

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038563**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.09.15

(21) Номер заявки
202091861

(22) Дата подачи заявки
2019.01.25

(51) Int. Cl. **F01K 7/16** (2006.01)
F01K 11/02 (2006.01)
F01K 19/08 (2006.01)
F22B 1/16 (2006.01)
F22B 3/04 (2006.01)

(54) ГЕОТЕРМАЛЬНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО

(31) **AP 2018 14694**

(32) **2018.02.06**

(33) **GE**

(43) **2020.10.30**

(86) **PCT/GE2019/050001**

(87) **WO 2019/155240 2019.08.15**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ИОРАМАШВИЛИ СОЛОМОН;
КОЧЛАДЗЕ ШАЛВА; БЕРИДЗЕ
ЭНРИКО (GE)**

(72) Изобретатель:
**Иорамашвили Соломон, Кочладзе
Шалва, Джинчарадзе Давид (GE)**

(74) Представитель:
Носырева Е.Л. (RU)

(56) **DE-U1-202013101546**
GB-A-318486
GB-A-1255154
US-A1-2013152578
US-A1-2016363350
WO-A1-2009014480

(57) Техническим результатом предлагаемого геотермального энергетического устройства является повышение его коэффициента полезного действия (CE), упрощение и удешевление конструкции. Геотермальное энергетическое устройство содержит направленную вниз и направленную вверх трубы, которые заполнены жидким теплоносителем и помещены в ствол скважины; они соединены между собой посредством теплообменника в глубине ствола скважины. Направленная вниз труба снабжена несколькими механическими обратными клапанами; на той же трубе также установлен насос для подачи вниз теплоносителя (например, изобутана). Конец направленной вверх трубы на поверхности земли направлен в сторону паровой турбины конденсационного типа, снабжен управляемым (например, электромагнитным) клапаном и повернут к упомянутой турбине соплом Лавалля. Энергетическое устройство дополнительно содержит устройство управления частотой/продолжительностью записания и отпираания упомянутого управляемого клапана.

B1**038563****038563****B1**

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к геотермальному энергетическому устройству с бинарным циклом принудительной конвекции для выработки различных видов энергии, в том числе электроэнергии. Его техническим результатом является увеличение коэффициента полезного действия (CE), упрощение конструкции и снижение затрат.

Предпосылки создания изобретения

Бинарный цикл - это термодинамический цикл с использованием двух рабочих тел, одно из которых характеризуется низким давлением насыщения в условиях высокой температуры, а другое - низкой температурой испарения. В нашем случае одно рабочее тело находится в недрах земли, в стволе скважины - это естественно существующая горячая вода (или горячий газ в том же, но сухом пространстве), а другое тело - это теплоноситель, например изобутен, который перекачивается под высоким давлением и помещается в замкнутый контур из восходящей и нисходящей труб. Что касается сущности цикла, его функция состоит в том, чтобы переносить геотермальную энергию из недр земли на поверхность для ее дальнейшего прямого использования и/или преобразования в механическую и/или электрическую энергию. Процесс движения энергии к поверхности осуществляется за счет теплообмена между рабочими телами.

Геотермальная энергия - это энергия естественного тепла Земли. Широко известно, что это тепло можно использовать посредством ствола скважины. Геотермический градиент (изменение температуры в зависимости от глубины) в скважине составляет в среднем 2,5-3°C на каждые 100 м. Это тепло выходит на поверхность земли в виде пара или горячей воды. Такое тепло можно использовать непосредственно для отопления домов и зданий и/или выработки энергии. Существует три типа геотермальных электростанций: установки сухого пара, установки горячего водяного пара и установки с бинарным циклом.

Несмотря на то, что геотермальные электростанции имеют много преимуществ (вырабатываемая энергия является возобновляемой, круглосуточной, "зеленой", не требует каких-либо дополнительных затрат, кроме некоторых затрат на профилактику и обслуживание и т.д.), они все же характеризуются рядом недостатков, препятствующих широкому использованию этих типов электростанций.

