

*М.М. Табаченко, канд. техн. наук, Є.В. Тимошенко, В.Г. Лозинський
(Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ "Національний гірничий університет")*

ГЕОТЕРМАЛЬНІ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГОНОСІЇВ

Тепло Землі – єдиний енергоресурс, раціональне освоєння якого дозволяє здешевити корисну енергію порівняно із сучасною паливною енергетикою [1].

Геотермальні ресурси, пов'язані як з природними динамічними носіями теплової енергії надр – геотермальними водами (пароводяні суміші, пара, вода), так із практично безводними (водонепроникними) нагрітими гірськими породами. Ресурси першого виду називають гідротермальними, другого – петротермальними.

За прогнозними оцінками, термальні води, що мають в основному температуру 40 – 80 °С, розповсюджені в Україні (Крим, Карпати та ін. райони), на Північному Кавказі, в Казахстані, Середній Азії, Грузії, Азербайджані. Запаси пароводяної суміші з температурою 150 – 250°С знаходяться на Камчатці, Курильських островах, в Узбекистані, Киргизії.

Існує декілька способів виведення глибинного тепла на поверхню: буріння свердловин у розрахунок на самовилив пароводяної суміші; закачування холодної води в одну із свердловин і одержання гарячої води через другу свердловину або через групу свердловин; з природних джерел; за допомогою теплообмінних пристроїв, які встановлюють на усті свердловини.

Способи відбору тепла з порід Землі за допомогою свердловин визначаються геологічними умовами залягання енергоносія. Відомо два основних типи родовищ теплоносія: родовища, що пов'язані з існуючою або недавньою вулканічною діяльністю; родовища, що не пов'язані з вулканічною діяльністю.

Багато країн світу основні кошти вкладають у створення геотермальних електростанцій (ГеоТЕС). Досвід підтверджує, що за наявності неглибоких колекторів природної пари будівництво ГеоТЕС є найбільш доцільним варіантом використання геотермальної енергії. Але родовища пари зустрічаються рідко, її відомі і прогнозні ресурси невеликі. Найбільш розповсюджені родовища геотермальних (теплоенергетичних) вод не завжди розташовані досить близько до споживачів – об'єкта теплопостачання. Це викликає труднощі щодо їх ефективної експлуатації. Нерідко питання, пов'язані з боротьбою із солевідкладеннями, захистом обладнання від корозії та скиданнями мінералізованих і вмісних токсичних сумішей відпрацьованих вод, переростають у складну проблему.

Освоєння геотермальної енергії можливе тільки на основі різних принципів, за якими всі різноманітні геотермальні системи поділяються на три групи:

1. Видобування із надр теплоносіїв.
2. Перетворення теплоти в інші види енергії у надрах.
3. Комплексне освоєння геотермальних і мінеральних ресурсів.

Очевидно, що нині і в найближчому майбутньому в освоєнні геотермальної енергії буде залишатися основною технологія видобування із надр теплоносіїв (перша група). У цих геотермальних системах виділено п'ять класів приро-

дних колекторів, які відрізняються один від одного умовами формування і локалізації проникності порід, а також природою і рівнем тиску рідини, яка заповнює тріщини і пори колекторної зони. Ці ж умови й особливості в значній мірі визначають і можливість підняття теплоносія у видобувних свердловинах.

Геотермальна фонтанна система (ГФС), тобто самовилив природного теплоносія за рахунок збільшеного (відносно до гідростатичного) тиску, можлива для тріщинуватих (рис.1, а) або пластових (рис.2,а) колекторів з глибинним джерелом, що визначає високий тиск і температуру теплоносіїв, які фільтруються у тектонічних порушеннях чи колекторних пластах з глибоких горизонтів. Фонтанна технологія можлива також при розкритті свердловинами глибинних артезіанських басейнів з температурою теплоносія, однаковою з навколишнім породним масивом, якщо збільшений тиск може забезпечити необхідний дебіт свердловин (рис.2, б).

