акумулятор, що містить стовбур та квершлаг, штреки і ходки є підземними елементами системи кондиціювання повітря, які розміщено у дегазованих та охолоджених породах безпосередніх покрівлі та підшви відпрацьованого пласта.



Фіг. 1

UA 157523 U

Корисна модель належить до гірництва, а саме до систем забезпечення комфортним повітрям для роботи гірників на глибоких горизонтах до 3 км і більше, де температура гірського середовища перевищує допустимий для робочих місць рівень. На глибоких горизонтах шахт температура гірського масиву сягає небезпечних для гірників рівнів, більше 300 K, що призводить до перегріву організмів гірників та теплових травм типу теплового удару, запаморочення тощо, тому обов'язково провадять кондиціонування повітря на робочих місцях. Охолодження повітря здійснюють шляхом теплообміну його з рідким або газоподібним холодоагентом.

Відома система кондиціонування повітря в підземних гірничих виробках з використанням підземної охолодженої мінералізованої води [Jayaraman Sridharan, Srivatsan & Pandey, Aditya. (2019). Current Developments in Mine Air Cooling Systems: Case Study of an Indian Coal Mine Using Different Cooling Strategies. Conference: Recent Advances in Mining Technology (RAMT), 2019At: Bengaluru. India https://www.researchgate.net/publication/337621783_Current_Developments_in_MineAir_Cooling_Systems_Case_Study_of_an_Indian_CoalMine_Using_Different_Cooling_Strategies]. Основним компонентом системи є додаткове джерело охолодження з підземної охолодженої мінералізованої води, яке забезпечує безперервну охолоджувальну потужність для холодильної установки та системи кондиціонування повітря. Процес вилучення холоду з шахтної води: водяний насос використовується для перекачування низькотемпературної води з під землі, системи фільтрації використовуються для очищення корозійної води, яка переміщується від джерела до охолоджувальної станції.

Холодильна система охолодження води складається з конденсатора, дросельної заслінки, випарника та компресора. Принцип охолодження заснований на зворотному циклі Карно і ендотермічному охолодженні випаровування. Детальний процес циркуляційної системи виглядає наступним чином: холодоагент конденсується в рідкий стан за допомогою холодної шахтної води, видобутої з підземного резервуара для зберігання. Потім у випарник надходить рідкий холодоагент, тиск і температура якого знижуються дросельним пристроєм. Випарник поглинає тепло від високотемпературної робочої поверхні шахти, і вода випаровується. Під час цього процесу рідкий холодоагент випаровується з високотемпературної підпорної води на робочій поверхні та вивільняє енергію холоду. Холодоагент стискається, що призводить до високої температури та високого тиску парів холодоагенту. Нарешті паровий холодоагент зріджується низькотемпературною шахтною водою в конденсаторі. Як джерело охолодження свердловинної системи охолодження використовується резервуар для зберігання води на верхньому горизонті, а потім холодна вода перекачується до теплообмінної станції.

Теплообмінні системи встановлені для попереднього очищення сильно забрудненої та високо мінералізованої вхідної води, вилучення з води холодної енергії для відправлення в холодильну установку. У горизонтальних вентиляційних виробках охолоджуючі чиллери встановлюються для подальшого охолодження води, яка подається в повітроохолоджувач. Повітроохолоджувач охолоджує повітря за допомогою охолодженої води, щоб потік з низькою температурою надходив до вибоїв та охолоджував робочу поверхню вибою.

Недоліками відомої системи є:

- обмежена область використання, яка визначається відсутністю обов'язкових джерел низькотемпературної підземної води на багатьох родовищах;
- багатоелементність і складність відомої системи кондиціонування повітря, що потребує значних капітальних витрат на спорудження;
- значна втрата холоду на шляху транспортування холодоагенту до вибоїв, при чому ступінь втрат збільшується з поглибленням гірничих робіт.