В целом основным недостатком всех трех типов геотермальных электростанций является то, что они нуждаются в круговороте воды (как правило, возобновляемой подаче (заправке) в горизонте подземных вод. Для этой цели необходим дополнительный ствол скважины и соответствующая инфраструктура. Это значительно снижает рентабельность таких электростанций. Нередки случаи, когда чрезмерное закачивание использованной воды в грунт также вызывает остановку электростанции.

Недостатком геотермальных электростанций является выброс легковоспламеняющихся и/или токсичных газов и минералов из эксплуатационного туннеля на поверхность земли. Это, в свою очередь, приводит к дополнительным затратам на их утилизацию и нейтрализацию.

Основная проблема (особенно для геотермальных электростанций с бинарным циклом) - это необходимость крупномасштабной наземной инфраструктуры и, как следствие, сокращение земельных ресурсов. Это особенно важно для стран с нехваткой земли. В геотермальных электростанциях с бинарным циклом эта инфраструктура обеспечивает эффективный теплообмен между источником термальной воды, выходящей на поверхность земли, и теплоносителем (рабочим телом). Чем больше наземная инфраструктура, тем больше объем теплоносителя и, следовательно, выше мощность электростанции. Однако, кроме ограничений на использование земельных ресурсов для инфраструктуры электростанции, существуют и другие проблемы: объем теплоносителя ограничен потоком поднимающейся термальной воды и температурой этого ресурса на поверхности. По этой причине значительное увеличение количества теплоносителя, даже если будут преодолены трудности наземной инфраструктуры, не может гарантировать повышение мощности электростанции. Геотермальные ресурсы на Земле довольно многочисленны, и большинство характеристик заключается в том, что электростанции с бинарным циклом будут работать успешно, однако из-за этих проблем развитие геотермальной энергии не способно реализовать свой потенциал.

Геотермальная электростанция с бинарным циклом - это тип геотермальной электростанции, которая вырабатывает электроэнергию из относительно прохладных геотермальных резервуаров (в отличие от электростанций с сухим паром и горячим водяным паром, которые вырабатывают электричество путем направления сухого пара (с температурой 150°C и выше) и горячего водяного пара (с температурой 180°C и выше) на турбину. Поскольку температура воды на поверхности земли на геотермальных электростанциях с бинарным циклом недостаточно высока для получения водяного пара (в большинстве геотермальных источников она составляет менее 100°C), термальная вода с поверхности земли закачивается в так называемый теплообменник, в котором последний передает тепло второму (бинарному) теплоносителю. В условиях стандартного атмосферного давления температура кипения теплоносителя значительно ниже, чем у воды (теперь в качестве бинарного теплоносителя используется, например, изобутен или смесь изобутена и изопентана). Бинарный теплоноситель, который генерирует энергию при переходе из жидкой в газобразную фазу, направляется на турбину таких электростанций. Бинарный теплоноситель находится в замкнутом контуре. Из турбины пар теплоносителя возвращается в жидкий конденсат и перекачивается в теплообменник для запуска нового цикла. Что касается использованной геотермальной

воды, она закачивается в водосодержащие породы через нисходящий ствол скважины.

Информация о работе геотермальной электростанции бинарного цикла размещена на сайте https://en.wikipedia.org/wiki/Binary_cycle.

Геотермальные энергетические устройства и способы получения энергии приведены в источниках RU 2621440 C1; RU 84922 U1; RU 2000111435 A; RU 2011121001 A; RU 2009131111 A; RU 2008114536 A.

Известна также геотермальная электростанция, которая забирает тепло от геотермальной руды с помощью двух, восходящей и нисходящей, труб, вставленных в два ствола скважины; они соединены друг с другом посредством теплообменника таким образом, что жидкость по нисходящей трубе перемещается в восходящую, при этом на нисходящей трубе на поверхности земли установлен насос, а на восходящей трубе - турбина (WO 2015132404 A1).