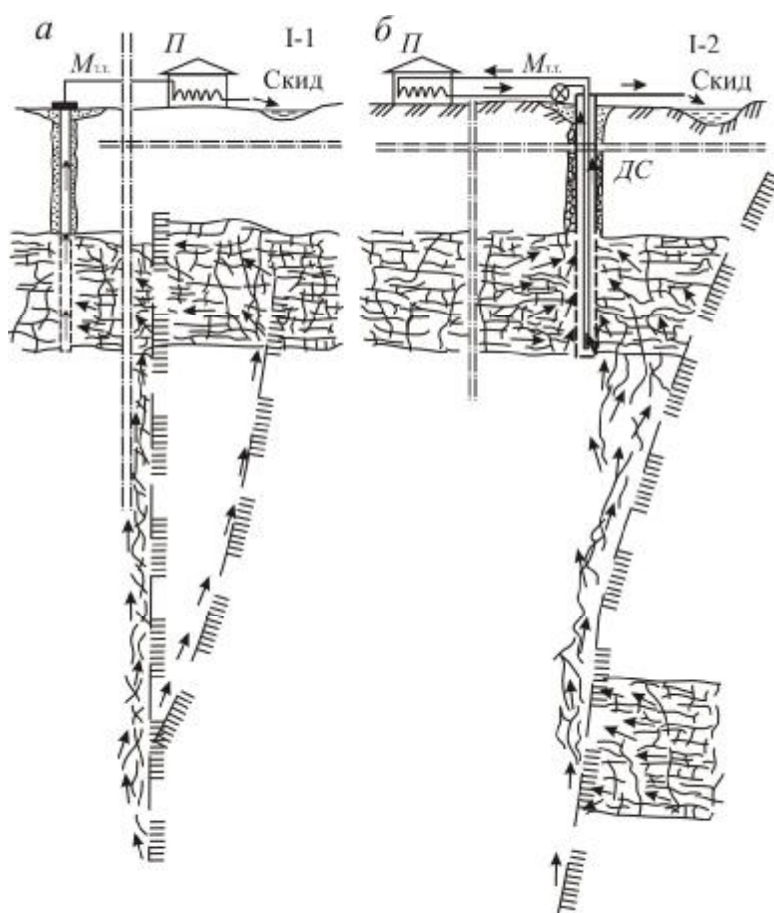


Рис. 1. Фонтанна (а) і двоконтурна (б) геотермальні системи видобування природних рухомих теплоносіїв із тріщинуватих колекторів з глибинним підживленням і збільшеним тиском

Якщо геотермальний теплоносій має високу мінералізацію, містить агресивні або токсичні суміші, то може бути застосована більш складна (у порівнянні з фонтанною) двоконтурна технологія (див. рис. 1,б) з передачею геотермальної енергії чистому робочому теплоносію у занурених свердловинних теплообмінниках. В принципі таке рішення можливе не тільки для вищенаведених схем, але також й у випадку великої потужності і високої вертикальної проник-

ності пластів і зон без збільшеного тиску (заглиблення охолоджених мас розсо-лу і вливання до теплообмінника більш легких гарячих потоків).

Геотермальні насосні системи (ГНС) використовуються для збільшення дебіту видобувних свердловин або по закінченню періоду фонтанного видобутку через утворення депресійних воронок і «спрацьовування» збільшеного тиску (рис. 2, в) [2].

