

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037294**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.03.05

(21) Номер заявки
202090976

(22) Дата подачи заявки
2019.04.01

(51) Int. Cl. *F24T 10/20* (2018.01)
C09K 5/00 (2006.01)
F03G 4/00 (2006.01)
F24T 10/40 (2018.01)
F24T 50/00 (2018.01)

(54) **ТЕКУЧАЯ СРЕДА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭНЕРГОНЕСУЩИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ**

(31) **62/669,686**

(32) **2018.05.10**

(33) **US**

(43) **2020.06.30**

(86) **PCT/CA2019/000043**

(87) **WO 2019/213735 2019.11.14**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ИВОР ТЕКНОЛОДЖИЗ ИНК. (СА)

(72) Изобретатель:
**Тоуз Мэттью, Прайс Гленн, Кэйрнз
Пол, Редферн Джон, Смит Джефф
(СА)**

(74) Представитель:
Вашина Г.М. (RU)

(56) US-A1-20130213040
US-A1-2011/0048005
WO-A1-2015134974
US-A1-20070245729

(57) Предложены классы текучих сред для использования в скважинах и теплоносных геологических средах с целью извлечения энергии. Предлагаемые текучие среды попадают в классы текучих сред, обеспечивающих повышение термодинамического КПД при выработке тепловой и/или электрической энергии с помощью геотермических систем с замкнутым контуром. Раскрыт ряд способов, служащих оптимальному извлечению энергии на основе термодинамики текучей среды.

037294
B1

037294
B1

Область техники, к которой относится предлагаемое изобретение

Предлагаемое изобретение относится к текучим средам для производства энергии в ряде геологических сред (геотермических и скважинных), в частности предлагаемое изобретение относится к использованию некоторых классов текучих сред, используемых в способах производства энергии.

Предпосылки создания предлагаемого изобретения

Выгоды использования геотермальной энергии хорошо известны и являются предметом многочисленных патентных и других публикаций. Общая идея состоит в том, чтобы пробурить скважину в геологической среде, чтобы извлекать из нее тепло, выводить образовавшийся пар и воду на поверхность, заставляя пар, например, приводить в движение устройство, генерирующее электрическую энергию. Для сохранения своего сегмента рынка в мировом масштабе традиционная промышленная геотермальная технология требует редкого совпадения геологических условий.

На уровне техники были предложения по снятию остроты проблемы. Рассматривались геотермальные системы с замкнутым контуром, в которых рассол из скважины не извлекали, и испытывались системы оценки возможности использования геотермического градиента. Обсуждалась возможность использования серии труб для установки в геологическую среду, чтобы вода внутри этих труб отбирала тепло и выносила его на поверхность, а затем в устройство для использования этого тепла.

Геотермический градиент определяется как прирост температуры на единицу глубины при углублении в земные недра. Количественно это приблизительно 25°C на километр. Это слишком большое количество энергии, чтобы им пренебрегать.

В патенте США № 8132631, выданном 13 марта 2012 г. на имя Раусси (Roussy), раскрыта геотермальная установка с замкнутым контуром, в которой для вращения и придания вибраций внедряемой в геологическую среду буровой колонны применено вибробурение. Во внутреннем объеме буровой колонны предусмотрено присутствие текучей среды. Во внутреннем объеме буровой колонны располагают контур передачи геотермального тепла и буровую колонну извлекают из геологической среды.

Хотя такое решение в определенных обстоятельствах полезно, все же ему присущ недостаток, состоящий в том, что только небольшая площадь контура находится в условиях взаимодействия с геотермической зоной. Это неустранимое ограничение эффективности теплопередачи.

В патенте США № 3941422, выданном 02 марта 1976 г. на имя Гендерсон (Henderson), отражена идея соединения скважин между собой. В соляном пласте бурят две скважины: первую практически вертикально, а вторую - на расстоянии от первой и под наклоном к ней таким образом, чтобы конечный забой ствола наклонной скважины был приближен к конечному забою ствола вертикальной скважины на заданное расстояние. Затем с целью обеспечения протекания между этими двумя скважинами текучей среды с помощью технологий жидкостного разрушения в одной, или в другой, или в обеих скважинах разрушают соль. Эту соль извлекают, вводя пресную воду и отводя насыщенный солевой раствор из другой скважины.

В патенте Гендерсона явным образом раскрыто, что скважины соединены между собой, но не рассматриваются системы выработки энергии или теплообмена с привлечением геотермальной энергии.

Компания "Уэлстар энеджи" (WellStar Energy) в своем пресс-релизе от 01 декабря 2016 г. вкратце касается возможности привлечения неиспользуемых скважин с геотермальным контуром для выработки энергии, но не приводит в этой связи каких-либо конкретных подробностей и не касается идеи соединения скважин для управления тепловым процессом.

Компания "Шеврон" (Chevron) в видеоматериале без даты рассказывает о соединении скважин в проекте проведения трубопровода через каньон реки Конго. Трубопровод проводили с одного берега этой реки на другой для подачи газа. Но это, опять же, был специфический случай соединения скважин. Вопрос вторичного использования скважин и соединения их в геотермальный контур не обсуждался.

Компания "Гринфайр энеджи" (GreenFire Energy) в статье от 2017 г. обсуждает систему выработки геотермальной энергии с использованием замкнутого контура. Предлагается не использовать по новому назначению существующие нефтяные и/или газовые скважины, а бурить новые. Этот подход никак не касается контроля за надлежащим поддержанием неиспользуемых скважин и может породить новые проблемы. В статье ничего не сказано ни о технологиях осуществления замкнутого контура, ни о создании скоплений скважин с целью достижения максимальной эффективности. Кроме того, предлагаемые рабочие текучие среды состоят из CO_2 и других охлаждающих агентов, ни один из которых не имеет существенно нелинейной зависимости энтальпии от температуры при соответствующих значениях давления и температуры для производства энергии за счет геотермического градиента.

В патенте США № 6301894, выданном 16 октября 2001 года на имя Хальфф (Half), раскрыта геотермальная электростанция. Этот патент фокусируется на преимуществах, касающихся расположения генератора, рационального водопользования, чистоты воды и эффективности при использовании множественных замкнутых контуров. Заявитель сообщает следующее:

"Предлагаемое изобретение решает эти проблемы, и одна из его целей состоит в создании усовершенствованной системы выработки геотермальной энергии, в которой вода, получающая тепло от горячих породных толщ, не загрязняется, так что может быть повторно использована, не требует химической обработки сверх той, что применяется для стандартной обработки котловой воды, и при этом система

использует воду экономно. Еще одна цель предлагаемого изобретения состоит в создании усовершенствованной системы выработки геотермальной энергии, в которой турбину, вращающую генератор, или другой механизм, приводимый в движение паром, не требовалось бы располагать вблизи нагнетательной скважины, то есть скважины, используемой для приема воды, вводимой в геологическую среду, и можно было бы его располагать на удалении от этой скважины. Еще одна цель предлагаемого изобретения состоит в создании усовершенствованной системы выработки геотермальной энергии, которая была бы более эффективной. Еще одна цель предлагаемого изобретения состоит в создании усовершенствованной системы выработки геотермальной энергии, которая обеспечивала бы легкую установку, потому что обычно в отрасли скважины могут буриться с применением режимов горизонтального бурения. Предлагаемая усовершенствованная система выработки геотермальной энергии проста в использовании. Еще одна цель предлагаемого изобретения состоит в том, чтобы система функционировала без выведения воды из породных толщ, так чтобы было обеспечено поддержание давления в породных толщах".

В патенте Хальффа в общем говорится о наличии в системе нескольких стволов, однако не дается подробностей на этот счет. Текст патента гласит следующее:

"Вариант осуществления системы, описанной выше, проиллюстрирован на чертежах. Присутствуют все элементы системы, изображенной на фиг. 1. Те же результаты достигаются с помощью одной вертикальной скважины и одной или большего числа горизонтальных скважин. Вода возвращается к горизонтальному участку скважины по обсадным трубам и выпускается на конце обсадной колонны. Вытекая обратно из одиночной скважины и далее поступая к турбине, вода превращается в пар.

В обоих вариантах обработанная вода может либо находиться в конце линии горячей воды, либо распределяться по всей линии горячей воды или по ее части.

Должно быть понятно, что линий горячей воды может быть больше одной. Линии горячей воды могут работать все одновременно или же они могут работать одна за другой, так чтобы одна линия горячей воды работала, а другие нагревались до готовности, чтобы вступить в работу".