Известны также двойной способ и устройство отбора геотермальной энергии, которое предусматривает устройство ствола скважины с двумя, восходящей и нисходящей, трубами. В каждом стволе скважины размещены две разные контурные трубы, которые соединены с водяной системой, проходящей через почву (см. US 3975912 A).

Известна также система отвода тепла от геотермальной руды и геотермальная электростанция, которая содержит две, восходящую и нисходящую, трубы, отводимые от поверхности земли; они соединены друг с другом посредством термоцилиндра таким образом, что жидкость, превращенная в пар из нисходящей трубы, проходит через термоцилиндр в восходящую трубу. На поверхности земли установлено устройство, которое отводит тепло от рабочего тела и переводит его в тепловую энергию (см. WO 2012114297 A2).

Наиболее близкой к представленному изобретению по существенным признакам является геотермальная система теплообмена, содержащая восходящую и нисходящую трубы, опущенные с поверхности земли в один ствол скважины; они соединены друг с другом бойлером (теплообменником) таким образом, что жидкость из нисходящей трубы проходит через бойлер в восходящую трубу. На поверхности земли на нисходящей трубе размещен насос с целью закачки жидкости в трубу, а турбина прикреплена к восходящей трубе, которая также соединена с теплообменниками для отвода тепла и конденсации от использованного пара. Следовательно, конденсат (жидкость) снова подается в насос (см. US 3470943).

Все указанные устройства и способы имеют в той или иной степени недостатки, описанные выше.

Цель изобретения

Целью и техническим результатом представленного изобретения является повышение коэффициента полезного действия (СЕ) геотермальной энергетической установки, упрощение конструкции и снижение затрат.

Раскрытие изобретения

Технический результат достигается за счет того, что заявленное геотермальное энергетическое устройство содержит по меньшей мере две, восходящую и нисходящую, трубы, заполненные жидким теплоносителем и выводимые с поверхности земли в замкнутый от земли ствол скважины; они соединены между собой посредством теплообменника в глубине ствола скважины. В дополнение к этому нисходящая труба оснащена одним или несколькими последовательными механическими, подающими вниз (односторонними) клапанами; на поверхности земли на ней установлен насос, закачивающий теплоноситель (конденсат его пара). Конец восходящей трубы на поверхности земли направлен к паровой турбине. Энергетическое устройство также содержит трубу, по которой передается пар теплоносителя и его конденсат из турбины в упомянутый насос.

Согласно формуле изобретения оно имеет следующие отличительные признаки:

конец восходящей трубы снабжен управляемым клапаном, но энергетическое устройство дополнительно содержит устройство, которое управляет продолжительностью/частотой запираания-отпираания упомянутого клапана;

пар теплоносителя, выбрасываемый из управляемого клапана, через сопло направляется в турбину; упомянутое сопло выполнено в виде "сопла Лавала";

конец восходящей трубы снабжен электромагнитным или электромеханическим управляемым клапаном;

конец восходящей трубы направлен в сторону паровой турбины конденсационного типа;

в качестве теплоносителя используется низкотемпературное испаряющееся вещество, например изобутан или смесь изобутана и изопрена;

ствол скважины в одностороннем порядке закрывается только с поверхности земли.

Варианты осуществления изобретения

Сущность изобретения изложена в графических материалах, на которых представлены

на фиг. 1 - принципиальная схема работы геотермального энергетического устройства;

на фиг. 2 - теплоноситель направлен в сторону паровой турбины; диаграмма изменения температуры, давления и скорости пара теплоносителя, а также компоновка управляемого клапана.

