

n N 408

2/9 937



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

№

874997

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР,
Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий
выдал настоящее свидетельство на изобретение:
"Способ гидравлического разрыва горных пород"

Заявитель: ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ
ИМ. Г. В. ПЛЕХАНОВА

Автор (авторы): Гольдтман Вальтер Генрихович

Заявка № 2517497

Приоритет изобретения 22 августа 1977 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Союза ССР

22 июня 1981 г.

Председатель Комитета

Начальник отдела



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 874997

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 22.08.77 (21) 2517497/22-03

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 23.10.81. Бюллетень №39

Дата опубликования описания 23.10.81

(51) М. Кл.³

Е 21 В 43/26

(53) УДК 622.245.
.54(088.8)

(72) Автор
изобретения

В.Г. Гольдтман

(71) Заявитель

Ленинградский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горный институт
им. Г.В. Плеханова

(64) СПОСОБ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ГОРНЫХ ПОРОД

1

Изобретение относится к горному делу и строительству подземных сооружений и может применяться для достижения гидравлического разрыва с образованием закрепленных и полых трещин в кристаллических массивах или напластованиях твердых, в частности, мерзлых льдонасыщенных горных пород при необходимости последующего использования созданных трещин в качестве путей движения потоков жидкости или газа, например, для конвективного переноса тепла от горячих горных пород к скважине или от скважины к мерзлым горным породам, в качестве ослабленной или свободной поверхности при разрушении горных пород и в других случаях.

Известен способ гидравлического разрыва горных пород, основанный на нагнетании жидкости в горные породы с образованием в них трещины гидравлического разрыва и последующем переносе в трещину взвешенного зер-

2

нистого закрепляющего материала с определенной концентрацией - от 0,01 до 0,59 г/см², после чего требуется 0,1-50 ч поддерживать в скважине и трещине высокое давление.

5 Способ предусматривает использование определенных составов и гранулометрических характеристик зернистого материала, обеспечивающих расположение зерен в несколько слоев [1].

10 Недостатком известного способа является невозможность достижения необходимой ширины трещины и сохранение ее во время нагнетания постоянного положения границы площади распространения закрепляющего слоя с получением за контуром этой площади части трещины, сохранившейся в полом состоянии.

15 Известен способ гидравлического разрыва горных пород, включающий осуществление разрыва горных пород путем нагнетания в разрываемую зону 20 жидкости под давлением и последу-

ющую закачку в эту зону отверждающегося вещества [2].

Однако при известном способе формирующаяся трещина имеет недостаточную ширину, а полая часть трещины отсутствует.

Цель изобретения - увеличение ширины формирующейся трещины и сохранение части трещины в полном состоянии.

Поставленная цель достигается тем, что в качестве отверждающегося вещества закачивают расплавленное вещество, температура отверждения которого выше температуры горных пород, причем расход потока расплавленного вещества определяется, исходя из зависимости

$$W = \frac{(4\varepsilon\sqrt{\pi})(T_0 - T_1)(\sqrt{\tau_{n+1}} - \sqrt{\tau_n})F}{Q},$$

где W - объемный расход расплавленного вещества, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\varepsilon = \sqrt{\lambda c \gamma}$ - коэффициент тепловой активности горных пород; $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{с}^{1/2})$;

λ - коэффициент теплопроводности горных пород, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$

c - удельная теплоемкость горных пород, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$,

γ - плотность горных пород, $\text{кг}/\text{м}^3$;

T_0 - температура отверждения расплавленного вещества, $^{\circ}\text{C}$;

T_1 - температура горных пород, $^{\circ}\text{C}$;

τ_n и τ_{n+1} - отсчеты времени от начала нагревания пород расплавленным веществом, с;

F - необходимая площадь распределения расплавленного вещества в трещине, м^2 ;

Q - количество тепла отверждения единицы объема расплавленного вещества, $\text{Дж}/\text{м}^3$.

Кроме того, с целью увеличения протяженности формирующейся трещины, закачку расплавленного вещества чередуют с закачкой неотверждающейся жидкости.

Причем в качестве расплавленного вещества закачивают нитрат натрия или парафин или нитрит натрия. При разрыве горных пород с температурой ниже 0°C в качестве расплавленного вещества закачивают воду.