Это упрощение не отменяет того факта, что требуется бурить несколько новых скважин, а это влечет дополнительные расходы. К тому же, нет каких-либо указаний касательно соединения или управления тепловым процессом этих множественных материальных потоков. Хальфф сообщает только, что в качестве рабочей текучей среды используется вода, что вода превращается в пар, для чего требуется температура намного выше той, на которую рассчитано предлагаемое изобретение.

В патентной публикации США № 20110048005, опубликованной 03 марта 2001 г. от имени Макгарг (McNargue), предусмотрена возможность выбора рабочей текучей среды для решения проблемы температурных отклонений в геологических средах. В тексте публикации говорится следующее:

"Еще один аспект предлагаемого изобретения состоит в обеспечиваемом им удобстве использования в качестве рабочей текучей среды широкого диапазона текучих сред, а также в возможности быстро и легко менять рабочие текучие среды по мере изменения температуры в недрах или по мере изменения условий работы электростанции. Пользователь получает возможность использовать в качестве рабочей текучей среды текучие среды (жидкости или газы), отличные от воды, чтобы оптимизировать тепловые свойства рабочей текучей среды с учетом местных температурных условий в земных недрах и теплового режима электростанции. Например, для подачи к электростанции можно выбрать сверхкритические текучие среды (см. патент США № 6668554, выдан в 2003 г. на имя Браун (D.W. Brown)), или же какой-либо углеводород или охлаждающий агент. Благодаря этой возможности использовать в качестве рабочей текучей среды текучие среды (жидкости или газы), отличные от воды, экономятся средства, которые были бы потрачены на бурение находящихся на меньших глубинах более холодных геологических слоев, обладающих повышенной пористостью и проницаемостью, и сокращается потребность в искусственном дроблении слоев скальных пород".

Хотя в этой публикации упоминаются технологии, используемые в нефтяной промышленности, однако в ней не обсуждается перепрофилирование существующих нефтяных полей или использование существующих скважин. В публикации обсуждаются в общих чертах простые химически инертные текучие среды для использования в геотермической среде. В ней ничего не говорится о повышении эффективности путем фундаментального увеличения передачи тепла от геологической среды, а также отсутствуют дополнительные сведения в отношении создания на определенном участке скважины условий для проявления существенно нелинейного температурного профиля текучей среды.

В патентной публикации США № 20070245729, опубликованной 25 октября 2007 г. от имени Майкелсон (Mickelson), раскрыта кустовая система геотермической рекуперации. В этой публикации выражается беспокойство по поводу утечки рабочей текучей среды и, следовательно, тепловых потерь и ничего не говорится о том, как смягчить проблемы отношений между Востоком и Западом, связанные с наклонно-направленным бурением, то есть, помимо прочего, с магнитной интерференцией, с извлечением упавшего в скважину инструмента, высокой концентрацией железа в геологической среде.

В патентной публикации США № 2013021304, опубликованной 22 августа 2013 г. от имени Госвами и др. (Goswami et al.), заявлены способ и система выработки энергии из низко- и среднетемпературных источников тепла.

В этой публикации раскрыта используемая в качестве рабочей текучей среды зеотропная смесь, на-

гретая до сверхкритического состояния от источника тепла. В предложении скомбинированы сверхкритический цикл Ренкина и зеотропная смесь. Рабочая текучая среда нагревается до сверхкритического состояния непосредственно от жидкости, что способствует тепловому уравниванию между источником тепла и рабочей текучей средой. Использование в качестве рабочей текучей среды зеотропной смеси создает лучшее тепловое уравнивание между рабочей текучей средой и охлаждающим агентом. В предлагаемом изобретении принят противоположный подход, заключающийся в том, что разницу температур между источником тепла и текучей средой максимально увеличивают, а не уравнивают.

В публикации WO 2015/134974, опубликованной 11 сентября 2015 г. от имени Гринфайр энержджи" (GreenFire Energy), описываются способы производства геотермальной энергии.

В публикации раскрыта геотермальная система с замкнутым контуром, в которой

"циркулирующая в ней теплопроводная текучая среда может содержать по меньшей мере один из следующих компонентов: диоксид углерода, азот, аммиак и/или амины с углеродным числом от C1 до C6 включительно, углеводороды с углеродным числом от C1 до C10 включительно, у которых по меньшей мере один атом водорода заменен хлором или фтором. В некоторых вариантах в качестве циркулирующей текучей среды использован диоксид углерода в сверхкритическом состоянии".

В публикации ничего не говорится о повышении эффективности путем фундаментального увеличения передачи тепла от геологической среды. Кроме того, ни одна из предложенных текучих сред не имеет существенно нелинейной зависимости энтальпии от температуры при значениях давления и температуры, подходящих для производства энергии за счет геотермического градиента: более 10 МПа и менее 180°C соответственно.

Из рассмотренной выше представительной выборки, характеризующей состояние уровня техники, ясно, что в отрасли существует потребность в текучих средах, обладающих термодинамическими свойствами, полезными с точки зрения использования во множестве геотермических и скважинных сред. Предлагаемое изобретение, которое будет описано ниже, удовлетворяет эту потребность.

Предлагаемым изобретением предусмотрено новое применение определенного класса текучих сред для производства энергии с полным циклом и с разделенным циклом при ясном понимании термодинамических процессов, протекающих в различных геотермических и скважинных средах.

Очевидны, в частности, следующие преимущества предлагаемого способа:

A) обеспечена реальная альтернатива для производства энергии по истощению ископаемого топлива,

B) источник геотермальной энергии находится в непрерывной готовности 24 ч в сутки и не зависит ни от скорости ветра, ни от погоды,

C) исключены перерывы в выработке энергии, свойственные солнечным и ветровым источникам энергии,

D) геотермический градиент практически однороден на больших площадях, что позволяет распространить способ на площади, где невозможна традиционная геотермальная технология,

E) система с замкнутым контуром позволяет использовать описываемые здесь новые текучие среды, обеспечивающие повышение термодинамического КПД. Эти новые текучие среды фундаментально повышают эффективность извлечения геотермальной энергии из геологической среды,

F) способ абсолютно не предполагает какого-либо вреда окружающей среде,

G) для обеспечения возможности использования наибольшего количества скважин на данной территории возможны конфигурации из скважин-спутников, и

H) для осуществления предлагаемого способа могут быть модифицированы скважины или скважинные участки, которые могут быть в аварийном состоянии и представлять опасность.

Этот перечень преимуществ предлагаемого изобретения приведен для примера и не является исчерпывающим.

Краткое описание предлагаемого изобретения

Глобальная цель предлагаемого изобретения состоит в создании классов текучих сред для производства тепловой и электрической энергии с привлечением различных скважин и геотермических сред с целью наиболее полного извлечения энергии.

Еще одна цель предлагаемого изобретения состоит в создании текучей среды для извлечения энергии в системе скважин, имеющей впускную скважину, выпускную скважину и поперечное соединение между ними, при этом упомянутая текучая среда обладает по меньшей мере одним из свойств, выбранных из следующей группы:

a) с целью достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой внутри упомянутого поперечного соединения имеет существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

b) обладает способностью вступать в обратимую реакцию, чувствительную к изменению давления: эндотермическую при повышенном давлении и экзотермическую при давлении ниже упомянутого повышенного давления,

c) представляет собой смесь, вступающую в упомянутом поперечном соединении в эндотермиче-

скую реакцию химической абсорбции,

d) представляет собой водный раствор электролита с растворимостью, зависящей от температуры и давления, обладающий внутри упомянутого поперечного соединения теплопоглощающим действием, и для использования тепловой энергии этой текучей среды непосредственно и/или для превращения этой тепловой энергии в электрическую.

Классы соединений, обладающих вышеуказанными свойствами, повышают перепад между температурой геологической среды и температурой циркулирующей текучей среды, что способствует повышению теплоотдачи геологической среды.

При более низких давлениях (на меньших глубинах) переходящая в газообразное состояние кипящая жидкость имеет нелинейную зависимость энтальпии от температуры. Но нет простых жидкостей/газов, которые обладали бы такими свойствами при давлениях и температурах, пригодных для производства энергии за счет геотермического градиента, а именно выше 10 МПа и ниже 180°C соответственно.

Согласно одному из вариантов осуществления предлагаемого изобретения текучая среда содержит водный раствор сульфата магния.