Найбільш близьким аналогом корисної моделі за технічною суттю є спосіб використання вільного охолодження в холодильних системах для кондиціонування повітря підземних виробок [Free-cooling in central air-conditioning systems of underground mines /górnictwo i geologia /Nikodem SZLAZAK. Dariusz OBRACAJ, Marek BOROWSKI / Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii / 2009 Tom 4, Zeszyt 3, S. 123-131].

Використання сприятливих атмосферних умов для процесу охолодження називається вільним охолодженням, оскільки витрати на процес охолодження з використанням цього типу установки порівняно з процесом охолодження з використанням холодильного циклу досить незначні. Центральне кондиціонування повітря в шахтах з охолоджувальними установками на поверхні та транспортуванням теплоізолюваними трубопроводами енергії охолодження до теплообмінників під землею. Системи базуються на компресорних або абсорбційних чиллерах, додатково оснащені теплообмінниками вільного охолодження.

Енергозбереження в таких системах пов'язане з повним виключенням циркуляції холодоагенту в охолоджувальних установках на поверхні, і виробництві крижаної води за

допомогою пристроїв вільного охолодження. Ці пристрої використовують вільне охолодження для виробництва крижаної води, яку трубопроводами подають до теплообмінників під землею.

Коли температура зовнішнього повітря нижча за температуру води, що повертається з-під землі, теоретично доцільно використовувати вільне джерело холоду, яким є атмосферне повітря. Коли температура зовнішнього повітря знижується, холодопродуктивність у циклі теплообмінника при вільному охолодженні зростатиме. І зростатиме, доки не буде отримано 100% крижаної води, використовуючи лише температуру зовнішнього повітря. У цей момент холодильна установка буде зупинена. Економічна ефективність використання вільного охолодження залежить від зовнішньої температури. Найчастіше система вільного охолодження починає працювати, коли температура навколишнього середовища на 1,0 K нижча за припущену. Таким чином вода проходить спочатку через пристрої вільного охолодження, де вона спочатку охолоджується, а потім, якщо необхідно, транспортується до випарника холодильної установки і далі до підземних елементів системи кондиціонування повітря.

Загальними істотними ознаками відомої системи та тієї, що заявляється, є холодильна установка, яка розміщена на поверхні землі, та шляхи транспортування холодоагенту до підземних елементів системи кондиціонування повітря.

Недоліками відомої системи є: обмежена тривалість ефективної роботи пристроїв вільного охолодження, яка залежить від природних кліматичних умов на поверхні та зростання втрати холоду на шляхах транспортування холодоагенту до підземних елементів системи кондиціонування повітря з поглибленням гірничих робіт та збільшенням температури гірського масиву, що потребує більшої кількості циркулюючої охолоджувальної води.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалити відоме технічне рішення для зниження втрат холоду при транспортуванні холодоагенту від холодильних установок до підземних елементів системи кондиціонування повітря та зменшення залежності її ефективної роботи від кліматичних умов на поверхні.

Поставлена задача вирішується тим, що в системі кондиціонування повітря для глибинних вибоїв шахт, що містить холодильну установку, яку розміщено на поверхні землі та шляхи транспортування холодоагенту до підземних елементів системи кондиціонування повітря, згідно з корисною моделлю, холодоагентом є повітря, гірничі виробки є шляхами транспортування холодоагенту, геотермальний тепловий акумулятор, що містить стовбур та квершлаги, штреки і ходки є підземними елементами системи кондиціонування повітря, які розміщено у дегазованих та охолоджених породах безпосередніх покрівлі та підшви відпрацьованого пласта.

Вказані ознаки складають суть корисної моделі, тому що вони є необхідними і достатніми для досягнення технічного результату - зниження втрат холоду при транспортуванні холодоагенту від холодильних установок до підземних елементів системи кондиціонування повітря та зменшення залежності її ефективної роботи від кліматичних умов на поверхні.