В предлагаемом способе через прогретую скважину в сформированную

путем закачки жидкости под давлением трещину в горных породах, имеющих температуру T_1 , закачивают в расплавленном состоянии с температурой T_2 вещество, температура отверждения которого T_0 выше температуры горных пород, пересеченных трещиной.

Таким веществом в случае горных пород с температурой выше 0°C может быть, например, нитрат натрия или парафин, или нитрит натрия. А для горных пород с температурой ниже 0°C - вода.

Нагнетание указанного расплавленного вещества исключает операцию переноса взвешенного в жидкости зернистого материала для закрепления по известному способу. В трещине образуется радиально расходящийся от скважины поток расплавленного вещества, который по мере отдачи тепла в горные породы охлаждается на некотором расстоянии X_1 до температуры T_0 и начинает отвердевать, наслаиваясь на обеих стенках трещины в качестве крепления. Между наслоениями в трещине движется остальная часть потока расплавленного вещества с температурой T_0 , причем расход этого потока уменьшается, и на расстоянии X_2 достигнет нуля. Здесь образуется внешний контур площади наслоения отвердевшего вещества. На пути от X_1 до X_2 расплавленное вещество, имея температуру T_0 , не вызывает проплавления в ранее отвердевшем слое каналов. Такие каналы при закреплении трещины по известному способу ограничили бы возможность поддержания давления, достаточного для дальнейшего расширения трещины и наращивания толщины слоя зернистого материала, подверженного размыву. В трещине между наслоениями отвердевшего вещества сохраняется и возобновляется щелевидная полость, проницаемость которой достаточна для продолжения непрерывного или периодического нагнетания с давлением, обеспечивающим дальнейшее расширение трещины и одновременное увеличение толщины наслоения отвердевшего вещества, закрепляющего трещину. Во время нагнетания постепенно уменьшают расход расплавленного вещества в режиме, при котором согласно указанной формуле теплоотдача изотермически отвердевающего вещества равна кондуктивному потоку тепла в массивы горных

пород на постоянной площади. Плотность потока тепла в каждый из двух полуограниченных массивов горных пород, разделенных трещиной, вычисляются в среднем за последовательные конечные промежутки времени по известной теплофизической зависимости

$$q = \frac{4\varepsilon}{\sqrt{\pi}} (T_0 - T_1) (\sqrt{\tau_{n+1}} - \sqrt{\tau_n}),$$

где q - удвоенная средняя плотность потока тепла в полуограниченный массив горных пород за промежутки времени $(\tau_{n+1} - \tau_n)$ кг/м³;

ε - коэффициент тепловой активности пород;

$$\varepsilon = \sqrt{\lambda c \gamma}, \quad g / (m^2 \text{град} s^{1/2}),$$

λ - коэффициент теплопроводности пород, Вт/(м·град);

c - удельная теплоемкость пород, Дж/(кг·град);

γ - объемный вес пород, кг/м³;

τ_n и τ_{n+1} - отсчеты времени от начала нагревания пород расплавленным веществом, с.

Площадь растекания расплавленного вещества от скважины до контура начала отвердевания F_1 возможно, при необходимости, определить по формуле

$$F_1 = \frac{W \cdot q_1}{q},$$

где $q = c_1 \gamma_1 (T_2 - T_0)$

c_1 - удельная теплоемкость расплавленного вещества, Дж/(кг·град);

γ_1 - объемный вес этого вещества, кг/м³.

Таким образом, расход потока расплавленного вещества определяется, исходя из зависимости

$$W = \frac{(4\varepsilon/\sqrt{\pi})(T_0 - T_1)(\sqrt{\tau_{n+1}} - \sqrt{\tau_n})F}{q},$$

где W - объемный расход расплавленного вещества, м³/с;

$\varepsilon = \sqrt{\lambda c \gamma}$ - коэффициент тепловой активности горных пород, Дж/(м²·град·с^{1/2});

λ - коэффициент теплопроводности горных пород, Вт/(м·град);

c - удельная теплоемкость горных пород, Дж/(кг·град);

γ - плотность горных пород, кг/м³;

T_0 - температура отверждения расплавленного вещества, °С;

T_1 - температура горных пород, °С;

τ_n и τ_{n+1} - отсчеты времени от начала нагревания пород расплавленным веществом, с;

F - необходимая площадь распространения расплавленного вещества в трещине, м²;

q - количество тепла отверждения единицы объема расплавленного вещества, Дж/м³.