Еще одной целью предлагаемого изобретения является создание способа выработки энергии, содержащего следующие стадии:

обеспечивают наличие замкнутого скважинного контура, имеющего вход и выход, соединенные поперечным соединительным каналом, выполненным в геологической среде,

обеспечивают наличие энергетической установки, находящейся в оперативном соединении с упомянутым скважинным контуром,

с целью извлечения из геологической среды тепловой энергии для достижения максимума температурного перепада и теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой осуществляют циркуляцию текучей среды, имеющей в упомянутом поперечном соединительном канале существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

охлаждают текучую среду перед ее повторным введением на входе в упомянутый контур и превращают тепловую энергию текучей среды в электрическую.

Еще одной целью предлагаемого изобретения является создание способа реперофилирования бывшей нефтеносной площади, на которой остались ранее действовавшие продуктивные и нагнетательные скважины, пробуренные в геологической среде на расстоянии друг от друга, для целей извлечения тепловой энергии, содержащего следующие стадии:

обеспечивают наличие первого узла, имеющего продуктивную скважину и первую нагнетательную скважину, сообщенную с возможностью переноса текучей среды с энергетической установкой,

на расстоянии от упомянутого первого узла обеспечивают наличие второго узла, имеющего продуктивную скважину и вторую нагнетательную скважину, сообщенную с возможностью переноса текучей среды с энергетической установкой,

соединяют упомянутые первый узел и второй узел подземным горизонтальным соединением,

с целью извлечения из геологической среды тепловой энергии для достижения максимума температурного перепада и теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой осуществляют циркуляцию нагретой текучей среды на выходе из энергетической установки первого узла ко входу энергетической установки второго узла по упомянутому подземному горизонтальному соединению, при этом упомянутая текучая среда в этом подземном горизонтальном соединении имеет существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C, и

используют тепловую энергию текучей среды непосредственно и/или превращают эту тепловую энергию в электрическую.

Еще одной целью предлагаемого изобретения является создание способа производства энергии, содержащего следующие стадии:

обеспечивают наличие оставленной нефтеносной площади, имеющей пары нагнетательных и продуктивных скважин,

соединяют энергетическую установку между продуктивной скважиной одной пары скважин и нагнетательной скважиной соседней пары скважин в подземный контур, имеющий по меньшей мере одно поперечное соединение между упомянутой продуктивной скважиной и упомянутой нагнетательной скважиной,

для извлечения посредством этого контура тепловой энергии геологической среды осуществляют циркуляцию текучей среды по этому контуру, при этом упомянутая текучая среда обладает по меньшей мере одним из свойств, выбранных из следующей группы:

а) с целью достижения максимальной температурного перепада и максимальной теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой внутри упомянутого поперечного соединения имеет существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

b) обладает способностью вступать в обратимую реакцию, чувствительную к изменению давления: эндотермическую при повышенном давлении и экзотермическую при давлении ниже упомянутого повышенного давления,

c) представляет собой смесь, вступающую в упомянутом поперечном соединении в эндотермическую реакцию химической абсорбции,

d) представляет собой водный раствор электролита с растворимостью, зависящей от температуры и давления, обладающий внутри упомянутого поперечного соединения эндотермическим действием,

и

используют тепловую энергию этой текучей среды непосредственно и/или превращают ее в электрическую энергию.

Представляется предпочтительным, в том числе с точки зрения достижения максимальной эффективности, решение, согласно которому текучую среду выбирают на основе конфигурации скважин и качества геологической среды как источника тепла.

Еще одной целью предлагаемого изобретения является создание способа извлечения геотермальной энергии, содержащего следующие стадии:

бурят в геологической среде первую в целом U-образную скважинную структуру и на расстоянии от нее вторую в целом U-образную скважинную структуру,

обеспечивают наличие энергетической установки,

соединяют под землей упомянутую энергетическую установку с выходом упомянутой первой U-образной скважинной структуры и входом упомянутой второй U-образной скважинной структуры,

через обе скважинные структуры осуществляют циркуляцию текучей среды, обладающей по меньшей мере одним из свойств, выбранных из следующей группы:

a) с целью достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой внутри поперечного соединения имеет существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

b) обладает способностью вступать в обратимую реакцию, чувствительную к изменению давления: эндотермическую при повышенном давлении и экзотермическую при давлении ниже упомянутого повышенного давления,

c) представляет собой смесь, вступающую в упомянутом поперечном соединении в эндотермическую реакцию химической абсорбции,

d) представляет собой водный раствор электролита с растворимостью, зависящей от температуры и давления, обладающий внутри упомянутого поперечного соединения эндотермическим действием,

и

превращают тепловую энергию этой текучей среды в электрическую энергию.

Из тех классов текучих сред, которые были охарактеризованы выше, может быть выбрана подходящая текучая среда в зависимости от конкретных свойств геологической среды, в которой применяется предлагаемый способ.

Еще одной целью предлагаемого изобретения является создание способа извлечения геотермальной энергии, содержащего следующие стадии:

бурят в геологическом пласте первую в целом U-образную скважинную структуру и на расстоянии от нее вторую в целом U-образную скважинную структуру,

обеспечивают наличие энергетической установки,

соединяют под землей упомянутую энергетическую установку с выходом упомянутой первой U-образной скважинной структуры и входом упомянутой второй U-образной скважинной структуры,

через обе скважинные структуры осуществляют циркуляцию текучей среды и

превращают тепловую энергию этой текучей среды в электрическую энергию.

Еще одной целью предлагаемого изобретения является создание способа получения геотермального теплообменника, содержащего следующие стадии:

обеспечивают наличие неиспользуемой пробуренной скважины,

бурят вторую скважину на расстоянии от упомянутой неиспользуемой скважины,

соединяют упомянутую неиспользуемую скважину и вторую скважину через геотермическую зону и расположенную на расстоянии от нее вторую зону в непрерывный контур, имеющий по меньшей мере одно поперечное соединение,

с целью обеспечения теплообмена в упомянутом контуре осуществляют циркуляцию через этот контур рабочей жидкости [sic!], при этом упомянутая текучая среда [sic!] обладает по меньшей мере одним из свойств, выбранных из следующей группы:

a) с целью достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой внутри упомянутого поперечного соединения имеет существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

b) обладает способностью вступать в обратимую реакцию, чувствительную к изменению давления:

эндотермическую при повышенном давлении и экзотермическую при давлении ниже упомянутого повышенного давления,

с) представляет собой смесь, вступающую в упомянутом поперечном соединении в эндотермическую реакцию химической абсорбции,

д) представляет собой водный раствор электролита с растворимостью, зависящей от температуры и давления, обладающий внутри упомянутого поперечного соединения эндотермическим действием,

и

используют тепловую энергию этой текучей среды непосредственно и/или превращают эту тепловую энергию в электрическую.

Еще одной целью предлагаемого изобретения является создание способа вторичного использования неиспользуемых пробуренных скважин, содержащего следующие стадии:

назначают первую неиспользуемую скважину в качестве приемной станции,

бурят вторую, новую, скважину рядом с этой скважиной - приемной станцией,

бурят еще по меньшей мере одну, третью, новую, скважину на расстоянии как от приемной станции, так и от второй, новой, скважины,

обеспечивают сообщение с возможностью переноса текучей среды между каждой из обеих новых скважин и приемной станцией в отдельные замкнутые контуры, каждый из которых имеет по меньшей мере одно поперечное соединение, при этом первый участок каждого контура находится в геотермической зоне, а второй его участок находится над этой геотермической зоной,

осуществляют циркуляцию рабочей текучей среды в контурах, при этом упомянутая рабочая текучая среда обладает по меньшей мере одним из свойств, выбранных из следующей группы:

а) с целью достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой внутри упомянутого поперечного соединения имеет существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

б) обладает способностью вступать в обратимую реакцию, чувствительную к изменению давления: эндотермическую при повышенном давлении и экзотермическую при давлении ниже упомянутого повышенного давления,

с) представляет собой смесь, вступающую в упомянутом поперечного соединения в эндотермическую реакцию химической абсорбции,

д) представляет собой водный раствор электролита с растворимостью, зависящей от температуры и давления, обладающий внутри упомянутого поперечного соединения эндотермическим действием,

и

извлекают тепловую энергию из упомянутой геотермической зоны.