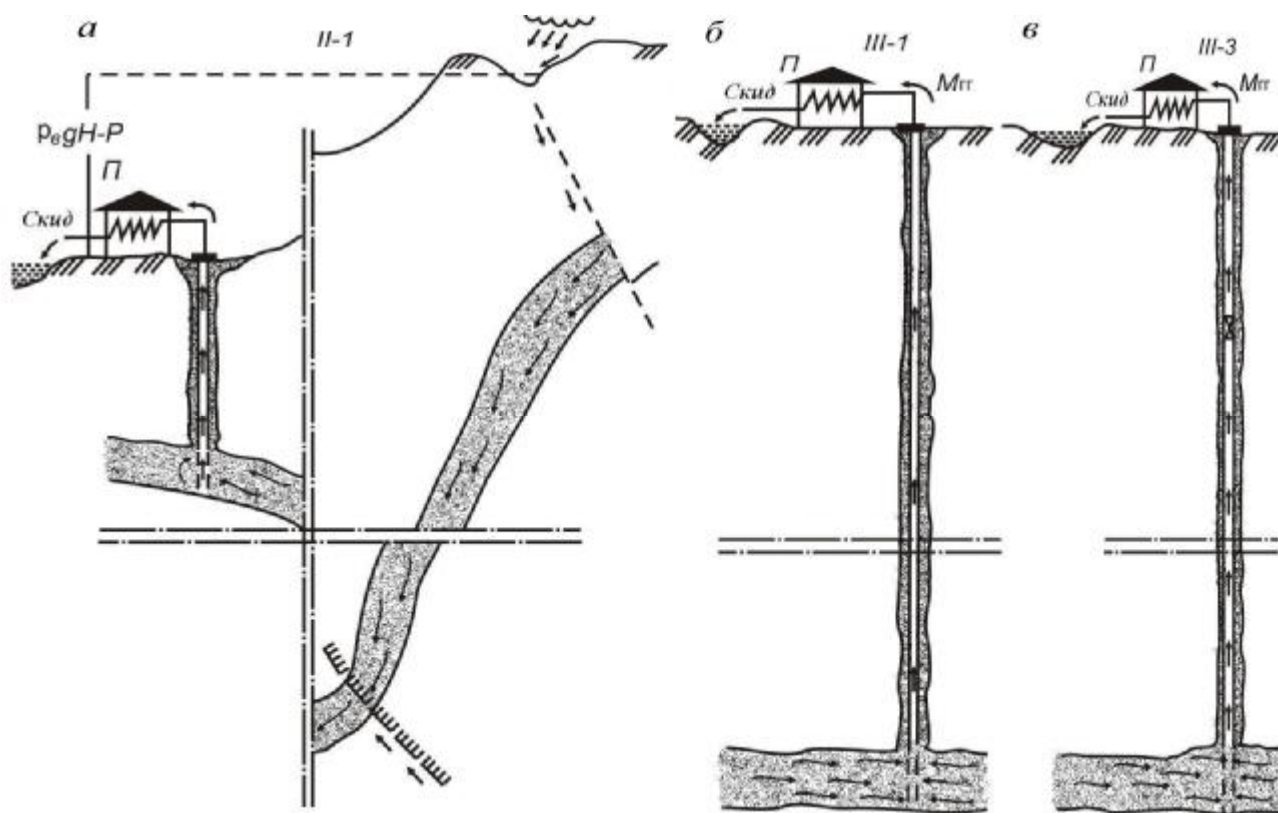


Рис. 2. Фонтанна (а,б) і насосна (в) геотермальні системи видобування природних рухомих теплоносіїв із пластових колекторів з глибинним і високогірним підживленням та зі збільшеним тиском глибинних артезіанських басейнів. (ρ_v – щільність рідини)

Із короткої характеристики розглянутих геотермальних систем бачимо, що основну частину їх теплопродукції складає енергія природних рухомих теплоносіїв, видобуток яких і є головною задачею фонтанної, двоконтурної і насосної геотермальної технології. Однак наприкінці роботи таких геотермальних систем, коли тиск, дебіт і температура одержуваних теплоносіїв можуть падати, найбільш суттєвою часткою їх теплопродукції стане енергія гарячих порід колекторів. У цьому відношенні стає раціональною циркуляційна технологія використання тепла гарячих гірських порід (рис.3) без засобів відкачування геотермальних циркуляційних систем (ГЦС) з нагнітанням холодної і витісненням нагрітої гарячими породами рідини, звичайно води.