Використання як холодоагенту повітря, яке надходить до підземних елементів системи кондиціонування і в подальшому безпосередньо рухається до вибоїв, дозволяє скоротити втрати енергії в процесі передавання теплоти в теплообмінниках типів "повітря - вода" і "вода - повітря". Використання гірничих виробок як шляхів транспортування холодоагенту від холодильних установок до підземних елементів системи кондиціонування спрощує конструкцію системи кондиціонування повітря, внаслідок відсутності теплоізованих трубопроводів. Частина шляху, що містить стовбур та прилеглі до нього квершлаги служать геотермальним тепловим акумулятором, вони охолоджують повітря, що рухається ними в теплу пору року, та накопичують холод у зимовий період. У такий спосіб вдається нівелювати коливання температури на поверхні, більш раціонально використати період низьких температур на поверхні та збільшити ефективність вільного охолодження. Важливим є подавання повітря гірничими виробками, що розташовані в охолоджених та дегазованих породах безпосередніх покрівлі та підшви відпрацьованого пласта. У процесі виїмки пласту відбувається охолодження порід, оточуючих очисну виробку, від температури гірського масиву на даній глибині до рівня близького до температури повітря в неї. На глибині 1000 м у Донбасі температура масиву сягає 308 - 315 K, а на глибині 3000 м – 350 - 360 K і більше, а допустима температура повітря у виробках - 290 - 300 K. Крім того, відбувається часткове розвантаження цих порід від гірського тиску, а також дегазація від стисненого метану, який містився в порах, сорбованого на поверхнях тріщин та пор, вилученого зі складу таких, що деформовані, макромолекул вуглеводнів. Процеси розвантаження та дегазації визначають зменшення теплоємності порід, погіршення теплопровідності, тобто покращення теплоізоляційних властивостей таких виробок. Це сприяє транспортуванню повітря такими виробками без істотного нагрівання.

Указані ознаки складають суть корисної моделі, тому що вони є необхідними і достатніми для досягнення технічного результату - зниження втрат холоду при транспортуванні

холодоагенту від холодильних установок до підземних елементів системи кондиціонування повітря та зменшення залежності її ефективної роботи від кліматичних умов на поверхні.

Причинно-наслідковий зв'язок ознак, які складають суть корисної моделі, з технічним результатом, який досягається, пояснюється наступним. На глибоких шахтах обладнують 5 холодильні установки на поверхні для забезпечення гірників охолодженим повітрям. Свіже повітря від установок подають до шахти через стовбур, далі виробками шахтного двору до магістральних виробок горизонту. Залежно від температури повітря, воно або нагріває стінки стовбуру і виробок, або охолоджує їх. При низькій температурі повітря, менше 290 К, відкривають усі вентиляційні споруди (двері, шлюзи тощо), забезпечуючи максимальний відбір і 10 накопичення холоду в породах, що вміщують виробки. Холодильна установка на поверхні в такий період може не працювати, заощаджуючи енергетичні і фінансові ресурси шахти. У ту пору року, коли температура повітря стає вище встановленої у гірничих виробках, більше 290 К, акумуляцію холоду припиняють, повітря від холодильної установки спрямовують через частину виробок-накопичувачів, поступово витрачаючи накопичену енергію. Переводячи струмінь 15 повітря в наступні охолоджені дільниці акумулятора збільшують тривалість його ефективної роботи.

Транспортування повітря від стволу до підземних вибоїв, які знаходяться на відстані кількох кілометрів, здійснюють гірничими виробками, що проведені в гірському масиві, який має на 20 глибоких горизонтах високу температуру. При транспортуванні газоподібного або рідкого холодоагенту, відбувається нагрівання холодоагенту та зниження ефекту охолодження. Це, на жаль, притаманне більшості систем шахтного кондиціонування. Для зниження негативного впливу високої температури порід на холодоагент, запропоновано магістральні виробки розташовувати в породах, що знаходяться в охолоджених та дегазованих породах безпосередніх покрівлі та підшви завчасно відпрацьованого пласта. У процесі попередньої 25 виїмки пласту відбувається охолодження оточуючих очисну виробку порід від температури гірського масиву на даній глибині до рівня близького до температури повітря в ній. На глибині 1000 м у Донбасі температура масиву сягає 308 - 315 К, а на глибині 3000 м – 350 - 360 К і більше, в той час як допустима температура повітря у виробках – 290 - 300 К. Крім того, в процесі розвантаження та дегазації порід відбувається суттєве зменшення теплоємності порід, 30 погіршення їх теплопровідності, тобто покращення теплоізоляційних властивостей таких виробок. Це сприяє значному обмеженню теплообміну між стінками та порожнечами у виробках. Таким чином, транспортування холодоагенту, розташованими в охолоджених породах, виробками відбувається без істотного нагрівання. Доставлене до виїмкових або прохідницьких дільниць повітря може бути безпосередньо подано до вибоїв, або додатково охолоджено з 35 викидом коротким маршрутом надлишку тепла до вентиляційних виробок.