Еще одной целью предлагаемого изобретения является создание способа выработки энергии, содержащего следующие стадии:

обеспечивают наличие замкнутого скважинного контура, имеющего вход и выход, соединенные поперечным соединительным каналом, выполненным в геологической среде, и первой рабочей текучей среды,

обеспечивают наличие контура выработки энергии, имеющего вторую рабочую текучую среду, при этом упомянутый контур выработки энергии соединен с упомянутым замкнутым скважинным контуром с возможностью теплопереноса,

осуществляют циркуляцию первой рабочей текучей среды и второй рабочей текучей среды в соответствующих контурах,

осуществляют передачу тепла от первой рабочей текучей среды второй рабочей текучей среде и используют извлеченную тепловую энергию для выработки электрической энергии.

Благодаря термодинамическим свойствам текучей среды предлагаемое изобретение может найти широкое применение в очень значимых с практической точки зрения областях выработки энергии и непосредственного использования тепла.

Другие цели и признаки предлагаемого изобретения станут понятны из дальнейшего описания.

Дальнейшее подробное описание предлагаемого изобретения будет опираться на ссылки на прилагаемые графические материалы (чертежи).

Краткое описание прилагаемых графических материалов

На фиг. 1 схематично изображены отдельный скважинный контур и энергетический цикл согласно одному из вариантов осуществления предлагаемого изобретения.

На фиг. 2 схематично изображен отдельный скважинный контур и энергетический цикл с параллельными энергетическими цепями.

На фиг. 3 схематично изображен отдельный скважинный контур и энергетический цикл с последовательными энергетическими цепями.

На фиг. 4 схематично изображена система скважин с множеством поперечных соединительных каналов.

На фиг. 5 скважинный контур и множество выполненных в геологической среде поперечных соеди-

нительных каналов изображены в разрезе.

На фиг. 6 схематично изображен интегрированный скважинный энергетический контур согласно одному из вариантов осуществления предлагаемого изобретения.

На фиг. 7 схематично изображен интегрированный скважинный энергетический контур согласно еще одному варианту осуществления предлагаемого изобретения.

На фиг. 8 изображены проявляемые на поперечном участке скважинного контура температурные характеристики простой текучей среды, известной из уровня техники, и текучей среды согласно предлагаемому изобретению, имеющей нелинейную зависимость энтальпии от температуры.

На фиг. 9 на виде сверху схематично изображена система соединенных в шлейф скважин согласно первому варианту осуществления предлагаемого изобретения.

На фиг. 9А в увеличенном масштабе изображена система из пары скважин с множеством поперечных соединительных каналов.

На фиг. 10 схематично подробно изображена энергетическая установка, расположенная между входом одной скважины и выходом рядом расположенной скважины.

На фиг. 11 на виде сверху схематично изображены две связанных системы соединенных в шлейф скважин.

На фиг. 12 на виде сверху схематично проиллюстрировано решение согласно другому варианту осуществления предлагаемого изобретения.

На фиг. 13 на виде сверху схематично проиллюстрировано решение согласно еще одному варианту осуществления предлагаемого изобретения.

На фиг. 14 схематично изображены скопления неиспользуемых скважин.

На фиг. 15 изображены скопления неиспользуемых скважин, подобные тем, что изображены на фиг. 14, дополненные новыми скважинами.

На фиг. 16 изображено первое схематичное представление одного из вариантов осуществления предлагаемого изобретения, в котором новые скважины объединены в кластеры с неиспользуемыми по прямому назначению оставленными скважинами.

На фиг. 17 изображено схематичное представление варианта осуществления предлагаемого изобретения, в котором кластеры консолидированы.

На фиг. 18 графически изображена нелинейная зависимость энтальпии от температуры для водного раствора электролита, содержащего 20% сульфата магния при повышенном давлении 40 МПа.

На чертежах сходные ссылочные обозначения присвоены сходным элементам.

Наилучшие варианты осуществления предлагаемого изобретения

На фиг. 1 схематично проиллюстрирован первый вариант осуществления предлагаемого изобретения. Это отдельный скважинный контур и энергетический цикл. Энергетический цикл 10 интегрирован со скважинным контуром 12. Энергетический цикл 10 может быть выбран из подходящих и известных, в качестве каковых могут быть помимо прочих названы цикл Стерлинга, цикл на углеродном носителе, цикл Калины, цикл Ренкина на органическом теплоносителе, транскритический цикл на диоксиде углерода.

Как можно видеть на фиг. 1, скважинный контур 12 содержит замкнутую петлевую систему, имеющую впускную скважину 14 и выпускную скважину 16, выполненные в геологической среде, которая может представлять собой, например, геотермическую среду, пласт пород с низкой проницаемостью, осадочный пласт, вулканогенную формацию или подстилающую породу, которую лучше охарактеризовать как кристаллическую горную породу, расположенную под осадочным бассейном (ничего из этого на чертеже не показано).

Скважинный контур 12 и энергетический цикл 10 находятся в термическом контакте через посредство теплообменника 18, который отбирает тепло от рабочей текучей среды, циркулирующей в замкнутом контуре 20, выполненном в геологической среде, для выработки энергии с помощью электрогенераторной установки 22 в энергетическом цикле 10. Температура геологической среды может быть, например, в пределах от 80 до 250°C.

В рассматриваемом варианте используют две разных рабочих текучих среды. Эффективность работы системы может быть повышена путем изменения состава рабочей текучей среды, используемой в скважинном контуре.

Существующие энергетические циклы, упоминавшиеся выше, требуют в самом скважинном контуре простых текучих сред на водной основе, которые поглощали бы тепло геологической среды и через теплообменник передавали его вторичной рабочей текучей среде энергетического цикла. В известных геотермальных проектах состав водного теплоносителя устанавливается пластовыми условиями. В большинстве случаев эта вода представляет собой рассольную минеральную воду с высоким общим содержанием растворенных твердых веществ (свыше 10 тысяч частей на миллион), что порождает такие две проблемы, как коррозия и осаждение солей. Борьба с коррозией скважинных труб, инструментов, оборудования и трубопроводов на поверхности является нескончаемой и обходится дорого. Кроме того, в условиях геологического пласта раствор обычно содержит в значительном количестве диоксид кремния или другие минеральные примеси. Когда рассольную минеральную воду подают на поверхность и

охлаждают в первичном теплообменнике (для передачи тепла рабочей текучей среде энергетического цикла), диоксид кремния или другие минеральные примеси выходят из раствора и пристаю́т к внутренним поверхностям труб, клапанов, теплообменников и т.д. Борьба с этими осаждаемыми веществами обходится дорого, и они ограничивают количество тепла, которое можно извлечь из этого водного теплоносителя.

В используемых в настоящее время энергоблоках входную температуру рабочей текучей среды энергетического цикла в первичном теплообменнике обычно ограничивают величиной выше 0°C. Понижением температуры этой рабочей текучей среды до величины ниже 0°C обеспечивается возможность повысить перепад давлений в турбине. Однако в известных геотермальных проектах существуют ограничения, обусловленные возможным замерзанием геотермальной текучей среды и осаждением в ней солей на другой стороне теплообменника.

В предлагаемом изобретении эти ограничения преодолеваются созданием сегрегированной системы энергетического цикла в комбинации со скважиной с замкнутым контуром. Согласно предлагаемому изобретению состав рабочей текучей среды скважинного контура подбирают таким образом, чтобы она не замерзала при температуре ниже 0°C и обладала по меньшей мере одним из свойств, выбранных из следующей группы:

а) с целью достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой внутри поперечного соединения имеет существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

б) обладает способностью вступать в обратимую реакцию, чувствительную к изменению давления: эндотермическую при повышенном давлении и экзотермическую при давлении ниже упомянутого повышенного давления,

в) представляет собой смесь, вступающую внутри упомянутого поперечного соединения в эндотермическую реакцию химической абсорбции,

г) представляет собой водный раствор электролита с растворимостью, зависящей от температуры и давления, обладающий внутри упомянутого поперечного соединения эндотермическим действием.

Текучие среды могут быть модифицированы внесением добавок с целью повышения эффективности и надежности. В качестве подходящих добавок могут быть названы антинакипины, понизители трения, антифризы, криогены, бактерициды, углеводороды, спирты, органические жидкости и комбинации этих добавок.

Возможные частные решения с отдельной системой проиллюстрированы на фиг. 2 и 3.

На фиг. 2 изображена сегрегированная система, включающая скважинный контур 12 в термическом контакте с двумя отдельными теплообменниками 18, каждый со своей отдельной электрогенераторной установкой 22, находящимися в параллельном соединении. На фиг. 3 изображена аналогичная система с последовательным соединением электрогенераторных установок.