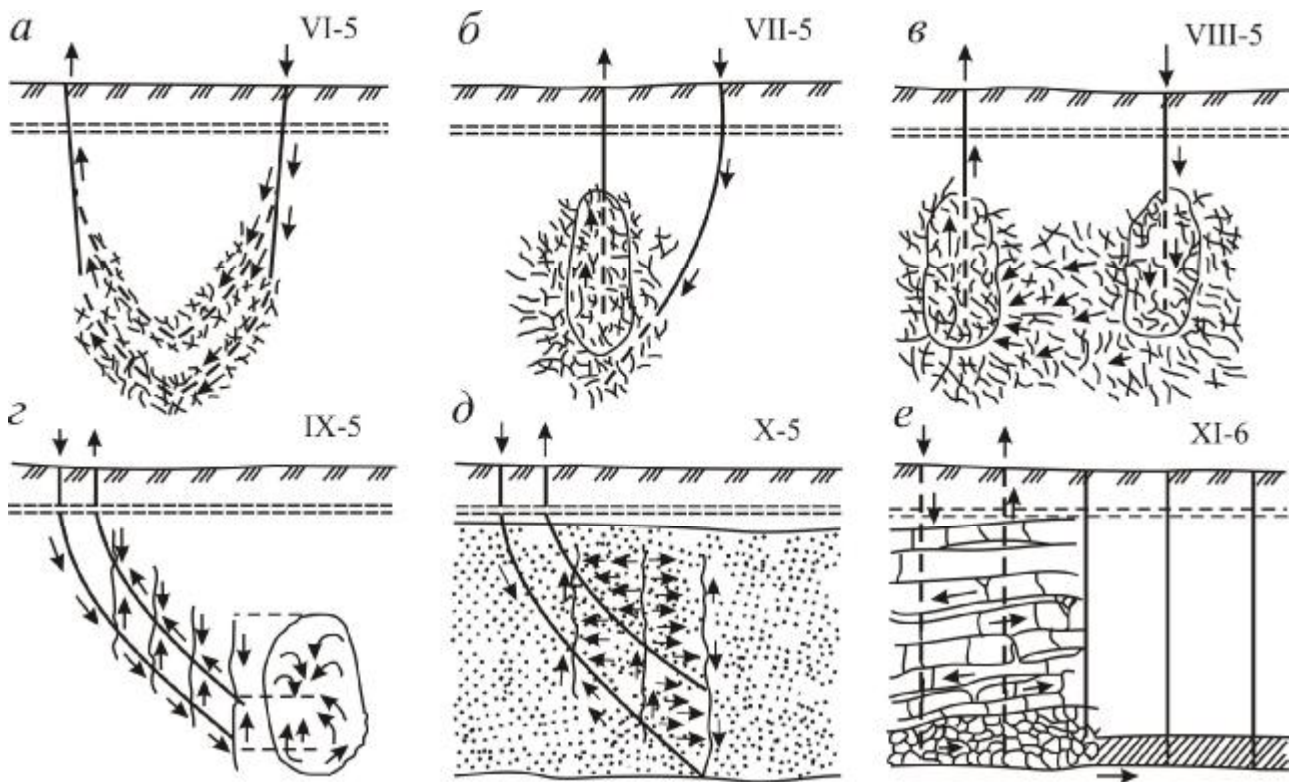


Рис. 3. Циркуляційні системи вилучення геотермальної енергії твердих гарячих порід зі штучними колекторами у вигляді свердловин з подовжніми зонами руйнування (а); зонами руйнування від потужного камуфлетного вибуху (б); зони руйнування і тріщиноутворення порід при взаємодії підземних вибухів (в); серії вертикальних тріщин гідророзриву слабопроникних порід; серії вертикальних тріщин гідророзриву проникаючої породної товщі (д) та зони обвалення і розшарування порід над раніше відпрацьованим пластом (е)

Для покращення фільтраційних властивостей породних колекторів використовують свердловини з попарно зближеними і проторпедованими каналами з утворенням навколо них подовжніх зон руйнування. Таке рішення відзначається підвищеним обсягом буріння (див. рис. 3, а), навіть без вибухів гірлянд торпед для руйнування порід довкола свердловин.

При створенні ГЦС в породах застосовують потужні камуфлетні вибухи (див. рис. 3, б) для обвалення, подрібнення і руйнування породного масиву. Розроблений тип ГЦС з фільтраційним потоком теплоносія в зонах радіальних тріщин між сусідніми вибухами (див. рис. 3, в) забезпечує різне збільшення об'єму зон відбору тепла багатократними вибухами рідких вибухових речовин у пустотах і тріщинах утворених зон руйнування.

Як фільтраційні канали і поверхні теплообміну застосовують вертикальні зони тріщиноутворення або поодинокі тріщини гідророзриву, серія яких утворюється у непроникних (слабопроникних) породах між нагнітальною і видобувною свердловиною (див. рис. 3, г). Цей тип ГЦС вважається нині найбільш перспективним.