Таким чином, забезпечується досягнення поставленої задачі - зниження втрат холоду при транспортуванні холодоагенту від холодильних установок до підземних елементів системи кондиціонування повітря та зменшення залежності її ефективної роботи від кліматичних умов на 40 поверхні.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, на яких зображено:

фiг. 1 - система кондиціонування повітря глибинних вибоїв шахт, де 1 – холодильна установка; 2 - геотермальний акумулятор (стовбур і квершлаг); 3 - магістральний штрек для подавання повітря; 4 - вироблений простір корінної лави; 5 - ходок, яким подають повітря до вибоїв; 6 - очисні вибої; 7 - вентиляційні ходки; 8 - магістральний вентиляційний штрек; 45 9 - вентиляційний стовбур; стрілки - рух повітря (суцільні - охолодженого повітря, пунктирні - теплого повітря);

фiг. 2 - схема утворення області дегазованих та охолоджених порід, де 10 – пласт вугілля; 11 - підготовчі виробки; 12 - склепіння повних зрушень порід покрівлі пласту; 13 - завислі породи; 14 - область розвантажених, дегазованих та охолоджених порід; Н – глибина від 50 поверхні; h - висота склепіння, L - протяжність очисного вибою;

фiг. 3 - залежність співвідношення ентальпії порід у неторканому E_m та розвантаженому, дегазованому і охолодженому E_{mo} гірських масивах від глибини Н, м розробки вугільного пласту, R^2 - коефіцієнт тісноти зв'язку наведені на графіку, де $E_m/E_{mo}=0,0073H-2,32$; $R^2=0,09591$.

Систему кондиціонування повітря глибинних вибоїв шахт реалізовано наступним чином.

55 Подавання повітря від наземної холодильної установки 1 (для спрощення на схемі не показана) здійснювали, використовуючи стовбур та квершлаг як геотермальний акумулятор 2. При температурі повітря на поверхні менше 290 К забезпечували шлях руху всіма виробками акумулятора, для цього відкривали всі вентиляційні двері та шлюзи. Це давало максимальне депонування холоду в породах, що вміщують виробки. Холодильна установка на поверхні в цей 60 період була зупинена. Магістральний штрек 3 і розташований у виробленому просторі корінної

лави 4, що має значну протяжність, також виконував функцію акумулятора. Коли температура повітря ставала вище 290 К, акумуляцію холоду припиняють, вентиляційні споруди перекривають, повітря від установки спрямовують через частину виробок-накопичувачів, поступово витрачаючи накопичену енергію. Переводячи послідовно струмінь повітря в наступні охолоджені ділянки акумулятора збільшують тривалість його ефективної роботи. Поступово вводять до дії холодильну установку на поверхні. З виробленого простору корінної лави 4 повітря надходить до ходка 5, яким подається до очисних вибоїв 6. Пересувні підземні елементи системи кондиціонування повітря (на схемі не вказані) встановлено у ходку 5, де виконують кондиціонування повітря в лаві та охолодження обладнання. Відбувається теплообмін між повітрям та гарячими породами і обладнанням. У результаті нагріву повітря відбувається охолодження порід, що оточують очисну виробку. Теплова енергія у вигляді нагрітого повітря вентиляційними ходками 7 і магістральним вентиляційним штреком 8 надходить до вентиляційного стовбуру 9 і виноситься на поверхню. Магістральний штрек 3 та ходок 5 були розташовані у дегазованих та охолоджених породах, які утворились після виїмки вугільного пласту 10. Пласт був виїнятий на глибині від поверхні Н, підготовчої виробки 11 протяжність очисного вибою L. Позаду очисного вибою відбулось зрушення порід покрівлі та утворило склепіння 12 повністю зрушених порід висотою h. Решта завислі породи 13 гірського масиву, що зависли над склепінням повних зрушень порід покрівлі пласту 12. У результаті зрушення та розтріскування відбулось розвантаження порід у безпосередніх покрівлі та підшві пласту, їх дегазація, що призвело до суттєвого зменшення теплоємності порід, погіршення їх теплопровідності, тобто покращення теплоізоляційних властивостей таких порід. Крім того, під впливом охолодженого повітря понизилась температура порідної області 14. У межах області розвантажених, дегазованих та охолоджених порід 14, доцільно розташовувати виробки для подавання охолодженого повітря до очисних та підготовчих вибоїв.