На фиг. 4 с частичным устраниением деталей схематично изображена система 24 скважин с множеством поперечных соединительных каналов. В этой системе в геологической среде (не показана) выполнено множество поперечных соединительных каналов 20 скважинного контура, ориентированных в целом параллельно и расположенных на расстоянии друг от друга. Каждый из этих соединительных каналов 20 соединен со впускной скважиной 14 и выпускной скважиной 16 с образованием замкнутого контура.

Упомянутая геологическая среда может представлять собой, например, геотермическую среду, пласт пород с низкой проницаемостью, осадочный пласт, вулканогенную формацию или подстилающую породу, которую лучше охарактеризовать как кристаллическую горную породу, расположенную под осадочным бассейном (ничего из этого на чертеже не показано).

На фиг. 5 можно видеть расположение компонентов в геологической среде 26.

Поперечные соединительные каналы 20 могут иметь длину, например, от 2000 м до 8000 м или более и располагаться на глубине от 1000 до 6000 м от поверхности 28. Для формирования системы с замкнутым контуром электрогенераторная установка 22 на поверхности 28 расположена между впускной скважиной 14 и выпускной скважиной 16.

Специалистам должно быть понятно, что указанные выше расстояния приведены только для примера и на практике могут быть разными в зависимости от свойств геологической среды, геотермического градиента, аномалий, обусловленных приповерхностными изменениями, тектонической активности и т.д.

Очевидно, благодаря техническому прогрессу при создании таких систем с множественными поперечными соединительными каналами физическое вторжение минимально и легко осуществимо, чтобы существенно увеличить количество контактирующих с геологической средой контуров на единицу площади поверхности. Кроме того, обеспечивается возможность использования оставленных нефтяных скважин по новому назначению при ничтожном воздействии на экологию.

Интегрированная скважинная энергетическая установка представляет собой систему с замкнутым контуром, в которой выбранная рабочая текучая среда циркулирует в скважинном контуре, а затем подается на расположенную на поверхности турбину, как это можно видеть на фиг. 6. Эта система в целом

обозначена позицией 30. Это система с единой рабочей текучей средой, а не с отдельной рабочей текучей средой для скважинного контура и отдельной вторичной рабочей текучей средой для энергетического цикла. Рабочая текучая среда в этом замкнутом контуре может работать в транскритическом цикле, когда текучая среда является сверхкритической при более высоком рабочем давлении и докритической при более низком рабочем давлении, или же в полностью сверхкритическом цикле, когда текучая среда и при более низком рабочем давлении остается сверхкритической.

Как известно, транскритический цикл - это термодинамический цикл, в котором рабочая текучая среда переходит и через докритическое, и через сверхкритическое состояния.

В составе оборудования имеются также охлаждающее устройство, которое в рассматриваемом примере реализовано в виде воздушного теплообменника 32, и турбина 34 с электрогенератором 36. Воздушный теплообменник 32 служит для охлаждения рабочей текучей среды до температуры, превышающей температуру окружающего воздуха на величину от 1 до 15°C. Следует заметить также, что рабочую текучую среду можно охлаждать до отрицательных температур по шкале Цельсия.

Кроме того, подходящие для использования в предлагаемом изобретении текучие среды обладают свойством в выпускной скважине переходить после расширения и охлаждения из сверхкритического состояния в транскритическое, так что текучая среда, выходящая из выпускной скважины, имеет энтропию, достаточно высокую для расширения до состояния перегретого пара правее двухфазной области на диаграмме температура-энтропия, и после охлаждения находится существенно ниже ее критической точки.

Приводным механизмом в этом интегрированном цикле является очень сильный циркуляционный теплообмен (термосифонный эффект), который повышается благодаря разнице в плотности между впускной вертикальной скважиной 14 и выпускной вертикальной скважиной 16. Текучая среда, находящаяся во впускной скважине 14 в состоянии сверхкритической жидкости, при прохождении по поперечным участкам 12 нагревается и выходит в выпускную скважину 16 в сверхкритическом состоянии, что создает значительное давление.

На фиг. 7 представлен другой вариант решения, проиллюстрированного на фиг. 6. На этой схеме включены параллельно несколько турбин 34, оснащенных электрогенераторами 36. Специалистам должно быть понятно, что возможны другие варианты, использующие комбинации энергетических установок, включенных последовательно и параллельно.

На фиг. 8 в качестве примера изображены температурные характеристики на поперечных участках скважинного контура для простых текучих сред, известных из уровня техники, и для новых текучих сред, используемых в предлагаемом изобретении, которые демонстрируют существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры. Количество теплоты, передаваемое от геологической среды, пропорционально площади между графиком температуры геологической среды и графиком температуры текучей среды. Данные сведены в таблице.

Изменение температуры текучих сред с увеличением расстояния, пройденного ими в теплоносной геологической среде

Расстояние (м)	Температура геологической среды (°C)	Известная текучая среда с практически линейной зависимостью энтальпии от температуры (°C)	Текучая среда с существенно нелинейной зависимостью энтальпии от температуры (°C)
0	125	29	28
500	125	49	33
1000	125	65	37
1500	125	78	42
2000	125	88	47
2500	125	95	51
3000	125	102	56
3500	125	106	61
4000	125	110	65
4500	125	113	70
5000	125	116	115

Термосифонный эффект может полностью исключить необходимость использовать в условиях нормальной работы наземный насос, который нужен только при запуске. Преимущество состоит в том, что экономится энергия, которая потребовалась бы для работы этого насоса.

В скважинном контуре используют текучие среды и смеси, разработанные с учетом особенностей ствола скважины, глубины, протяженности и температуры окружающего воздуха. В уровне техники при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C обсуждается использование только текучих сред с линейной зависимостью энтальпии от температуры, таких как вода, диоксид углерода, охлаждающие агенты или углеводороды. В случае системы с замкнутым циклом, такой как система по предлагаемому изобретению, первоначальные расходы, связанные со сложностью смесей, используемых в качестве текучей среды, составляют только малую часть общих экономических объемов. Таким образом, можно использовать другие текучие среды, такие как текучая среда, обладающая по меньшей мере одним из свойств, выбранных из следующей группы:

- а) с целью достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи

между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой внутри поперечного соединения имеет существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

b) обладает способностью вступать в обратимую реакцию, чувствительную к изменению давления: эндотермическую при повышенном давлении и экзотермическую при давлении ниже упомянутого повышенного давления,

c) представляет собой смесь, вступающую в упомянутом поперечном соединении в эндотермическую реакцию химической абсорбции,

d) представляет собой водный раствор электролита с растворимостью, зависящей от температуры и давления, обладающий внутри упомянутого поперечного соединения эндотермическим действием.

Было установлено, что текучие среды, имеющие существенно нелинейную зависимость энтальпии от температуры внутри поперечных соединений скважинного контура, и/или обладающие способностью вступать в обратимую реакцию, чувствительную к изменению давления: эндотермическую при повышенном давлении и экзотермическую при давлении ниже упомянутого повышенного давления, могут способствовать значительному повышению выработки энергии. Это объясняется тем, что средний перепад между температурой породы в скважине и температурой циркулирующей текучей среды повышается, вызывая повышение передачи тепла от геологической среды.

В качестве примера текучей среды такого типа можно назвать водный осадочно-электролитный раствор, растворимость которого зависит от температуры, при этом в верхней части впускной скважины вода сверхнасыщена. Взвешенное состояние твердотельных частиц поддерживается с помощью противонакипной (противофлокулирующей) добавки и турбулентного режима потока (подобно буровому раствору). При протекании по поперечным соединениям температура текучей среды повышается, в результате чего повышается также растворимость находящихся во взвешенном состоянии твердотельных частиц. Этим обеспечивается эндотермический процесс поглощения раствором тепла геологической среды (по сути повышается эффективная теплоемкость текучей среды) при растворении твердотельных частиц в воде. В теплообменнике с передачей тепла в сегрегированный цикл преобразования тепла в электричество температура падает, в результате чего имеет место экзотермический процесс, при котором твердотельные частицы выходят из раствора с выделением тепла. Во избежание отложения выходящих из раствора частиц на внутренних поверхностях теплообменника последний может быть надлежащим образом обработан.

В число текучих сред, пригодных для использования в геотермальных системах с замкнутым циклом, входят водные растворы, содержащие, например, следующие растворенные компоненты: бромид калия, сульфат магния.