ГЦС такого типу (див. рис 3, д) відрізняються від попереднього тим, що тріщини гідророзриву утворюються за допомогою використання в'язкої рідини або піни в потужній товщі осаджених пористих порід із складним розподілен-

ням горизонтальної і вертикальної проникності. Нагрівання теплоносія відбувається в основному при його фільтрації у пластах і прошарках гарячих проникних порід, а тріщини гідророзриву використовуються як почергові плоскі гідравлічні «джерела» і «стікання», формуючи фільтраційний потік і виключаючи великі втрати рідини.

Із вищенаведених технологічних схем розкриття геотермальних родовищ слід вважати, що вибуховий метод руйнування гірських порід має значні перспективи в геотермальній технології, оскільки повинен забезпечувати ефективну циркуляційну систему одержання теплової енергії. Підривання досить зближених зарядів звичайних вибухових речовин може сприяти утворенню у масиві систем з'єднувальних тріщин, придатних для створення фільтраційного тепломасопереноса (рис. 4). Перші пропозиції з використання підземних вибухів у слабопроникних гарячих породах для створення ГЦС із штучним колектором були розглянуті у Стенфордському університеті США проф. П.Кручером у 1966 р. При першому експериментальному вибухові потужність у товщі туфів на глибині 240 м дорівнювала 1,7 кілотонн, радіус початкової порожнини склав 19,5 м, висота «труби обвалення» була 117 м, а радіус зони радіальних тріщин – 67 м.

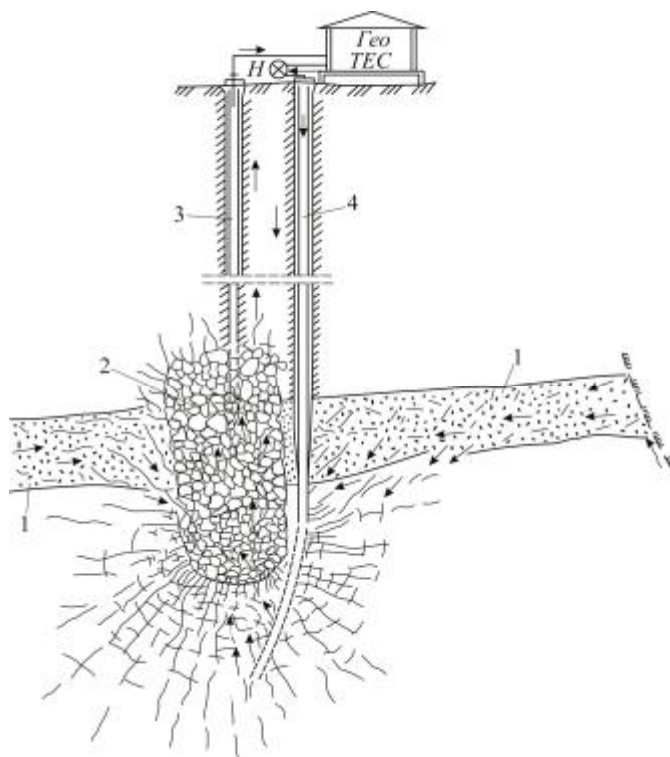


Рис. 4. Схема «стимулювання» геотермального родовища камуфлетним вибухом у колекторі пароводяної суміші з глибинною підпиткою: 1 – проникаючий пласт – колектор із джерела через глибинний злам; 2 – зона вибухового руйнування порід колектора і вмисних слабопроникних порід; 3 – вибухова свердловина відновлена і застосована як видобувна; 4 – нагнітальна свердловина, яка пробурена до зони руйнування після вибуху

Основним і поки ще неусунуєним недоліком таких вибухів є їх руйнівні сейсмічні ефекти по мірі зростання маси зарядів. Для цього слід додати: тривалість консервації робіт у карантинний період, значні витрати на буріння і забивання (герметизацію) свердловин, а також не вигідне розподілення вивільненої

при вибуху енергії, основна частина якої витрачається у найближчій зоні на непотрібні ефекти випаровування, плавлення та переподрібнення порід.

Другим найбільш ефективним методом створення ефективної циркуляційної системи тріщин у породному масиві є гідравлічний розрив. Встановлено, що після розриву порід, утворені тріщини вже не можуть зімкнутися до одержання ефекту монолітності (рис. 5). Розірвані і добре «складені» знову породні блоки продовжують фільтрувати воду у закритих тріщинах.