Наведені дані підтверджені розрахунками, проведеними на основі положень класичної термодинаміки. Враховуючи притаманні Донецькому кам'яновугільному басейну геологічні та технологічні умови було проведено оцінку співвідношення ентальпій породи в неторканому E_m та підробленому E_{m0} гірничих масивах. Розрахунки виконано для діапазону глибин 1000 - 3000 м, висоти склепіння повних зрушень - $h=200$ м; модуля пружності породи $E_0=10 \cdot 10^9$ Па; коефіцієнту поперечної деформації $\mu_0=0,3$; показника пористості $k_{пo}=2,0\%$; теплоємності $c_0=0,8 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К); температури свіжого повітря $T_в=295$ К, а температур породного масиву - пропорційно глибині, від 310 до 365 К. Результати порівняння наведено в Таблиці.

Таблиця

Вплив глибини на зміну відносної ентальпії неторканого та розвантаженого й охолодженого гірського масиву

Глибина Н, м	$E_m/\rho V$, Дж/кг	$E_{m0}/\rho V$, Дж/кг
1000	1250,976	237,960
1500	1954,308	237,911
2000	2740,776	237,960
2500	4268,100	237,960
3000	4424,242	237,940

Як видно з наведених у Таблиці даних збільшення глибини розробки родовища призводить до зростання ентальпії порідного масиву, в якому провадяться гірничі роботи. При поглибленні вибоїв з 1 км до 3 км показник відносної ентальпії у неторканому масиві $E_m/\rho V$, Дж/кг зростає більш ніж у 3,5 разів як під впливом гірничого тиску, так з побільшенням температури порідного масиву.

Навпаки, у наслідок розвантаження, дегазації та охолодження масиву рівень відносної ентальпії у відпрацьованому просторі $E_{m0}/\rho V$, Дж/кг залишається практично незмінним по всьому діапазону глибин від 1 км до 3 км.

Застосування системи кондиціонування повітря для глибинних вибоїв шахт, де використовують холодильну установку на поверхні, як холодоагент використовують повітря, шляхи транспортування холодоагенту до підземних елементів системи кондиціонування повітря розміщують у дегазованих та охолоджених породах безпосередніх покрівлі та підшви відпрацьованого пласту, а використання геотермального теплового акумулятора, що містить стовбур та квершлагаи, забезпечує зниження втрат холоду при транспортуванні холодоагенту від