Используя только одну турбину, проблематично обеспечить эффективность во всем диапазоне параметров окружающей среды. Было установлено, что проблема может быть решена при использовании двух или большего числа соединенных последовательно или параллельно турбин, оптимизированных для разных параметров окружающей среды. Для поддержания высокой эффективности на протяжении всего года в сезон низких температур логическое устройство управления (не показано) автоматически перемещает текучую среду к надлежащей турбине.

Фиг. 9, 9А и 10 относятся к шлейфовому соединению 44 скважин. В этом варианте осуществления предлагаемого изобретения каждый локализованный объект 46 содержит нагнетательную скважину 48, соединенную с поперечным соединительным каналом 50 и продуктивной скважиной 52. Построенная таким образом непрерывная скважинная структура может быть названа U-образной скважинной структурой.

Как можно видеть на фиг. 9, каждый локализованный объект 46 обособлен и остроумным и выгодным образом соединен с близлежащими наземными локализованными объектами 46. Расстояние между объектами может составлять, например, 5000 м. Разумеется, оно может быть разным в зависимости от ситуации.

На фиг. 10 можно видеть энергетическую установку 54. Ее реализация будет обсуждена далее, но для целей дальнейшего изложения скажем, что эта энергетическая установка 54 выполнена с возможностью превращать энергию пара в электрическую энергию. В составе каждого локализованного объекта 46 имеется нагнетательная скважина 48 и продуктивная скважина 52. Под землей, но тоже в пределах геотермической зоны 46 геологической среды 48 выполнены множественные поперечные соединительные каналы 38.

Для описания работы системы можно сослаться на фиг. 10. Обладающая подходящей теплоемкостью текучая среда протекает в нагнетательной скважине 48 одного локализованного объекта 46, проходит через энергетическую установку 54 для передачи тепловой энергии, а затем выходящий из этой энергетической установки поток направляется в качестве входного потока в нагнетательную скважину 48 соседнего локализованного объекта 46. Пунктирной линией 62 показана эта простая или шлейфовая передача текучей среды. Извлекается не все тепло, поэтому поток для скважины 48 соседнего локализованного объекта перед нагнетанием в поперечный соединительный канал 50 предварительно нагревают. Процесс повторяется на соседнем локализованном объекте 46. Для удобства ремонта, анализа и т.д. пре-

дусмотрен обходной контур 64 в обход энергетической установки 54.

Чтобы приспособиться к различным геологическим, экологическим, термическим и другим условиям, может быть использована система из множественных поперечных соединительных каналов 50, как это можно видеть на фиг. 9А. Эти многоканальные системы 66 образуют кольцеобразные структуры на удалении от поперечных соединительных каналов 50 соседнего участка. В зависимости от конкретных обстоятельств возможна другая структура многоканальных систем 66. Отдельные поперечные соединительные каналы 50 одной и той же системы 66 образуют соединение, работающее подобно единому поперечному соединительному каналу 50. В зависимости от условий, которые упоминались выше, по такой схеме могут быть выполнены все или некоторые локализованные объекты 46. Предусмотрена также возможность чередования участков с единственным поперечным соединительным каналом 50 с участками с многоканальными системами 66. Многоканальные системы 66 обеспечивают увеличение общей пропускной способности и объема вырабатываемой электроэнергии. В случаях, когда некоторые локализованные объекты 46 находятся на более близком расстоянии друг к другу, для поддержания баланса извлекаемого тепла можно использовать большее количество многоканальных систем 66. Система скважин, изображенная на фиг. 9, обеспечивает мощность от 12000 до 20000 кВт.

На фиг. 11 проиллюстрирован еще один вариант осуществления предлагаемого изобретения, представляющий собой систему скважин, обеспечивающую мощность от 8000 до 12000 кВт. В этом варианте отдельные контуры соединены в центральном локализованном объекте 68 для централизации энергетического оборудования (не показано) с целью увеличения выработки энергии и повышения КПД.

На фиг. 12 и 13 проиллюстрированы системы скважин, обеспечивающие более низкие значения мощности вырабатываемой энергии: от 4000 до 6000 кВт (фиг. 12) и от 2000 до 3000 кВт (фиг. 13).

Одним из значительных преимуществ эксплуатации шлейфовой системы скважин является отсутствие необходимости в приповерхностном обратном трубопроводе. Когда он требуется, как это случается в известных системах со скважинным контуром, капиталовложения превышают 10% от общих проектных основных средств, может возникнуть необходимость договариваться о полосе отчуждения, и в результате имеют место потери тепла при понижении температуры на 3-5°C и потери давления, что приводит к снижению КПД.

В отличие от этого при шлейфовом соединении благодаря переднезаднему соединению скважинных контуров отпадает потребность в приповерхностном обратном трубопроводе. Кроме того, спаренные контуры работают в качестве обратных трубопроводов друг для друга, так что пара использует рассеиваемое тепло для предварительного нагрева потока, о котором говорилось выше.

В числе других преимуществ можно назвать увеличение выработки энергии без разрушения поверхности (то есть без воздействия на окружающую среду), так как все находится в геологической среде, под поверхностью, и расстояние между локализованными объектами 46 сокращено. И если благодаря повышенной температуре предварительно нагретого подаваемого потока можно использовать более короткий поперечный соединительный канал 50, то соответственно сокращаются и расходы.

На фиг. 14 схематично изображен участок 70, разбуренный рассредоточенными неиспользуемыми скважинами 72.

На фиг. 15 изображен тот же участок, что и на фиг. 14, только вблизи неиспользуемых скважин 72 изображены новые скважины 74, 76, 78, 80, 82, 84, 86 и 88.

На фиг. 16 схематично изображен основной узел 90. Хотя это и не отображено особо, основной узел 90 представляет собой разветвленную систему, в которой каждая из новых скважин, например скважин 74, 76, 78 и 80, сообщена [с соответствующей неиспользуемой скважиной 72], что более подробно будет описано ниже. Относящиеся к основному узлу 90 новые скважины 74, 76 и 78 пробурены на расстоянии друг от друга и от неиспользуемых скважин 72, связанных с основным узлом 90. Каждая из новых скважин 74, 76 и 78 сообщена с близлежащей неиспользуемой скважиной 72. Сообщение с возможностью переноса текучей среды обеспечено с помощью трубопроводов 92 и 94. Трубопроводы 92 расположены под поверхностью 96, а именно в геотермической зоне 98. Что касается трубопроводов 94, то они, как можно видеть, в рассматриваемом варианте находятся выше поверхности 96, но они могут быть и ниже поверхности 96, как это будет показано в последующих вариантах.

В рассматриваемом варианте каждая из новых скважин 74, 76 и 78 для удобства соединена с соответствующей неиспользуемой скважиной 72 с образованием кластера используемых по новому назначению скважин 72.

Ссылки могут делаться одновременно на фиг. 16 и 17, при этом для ясности на фиг. 17 не показаны трубопроводы 92 и 94. Изображенный на фиг. 16 кластер в целом обозначен позицией 100. Такая кластеризация эффективна с точки зрения присоединения других кластеров 100, как это можно видеть на фиг. 17. Новые скважины 74, 76 и 78, связанные с данным основным узлом 90, присоединяют другие кластеры 100 с помощью используемых по новому назначению старых скважин 72 соседнего кластера 100. Такие связи обозначены позициями 102. При таком решении в отличие от малопродуктивного скопления неиспользуемых скважин 72, изображенного на фиг. 15, кластеры 100 собраны в консолидированную систему сбора энергии. Такое решение обеспечивает высокую эффективность наземного сбора геотермальной энергии.

Геотермальные установки с замкнутым контуром предлагались и в источниках, обсужденных выше, однако на уровне техники не было адекватного предложения по наземному сбору энергии с минимальным геологическим и экологическим вмешательством и с консолидированной системой выработки энергии.

На фиг. 18 графически изображена нелинейная зависимость энтальпии от температуры для водного раствора, содержащего сульфат магния в концентрации 20 мас.%, при давлении 40 МПа. Это пример термодинамического поведения текучей среды, используемой в предлагаемом изобретении. Конкретный химический состав текучей среды, используемой на практике, зависит от таких условий, как температура геологической среды, использование тепла непосредственно или с превращением в электрическую энергию, конкретные температуры на входе и на выходе, протяженность и конфигурация скважины и т.д.

Предлагаемым изобретением предусмотрен новый способ выработки энергии с помощью уникальной системы с замкнутым контуром в разных геологических средах с использованием уникальных текучих сред.

Описаны интегрированные и сегрегированные контуры с усовершенствованными текучими средами, обеспечивающими извлечение тепла, повышенное по сравнению с уровнем техники.