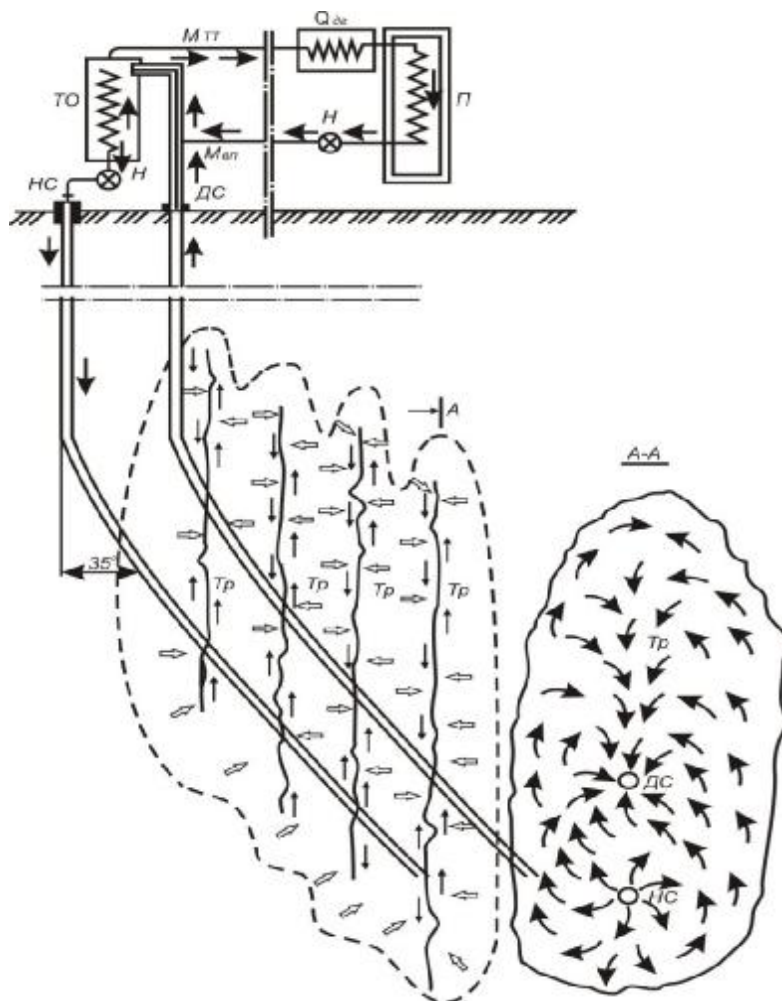


Рис. 5. Геотермальна циркуляційна система із штучним колектором серії вертикальних тріщин гідророзриву: НС – нагнітальна свердловина; ДС – видобувна свердловина; Тр – тріщини гідророзриву породного масиву, що утворює геотермальний колектор; Н – циркулюючий насос; ТО – проміжний теплообмінник між контурами первинного і робочого теплоносіїв; Мтт – магістральна теплотраса; Qдг – додаткова зовнішня енергія, що одержана теплоносієм при його догріві; П – теплообмінний апарат споживача; Мвп – магістральний водопровід; межа розширеної зони тепловідбору зображена пунктирною лінією, кондуктивний теплопереніс у цій зоні – жирними стрілками, напрям потоків теплоносіїв – звичайними стрілками

Гідророзрив породного масиву базується на механічній дії рідини на породу з утворенням тріщин. Суть гідророзриву полягає в тому, що у свердловину під високим тиском, який перевищує гідростатичний у 1,5 – 3,0 рази, нагнітають рідину, внаслідок чого у вибійній зоні масиву розкриваються існуючі трі-

щини та утворюються нові. Для запобігання змикання цих тріщин іноді в них уводять крупнозернистий пісок. У результаті зростає проникність привибійної зони масиву порід.