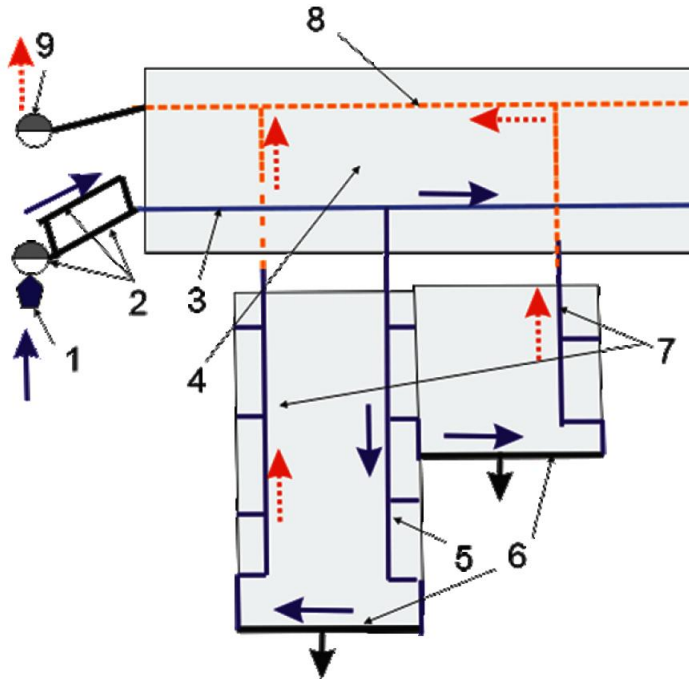
холодильних установок до підземних елементів системи кондиціювання повітря та зменшення залежності її ефективної роботи від кліматичних умов на поверхні.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

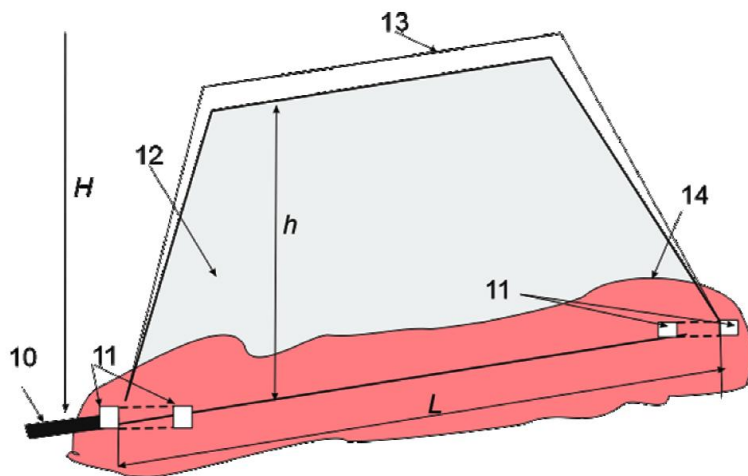
5

Система кондиціювання повітря для глибинних вибоїв шахт, що містить холодильну установку, яку розміщено на поверхні землі та шляхи транспортування холодоагенту до підземних елементів системи кондиціювання повітря, яка **відрізняється** тим, що холодоагентом є повітря, гірничі виробки є шляхами транспортування холодоагенту, геотермальний тепловий акумулятор, що містить стовбур та квершлагги, штреки і ходки є підземними елементами системи кондиціювання повітря, які розміщено у дегазованих та охолоджених породах безпосередніх покрівлі та підшви відпрацьованого пласта.

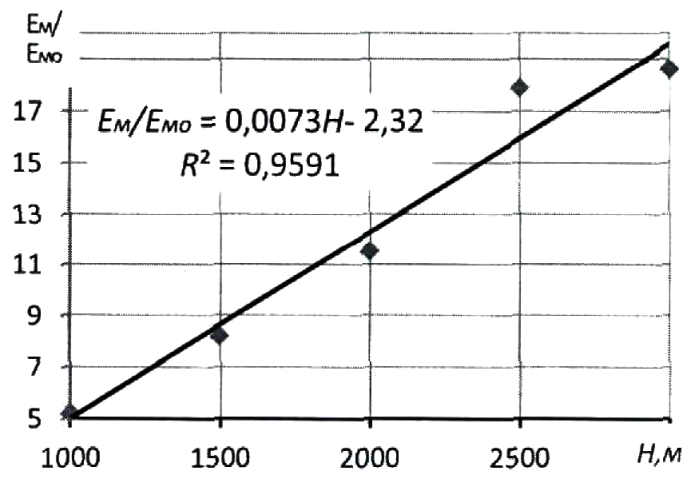
10



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3