Представленное геотермальное энергетическое устройство содержит восходящую (3) и нисходящую (4) трубы, соединенные непрерывным (соединенным) контуром от поверхности земли (2) в ствол (1) скважины. На нисходящей трубе на поверхности земли установлен насос (5). Восходящая и нисходя-

щая трубы в глубине ствола скважины соединены с теплообменником (6). Конец восходящей трубы на поверхности земли направлен на паровую турбину конденсационного типа (7), которая подключена к электрогенератору (8). Энергетическое устройство содержит конденсатор (9) отработанного пара паровой турбины, а также трубу для подвода конденсата к насосу. Конец восходящей трубы снабжен управляемым клапаном (10) с управляющим (в том числе, возможно, компьютерным) устройством (на фигурах не показано). Управляемый клапан может быть разных типов, в том числе электромагнитным или электромеханическим, и может иметь возможность управления с регулировкой длительности/частоты запира-отпира. Между указанным управляемым клапаном и паровой турбиной размещено паровое сопло (11), которое выполнено в виде "сопла Лавала". Нисходящая труба оснащена по меньшей мере одним (несколькими) обратным клапаном (12), который позволяет теплоносителю, закачиваемому в трубу, течь только в одном направлении (к теплообменнику). Для предотвращения утечки термальной воды и/или распыления попутных вредных газов в атмосферу ствол скважины закрывается защитной крышкой (13).

Геотермальное энергетическое устройство работает следующим образом.

Первоначально в запертом положении управляемого клапана (10) нисходящая (4) и восходящая (3) трубы заполняются теплоносителем - изобутаном. Это делается посредством насоса (5). В результате закачивания изобутан в трубах переходит в жидкое состояние и в систему закачивается максимальный объем изобутана. Геотермальная энергия в глубине ствола скважины вызывает повышение температуры жидкого изобутана в трубах (3, 4) и теплообменнике (6) (однако, несмотря на повышение температуры, теплоноситель не испаряется в условиях высокого давления). После достижения определенных "рабочих" показателей давления и температуры ("рабочие" показатели зависят от конфигурации энергетического устройства, глубины расположения теплообменника, характеристик геотермального источника и т.д.), открывают управляемый клапан (10). В результате включают подачу энергии. При каждом открытии управляемого клапана с конца восходящей трубы распыляется пар жидкого изобутана (который имеет как потенциальную, так и кинетическую энергию); он распыляется в сопле (11) и поступает в паровую турбину (7). Из-за перемещения от управляемого клапана (10) в переходную зону сопла (11) Лавала температура теплоносителя "Т" и давление "Р" резко падают, его состояние изменяется (из жидкого в газообразное), а скорость "V" его пара увеличивается в зоне ускорения сопла Лавала. Следовательно, кинетическая энергия теплоносителя значительно увеличивается (пропорционально квадрату скорости), что вызывает эффективную работу паровой турбины (7) - вращение. Вращение турбины передается генератору (8), и вырабатывается электроэнергия. Из турбины (7) конденсационного типа отработанный пар теплоносителя проходит через конденсатор (9), возвращается в жидкое состояние, и жидкость возвращается в нисходящую трубу посредством насоса (5). Продолжительность/частота запира-отпира управляемого клапана (10) в упомянутом процессе регулируется (механически или автоматически, например, с помощью компьютера) таким образом, чтобы длительность/частота его запира-отпира соответствовала параметрам компонентов энергетического устройства (объему восходящих и нисходящих труб и теплообменника, следовательно, объему теплоносителя в системе; режиму и производительности насоса; характеристикам геотермального источника; конфигурации сопла и т.д.) с целью достижения максимально возможной кинетической энергии теплоносителя, "упавшего" на турбину. С помощью регулирования этого клапана эмпирически достигается оптимальный режим и установка геотермального энергетического устройства для максимального эффекта (хотя теоретический расчет такого режима вполне возможен). Такое регулируемое энергетическое устройство может быть "откалибровано" только после периодического ремонта или других работ по техническому обслуживанию.

В отличительной части пунктов формулы изобретения указаны существенные признаки и достигнутые результаты, имеющие следующую причинно-следственную связь.

В геотермальном энергетическом устройстве (например, в электростанции) принудительного конвективного цикла теплообмен происходит внутри ствола геотермальной скважины в недрах земли (см. фиг. 1), а не на поверхности земли. Для этой цели можно использовать как существующие стволы гидротермальной (с горячей водой) скважины (1), так и стволы петротермальной (так называемые сухие, пустые, например, отработанные нефтяные или природно-газовые) скважины.