Разветвленные поперечные участки контура, соединяющиеся воедино у входа и выхода, рассмотрены во многих отношениях, не в последнюю очередь - с точки зрения усовершенствования существующих систем с замкнутым контуром.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Применение текучей среды, имеющей нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C, в качестве циркуляционной рабочей среды в системе скважин с замкнутым контуром, имеющей впускную скважину, выпускную скважину и поперечное соединение между ними, для извлечения энергии.

2. Способ выработки энергии, содержащий следующие стадии:

обеспечивают наличие замкнутого скважинного контура, имеющего вход и выход, соединенные поперечным соединением, выполненным в геологической среде,

обеспечивают наличие энергетической установки, находящейся в оперативном соединении с упомянутым скважинным контуром,

с целью извлечения из геологической среды тепловой энергии для достижения максимума температурного перепада и теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой осуществляют циркуляцию рабочей текучей среды, имеющей в упомянутом поперечном соединении нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

охлаждают упомянутую рабочую текучую среду перед ее повторным введением на входе в упомянутый скважинный контур и

превращают тепловую энергию текучей среды в электрическую.

3. Способ перепрофилирования для целей извлечения тепловой энергии бывшей нефтеносной площади, на которой остались ранее действовавшие продуктивные и нагнетательные скважины, пробуренные в геологической среде на расстоянии друг от друга, содержащий следующие стадии:

обеспечивают наличие первого узла, имеющего продуктивную скважину и первую нагнетательную скважину, сообщенную с энергетической установкой,

на расстоянии от упомянутого первого узла обеспечивают наличие второго узла, имеющего продуктивную скважину и вторую нагнетательную скважину, сообщенную с энергетической установкой,

соединяют упомянутые первый узел и второй узел подземным горизонтальным соединением, выполненным в теплоносной геологической среде,

с целью извлечения из геологической среды тепловой энергии для достижения максимума температурного перепада и теплопередачи между текучей средой и окружающей геологической средой осуществляют циркуляцию нагретой текучей среды на выходе из энергетической установки первого узла ко входу энергетической установки второго узла по упомянутому подземному горизонтальному соединению, при этом упомянутая текучая среда в этом подземном горизонтальном соединении имеет нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C, и

превращают эту тепловую энергию текучей среды в электрическую энергию.

4. Способ производства энергии, содержащий следующие стадии:

обеспечивают наличие оставленной нефтеносной площади, имеющей пары нагнетательных и продуктивных скважин,

соединяют энергетическую установку между продуктивной скважиной одной пары скважин и нагнетательной скважиной соседней пары скважин в подземный контур, имеющий по меньшей мере одно поперечное соединение между упомянутой продуктивной скважиной и упомянутой нагнетательной скважиной, при этом упомянутое поперечное соединение выполняют внутри теплоносной геологической среды,

для извлечения посредством этого контура тепловой энергии подземного пласта осуществляют циркуляцию текучей среды по этому контуру, при этом упомянутая текучая среда с целью достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой в упомянутом поперечном соединении имеет нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C,

и

используют тепловую энергию этой текучей среды непосредственно и/или превращают ее в электрическую энергию.

5. Способ извлечения геотермальной энергии, содержащий следующие стадии:

бурят в геологической среде первую в целом U-образную скважинную структуру и на расстоянии от нее вторую в целом U-образную скважинную структуру, при этом упомянутая геологическая среда является теплоносной,

обеспечивают наличие энергетической установки,

соединяют под землей упомянутую энергетическую установку с выходом упомянутой первой U-образной скважинной структуры и входом упомянутой второй U-образной скважинной структуры с помощью поперечного соединения,

с целью извлечения из геологической среды тепловой энергии через обе скважинные структуры осуществляют циркуляцию текучей среды для достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи между окружающей теплоносной геологической средой в зоне поперечного соединения упомянутой U-образной скважинной структуры и текучей средой, имеющей нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C, и превращают тепловую энергию, извлеченную из этой текучей среды, в электрическую энергию.

6. Способ получения геотермального теплообменника, содержащий следующие стадии:

обеспечивают наличие неиспользуемой пробуренной скважины,

бурят вторую скважину на расстоянии от упомянутой неиспользуемой скважины,

соединяют упомянутую неиспользуемую скважину и упомянутую вторую скважину в геотермической зоне и расположенной на расстоянии от нее второй зоне в непрерывный контур, имеющий по меньшей мере одно поперечное соединение,

с целью обеспечения теплообмена в упомянутом контуре осуществляют циркуляцию через этот контур текучей среды, при этом упомянутая текучая среда с целью достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи между текучей средой и окружающей геотермической зоной в упомянутом поперечном соединении имеет нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C.

7. Способ вторичного использования неиспользуемых пробуренных скважин, содержащий следующие стадии:

назначают первую неиспользуемую скважину в качестве приемной станции,

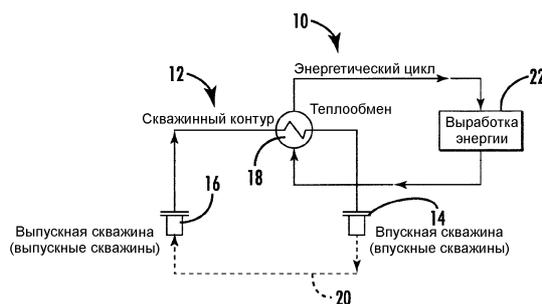
бурят вторую, новую, скважину рядом с этой скважиной - приемной станцией,

бурят еще по меньшей мере одну третью, новую, скважину на расстоянии как от приемной станции, так и от второй, новой, скважины,

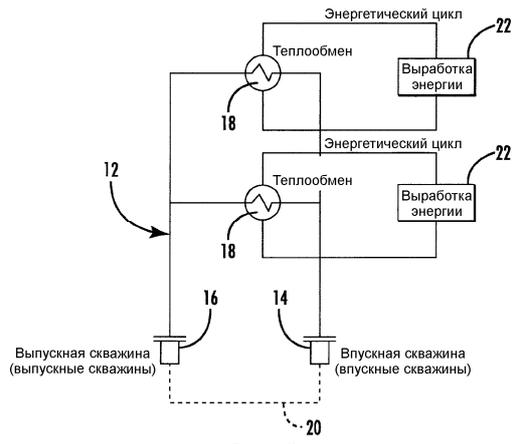
обеспечивают сообщение с возможностью переноса текучей среды между каждой из обеих новых скважин и приемной станцией в отдельные замкнутые контуры, каждый из которых имеет по меньшей мере одно поперечное соединение, при этом первый участок каждого контура находится в геотермической зоне, а второй его участок находится над этой геотермической зоной,

с целью извлечения из геологической среды тепловой энергии осуществляют циркуляцию рабочей текучей среды в упомянутых контурах, при этом упомянутая рабочая текучая среда для достижения максимального температурного перепада и максимальной теплопередачи между текучей средой и окружающей теплоносной геологической средой в упомянутом поперечном соединении имеет нелинейную зависимость энтальпии от температуры при давлениях выше 10 МПа и температурах ниже 180°C, и

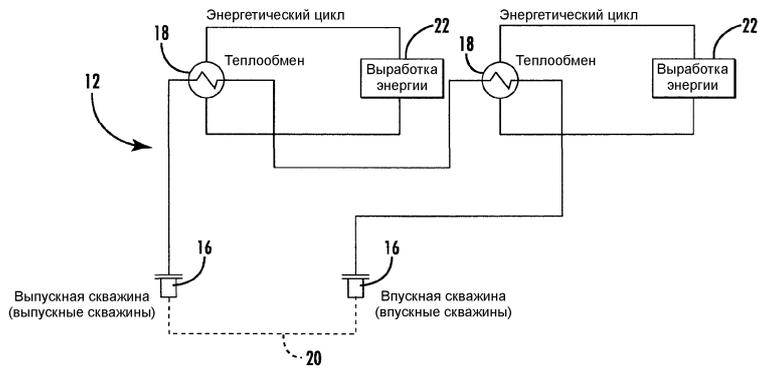
извлекают тепловую энергию из упомянутой геотермической зоны.