Периодическое поочередное нагнетание в скважину расплавленного вещества и неотвердевающей жидкости выполняются с соблюдением следующих требований. Объем неотвердевающей жидкости, поданной за один полупериод в скважину, больше объема нагнетательных труб. Температура неотвердевающей жидкости, нагнетаемой за один полупериод, больше объема закачанного в предыдущем полупериоде расплавленного вещества. Нагнетание неотвердевающей жидкости продолжают до спада давления, как признака увеличения радиуса и площади распространения трещин гидравлического разрыва. Нарастание максимального давления нагнетаемой неотвердевающей жидкости в каждом следующем периоде - признак продолжающегося расширения трещины и наплаивающегося отвердевающего вещества, а резкое снижение давления - признак появления новой трещины гидравлического разрыва, не параллельной ранее образованной. Между периодами нагнетания допустимы перерывы на время понижения температуры горных пород, окружающих трещину.

На фиг. 1 изображена трещина гидравлического разрыва, разрез по радиальному направлению; на фиг. 2 - то же, вид в плане.

Трещина 1 в горных породах 2 простирается вокруг буровой скважины 3 до своей границы 4. В трещине 1 находится закрепляющий ее слой отвердевшего расплавленного вещества 5, а в периферической части между контуром 6 и трещиной сохраняется полость 7, которую возможно использовать в качестве пути движения потока флюида, например, воды теплоносителя. Вокруг скважины также сохраняется часть трещины, не заполненная отвердевшим веществом. Слой закрепляющего трещину отвердевшего вещества 5 распространяется на

зависимо от наклона трещины в пределах кольцеобразной площади. Его внутренний контур 8 отделен от скважины расстоянием, которое зависит от режима расхода и температуры процесса нагнетания. Отвердевший расплав заполняет также пересеченные искусственной трещиной 1 естественные поры и трещины 9 в горных породах преграждая фильтрационные утечки. На фиг. 1 и 2 пунктиром показано вероятное расположение новых трещин 10 и 11 гидравлического разрыва, возникающих после изменения напряженного состояния горных пород, сжатых вследствие расширения и закрепления трещины 1.

Для осуществления способа требуются известные технические средства. На поверхности необходим сосуд-нагреватель для подготовки расплавленного вещества, соединенный с напорным баллоном, из которого поступающие порции расплавленного вещества вытесняются в скважину неотвердевающей жидкостью. Необходима термоизоляция оборудования и нагнетательной трубы. В скважине необходима труба для предварительного нагревания стенок.

Примером использования предлагаемого способа является проектная схема образования полых трещин, входящих в систему, предназначенную для нагревания воды горными породами в теплофикационных целях. Температура гранита на глубине расположения трещин T_1 равна 150°C . Через скважину известными операциями выполняют первый гидравлический разрыв с использованием воды. Затем скважину прогревают до температуры 280°C и нагнетают для продолжения гидравлического разрыва расплавленную смесь нитрата (50%) и нитрита натрия с температурой T_2 , равной 270°C . Температура отвердевания этого расплавленного вещества T_0 равна 250°C . Таким образом, в данном случае T_0 на 100°C выше T_1 , разность $T_2 - T_0$ незначительна. Требуется образовать в трещине слой отвердевшей смеси нитрата и нитрита натрия шириной 0,15 м и на площади 500 м^2 с тем, чтобы вокруг внешнего контура, радиус которого около 17 м, образовалась незаполненная креплением кольцеобразная часть трещины, в которой будет циркулировать вода - теплоноси-

тель. Необходимый объем отвердевшего вещества составляет 75 м³. Для данных условий режим расхода N нагнетаемой смеси расплавленного нитрата и нитрита натрия определяется путем вычисления сначала значений плотности потока тепла q в гранит по известной формуле для промежутков времени по 0,1 ч за первый час, и по одному часу за последующее время. Найденные значения q , известные значения площади F (500 м^2) и теплоты отвердевания расплавленного вещества (60 ккал/м^3) позволяют по предложенной формуле вычислить объемный расход для ряда последовательных промежутков времени, взятых при вычислении значений q . По нарастающему итогу суммируемых объемов закаченного расплавленного вещества находится продолжительность нагнетания 75 м³ этого вещества. В данном случае она равна 6 ч. Найденные значения расхода изменяются от $118\text{ м}^3/\text{ч}$ в течение первого периода 0,1 ч (6 мин), $39,3\text{ м}^3/\text{ч}$ следующие 0,1 ч и т.д. до $15,0\text{ м}^3/\text{ч}$ в конце первого часа, в течение последнего, 6-го часа, расход составляет $7,6\text{ м}^3/\text{ч}$. Площадь полый периферической части трещины гидравлического разрыва вокруг внешнего контура ее заполненной части, где ширина достигает 0,15 м, составит около 1000 м^2 . При указанной ширине полый части трещины вероятно образование оперяющих трещин по мере охлаждения и деформации гранита, что обеспечивает увеличение поверхности теплообмена.