В стволе геотермальной (петротермальной или гидротермальной) скважины, заделанном в месте выхода на поверхность земли (13), с поверхности земли (2) спускаются две трубы: нисходящая (4) и восходящая (3). В глубине ствола скважины эти две трубы соединены друг с другом посредством теплообменника (6) таким образом, что подвижный теплоноситель посредством насоса (5) переходит в нисходящую трубу; пройдя теплообменник, он переходит в поднимающуюся трубу. По всей длине нисходящей трубы установлено несколько механических обратных клапанов (12), которые проводят теплоноситель (в жидком состоянии) только в одном направлении. Теплообменник, нисходящая и восходящая трубы должны быть выполнены из термостойкого и устойчивого к давлению материала. Подвижный теплоноситель (рабочее тело) аналогичен рабочему телу, используемому в геотермальных электростанциях с бинарным циклом. Вышеописанная инфраструктура является подземной частью настоящего изобретения. С целью увеличения стимуляции фазового перехода бинарного теплоносителя, а также коэффициента полезного действия системы в надземной инфраструктуре восходящая труба соединяется с турбиной посредством так называемого "импульсного ускорителя" (фиг. 2), который состоит из управляемого (на-

пример, электромагнитного) клапана (10) и сопла (11) Лавая. Управляемый клапан работает ("пульсирует" - открывается и закрывается) с некоторой частотой. Клапан должен "пульсировать" с такой продолжительностью/частотой, которая обеспечит резонансное увеличение кинетической энергии газа из сопла (пара теплоносителя). Известно, что кинетическая энергия прямо пропорциональна квадрату скорости $E=0,5mv^2$. Следовательно, резонансное увеличение скорости теплоносителя приведет к резонансному увеличению кинетической энергии, что, в свою очередь, дает резкое повышение коэффициента полезного действия электростанции. Что касается самой резонансной частоты, то она определяется частотой колебаний газа (теплоносителя, бинарного рабочего тела), выходящего в сопло, что, в свою очередь, зависит от многих факторов, в том числе геометрии сопла и клапана, выбранного рабочего тела, разности между давлением (в восходящей трубе и турбинном отсеке), температуры рабочего тела в восходящей трубе, характеристик геотермального источника и т.д.

Тот факт, что выход распыленного газа из клапана имеет определенную частоту колебаний, и ее можно теоретически вычислить, подтверждается следующими источниками:

http://www.transformacni-technologie.cz/en_40.html, <http://www.neftemagnat.ru/enc/>.

Запертый управляемый клапан (10), насос (5) и механический обратный клапан (клапаны) (12) нисходящей трубы позволяют создавать такое давление, при котором теплоноситель остается жидким, несмотря на значительное превышение температуры кипения в теплообменнике (6) и восходящей трубе (3).

Следовательно, открытие управляемого клапана (10) из-за разности давлений между восходящей трубой и турбинным отсеком (где присутствует атмосферное давление) определяет фазовый переход теплоносителя (имитацию "микровзрыва"), создавая ударную волну. Резонансное увеличение кинетической энергии ударной волны описано выше.

Наземная инфраструктура, за исключением камеры теплообменника, "импульсного ускорителя" и сопутствующих конструкций, подобна существующей инфраструктуре геотермальных электростанций с бинарным циклом. Соответственно на поверхности земли (2) представлены насос (5) с целью закачки теплоносителя в нисходящую трубу (4), турбина (7), прикрепленная посредством "импульсного ускорителя" (фиг. 2) к восходящей трубе, необходимый конденсатор (9) для охлаждения теплоносителя из турбины (для перевода его в жидкое состояние) и генератор (8) для выработки электроэнергии.