Для утворення гідророзриву необхідно подолати напруження у привибійній зоні порід, які створюються гірським тиском і міцністю самих порід:

$$P_p = P_z + c \quad \text{або} \quad P_p = H\gamma_{\text{сер}}g + c,$$

де P_p – тиск гідророзриву, МПа; P_z – гірничий тиск, МПа; c – тиск, необхідний для подолання опору самих порід руйнуванню, МПа; H – глибина залягання петротермальної зони, м; $\gamma_{\text{сер}}$ – середня щільність шарів вищележачих гірських порід, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Тиск розриву залежить від глибини залягання петротермальної зони і гідростатичного тиску і коливається в межах 1,3 – 15 МПа при H до 300 м, при цьому чітко простежується зростання значень величин тиску для горизонтального розриву порівняно з вертикальним для тих самих глибин.

Процес утворення тріщинуватої зони на геотермальному родовищі чітко простежується на графіку гідророзриву (рис. 6).

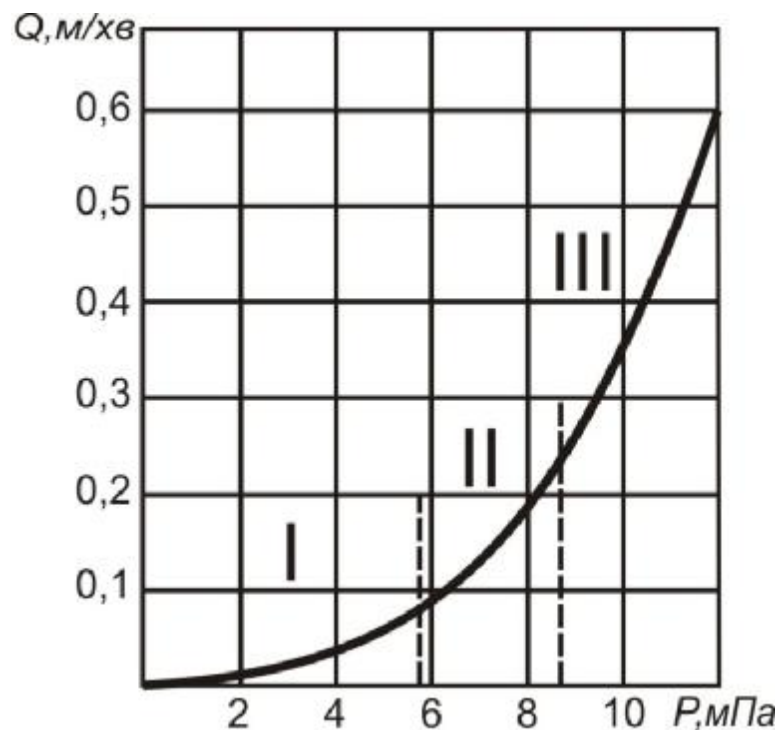


Рис. 6. Залежність протікання води (Q) у гірській масив від тиску (P) нагнітання

Цей графік поділяється на три зони.

Перша зона (I) – тиск рідини підвищується повільно. Вода рухається у природних порах і тріщинах без порушення структури породи.

Друга зона (II) – початок порушення структури гірського масиву, розширення пор і тріщин та збільшення приймання води.

Третя зона (III) – вбирання води зростає за прямою. Вода рухається у породному масиві в нових тріщинах, щілинах, гідравлічний опір яких став значно меншим.

Таким чином, створення автоматизованих геотермальних теплових станцій з потужністю, яка відповідає вимогам конкретних споживачів (від 50 до 5000 ГДж/год), значно зменшить витрати живої праці під час їх будівництва і експлуатації. Можливість розміщення таких енергоустановок поблизу споживачів зменшує протяжність магістральних теплових мереж. При цьому народногосподарський річний ефект зміг би досягнути 4 – 5 млрд грн, тобто розмірів десятирічних інвестицій або навіть їх перевищити. Однак у реальних умовах України неможливо в найближчі 5–10 років забезпечити такі темпи розвитку практично нової, ще не створеної гірничодобувної галузі.

Впровадження у паливно-енергетичний баланс держави геотермальних енергоресурсів є основним завданням країни.

Список літератури

1. Фролов Н.М. Температура Земли.– М.: Недра, 1971.– 119 с.
2. Российские энергоэффективные технологии // Материалы X науч.-практ. конф. «Энергоэффективные технологии производства электроэнергии». М., 2001.– 42 с.

Рекомендовано до друку: професором Бузило В.І.