Предложенный способ гидравлического разрыва экспериментально проведен в вечномерзлых льдонасыщенных гравийно-галечных и супесчаных породах с температурой -9°C . В качестве расплава отвердевающего вещества через скважину нагнетают пресную воду, отвердевающую при 0°C . Вода поступает в породы на глубине 5 м. При первом приеме нагнетания за одну минуту давление достигает 12 МН/м^2 и в образовавшуюся трещину шириной 3 мм поступает $0,12\text{ м}^3$ воды. Трещина горизонтальна, но имеет вертикальные ответвления, по которым начинается выход воды на дневную поверхность. После 19-часового перерыва возобновляют нагнетание воды с максимальным давлением 11 МН/м^2 и объемом закаченной воды $0,18\text{ м}^3$. Ширина тре-

щины увеличивается на 3 мм и отмечен прирост площади ее распространения, но вертикальных трещин больше не появляется, а прежние остаются заполненными льдом. Далее, в течение 250 ч нагнетают воду через ту же скважину 70 раз по 1-6 мин, а в сумме 180 мин, в результате чего ширина горизонтальной трещины, заполненной льдом, возросла до 18 мм на площади 1400 м². Таким образом, подтверждена возможность увеличения ширины и изменения направления трещины при повторных нагнетаниях. Две группы скважины, в 11 м друг от друга, используют для нагнетания 0,2 м³ воды в режиме, обеспечивающем замерзание льда в трещине гидравлического разрыва на площади с радиусом внешнего контура 3 м от каждой скважины. Ширина горизонтальной трещины достигает 0,004 м на площади 180 м², хотя ледяное наслоение распространилось только на площадь 50 м². Следовательно, на площади 130 м², за контуром ледяного заполнения трещина осталась полый, что предусматривалось при испытании способа.

Технико-экономическая эффективность предлагаемого способа видна при сравнении результатов образования трещин гидравлического разрыва в качестве путей движения потока жидкости-теплоносителя между двумя скважинами. При известном способе образующаяся трещина имеет ширину около 0,005 м и заполнена зернистым материалом, допускающим только фильтрацию. Предлагаемым способом возможно образовать полые части трещин с шириной до 0,015 м и более, в которых поток жидкости испытывает на два-три порядка меньшее гидравлическое сопротивление, что делает эксплуатацию дешевле. Обеспечение возможности образования полых, несомкнутых участков трещин для движения жидкого теплоносителя в системах искусственной проницаемости для использования тепловой энергии горных пород позволит во многих случаях пользоваться гидравлическим разрывом по предлагаемому способу взамен подземных ядерных взрывов для разрушения пород. В случае применения предлагаемого способа гидравлического разрыва на разработках вечномерзлых горных пород с применением взрывов подготовка полых или льдонаполненных трещин позволит

уменьшить объем и стоимость буровзрывных работ.

Формула изобретения

1. Способ гидравлического разрыва горных пород, включающий осуществление разрыва горных пород путем нагнетания в разрываемую зону жидкости под давлением и последующую закачку в эту зону отверждающегося вещества, отличающийся тем, что, с целью увеличения ширины формирующейся трещины и сохранения части трещины в полном состоянии, в качестве отверждающегося вещества закачивают расплавленное вещество, температура отверждения которого выше температуры горных пород, причем расход потока расплавленного вещества определяется, исходя из зависимости

$$W = \frac{(4\epsilon/\sqrt{\pi})(T_0 - T_1)(\sqrt{\tau_{n+1}} - \sqrt{\tau_n})F}{Q},$$

где W - объемный расход расплавленного вещества, м³/с;