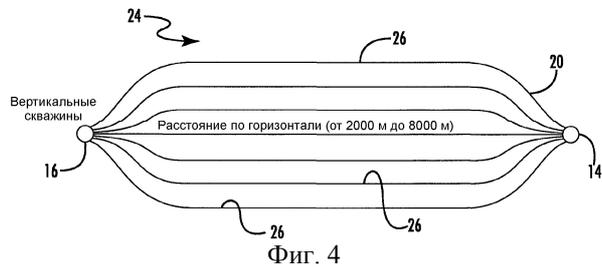
Фиг. 1



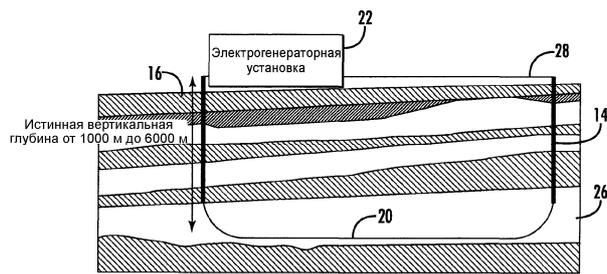
Фиг. 2



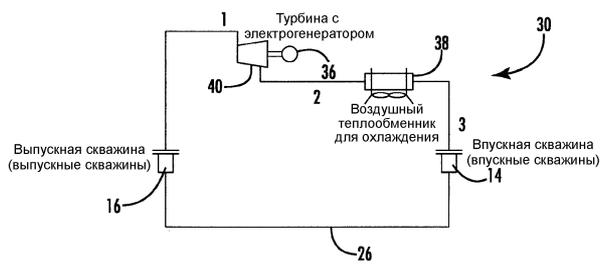
Фиг. 3



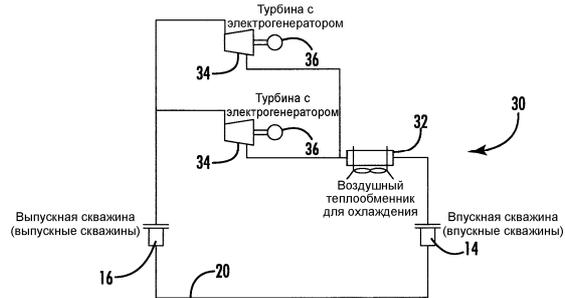
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

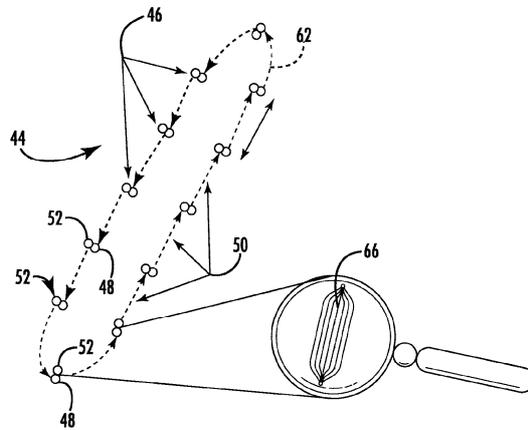


Фиг. 7

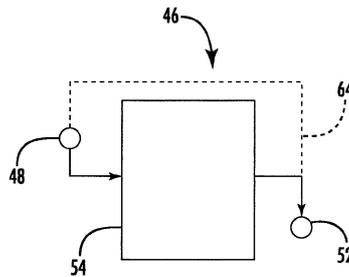


- Температура геологической среды (°C)
- ◇-- Известная текучая среда с практически линейной зависимостью энтальпии от температуры (°C)
- Текучая среда с существенно нелинейной зависимостью энтальпии от температуры (°C)

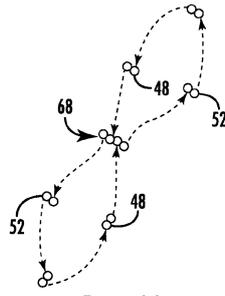
Фиг. 8



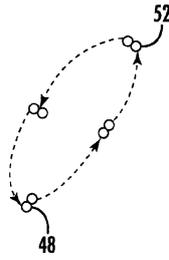
Фиг. 9



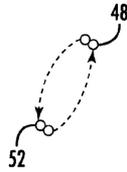
Фиг. 10



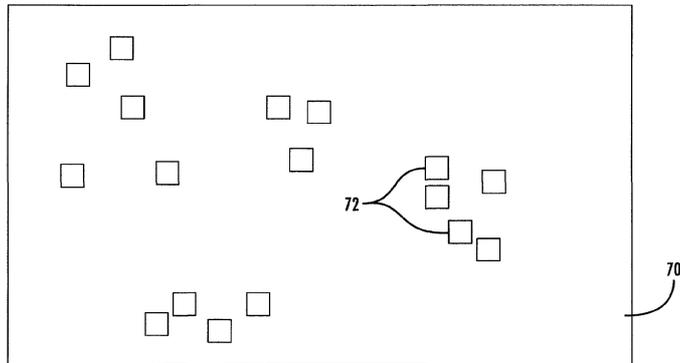
Фиг. 11



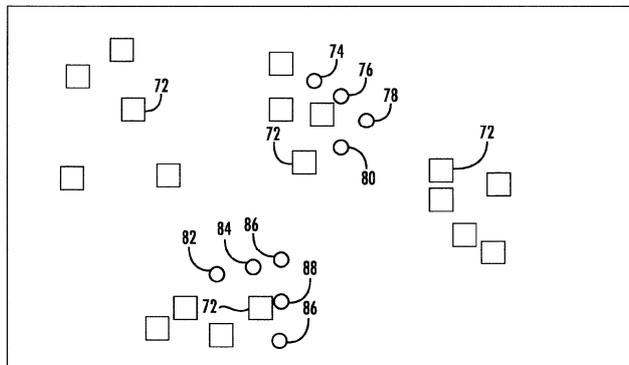
Фиг. 12



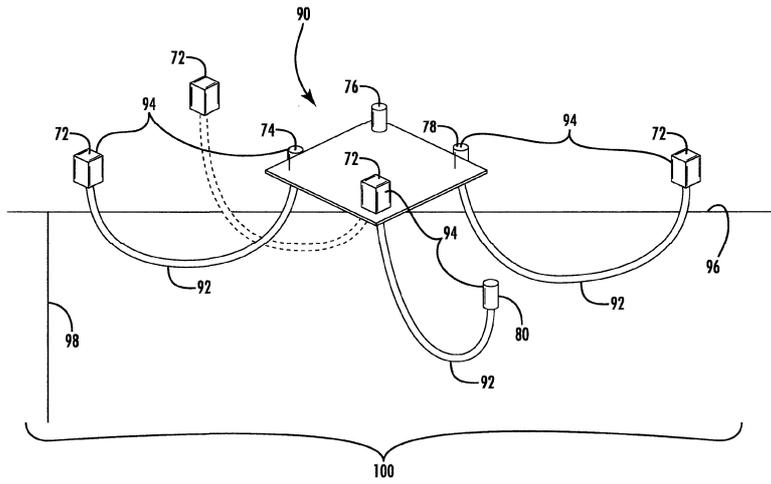
Фиг. 13



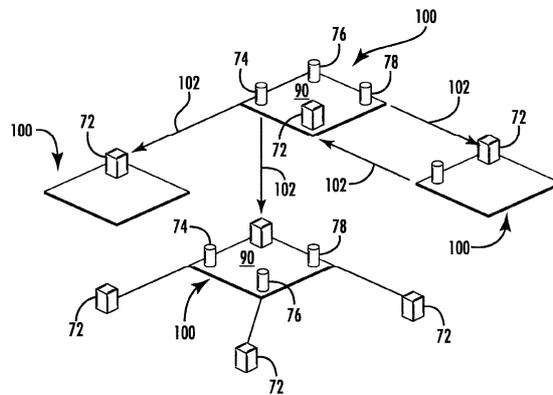
Фиг. 14



Фиг. 15

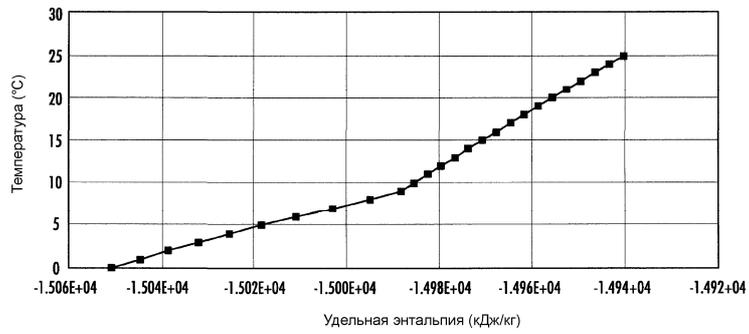


Фиг. 16



Фиг. 17

Нелинейная зависимость энтальпии от температуры сульфата магния



Фиг. 18