$\epsilon = \sqrt{\lambda c \gamma}$ - коэффициент тепловой активности горных пород Дж/(м²·град·с^{1/2});

λ - коэффициент теплопроводности горных пород, Вт/(м·град);

c - удельная теплоемкость горных пород, Дж/(кг·град);

γ - плотность горных пород, кг/м³;

T_0 - температура отверждения расплавленного вещества, °С;

T_1 - температура горных пород, °С;

τ_n и τ_{n+1} - отсчеты времени от начала нагревания породы расплавленным веществом, с;

F - необходимая площадь распространения расплавленного вещества в трещине, м²;

Q - количество тепла отверждения единицы объема расплавленного вещества, Дж/м³.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что, с целью увеличения протяженности формирующейся трещины, закачку расплавленного вещества чередуют с закачкой неотверждающейся жидкости.

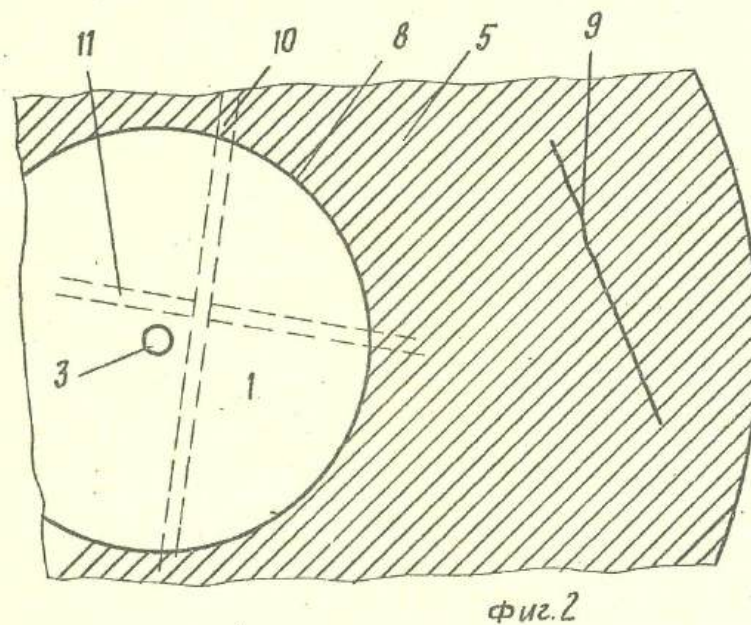
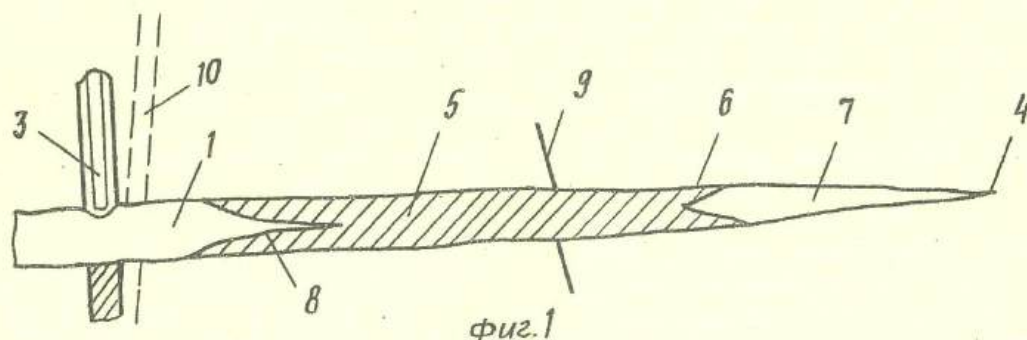
3. Способ по пп. 1 и 2, отличающийся тем, что в качестве расплавленного вещества закачивают

нитрат натрия или парафин или нитрит натрия.

4. Способ по пп. 1 и 2, отличающийся тем, что при разрыве горных пород с температурой ниже 0°C , в качестве расплавленного вещества закачивают воду.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Патент США № 3888311, кл. 166-280, опублик. 1975.
2. Патент США № 3537529, кл. 166-271, опублик. 1970 (прототип).



Редактор Н.Лазаренко	Составитель А.Звездина Техред М.Рейвес	Корректор А.Ференц
Заказ 9284/55	Тираж 630	Подписное
ВНИИПИ Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5		
Филиал ИИП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4		