Перенос процесса теплообмена под землю и добавление импульсного ускорителя к турбинному отсеку дает следующие преимущества:

- 1) реализован прямой доступ к неограниченному источнику энергии, что позволяет электростанции увеличивать свою мощность за счет увеличения объема теплоносителя;
- 2) размещение электростанций в стволах петротермальной скважины возможно даже в местах, где нет гидротермальных природных ресурсов;
- 3) нет необходимости в дополнительном бурении ствола скважины (наиболее дорогостоящей части геотермальной электростанции) для закачки воды в подземные горизонты и, следовательно, отпадает необходимость в расходах на закачку использованной воды в грунт;
- 4) отсутствуют потери гидротермальных ресурсов;
- 5) сероводород больше не распыляется в атмосферу, и нет необходимости создавать инфраструктуру для утилизации токсичных и легковоспламеняющихся минералов и газов;
- 6) за счет экономии наземной инфраструктуры, экономятся земельные ресурсы, необходимые для электростанции;
- 7) повышается коэффициент полезного действия геотермальных электростанций.

Изобретение устранит некоторые факторы, препятствующие широкому использованию геотермальной энергии. Следовательно, будет широко внедрена возобновляемая, неограниченная, круглосуточная, экологическая геотермальная электрическая и тепловая генерация с соответствующими экономическими, экологическими и социальными преимуществами.

Изобретение будет способствовать значительному увеличению производства возобновляемой, бесперебойной, круглосуточной, "зеленой", экономичной электрической и тепловой энергии. Повышение доступности соответствующего продукта (электроэнергии и тепла) для широкого круга населения, а также для организации экономичных теплиц и холодильных хозяйств там, где это дорого.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Геотермальное энергетическое устройство, содержащее нисходящую и восходящую трубы, размещенные в стволе скважины, односторонне закрытом только с поверхности земли, заполненные жидким теплоносителем и соединенные друг с другом посредством теплообменника в глубине ствола скважины, при этом нисходящая труба оснащена по меньшей мере одним или несколькими последовательными механическими обратными клапанами, и на нисходящей трубе на поверхности земли также установлен насос для подачи вниз теплоносителя и конденсата его пара, и конец восходящей трубы на поверхности земли соединен с паровой турбиной, которая, в свою очередь, соединена с указанным насосом посредством трубопровода и конденсатора пара для конденсации и подачи в насос отработанного пара, прошедшего через турбину, отличающееся тем, что конец восходящей трубы соединен с турбиной по-

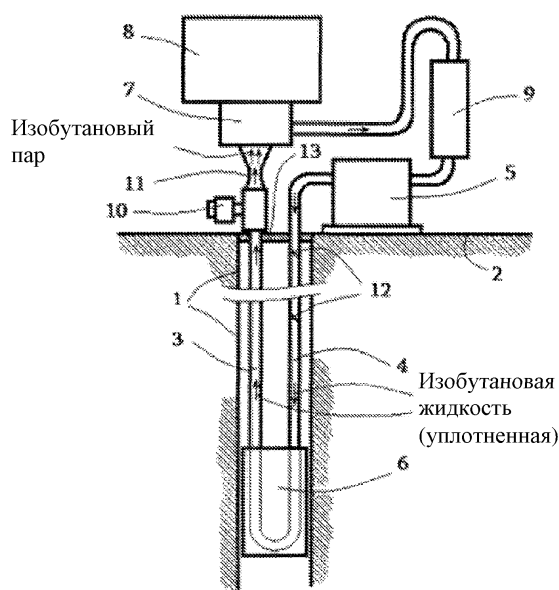
средством импульсного ускорителя, состоящего из управляемого клапана, предназначенного для преобразования теплоносителя из жидкого в газообразное состояние, устройства управления, которое управляет продолжительностью и частотой открытия-закрытия клапана с целью генерирования колебаний пара теплоносителя на резонансной частоте, и сопла, направленного в турбину, которое ускоряет пар теплоносителя, который распыляется через клапан.

2. Геотермальное энергетическое устройство по п.1, отличающееся тем, что указанное сопло выполнено в виде "сопла Лаваля".

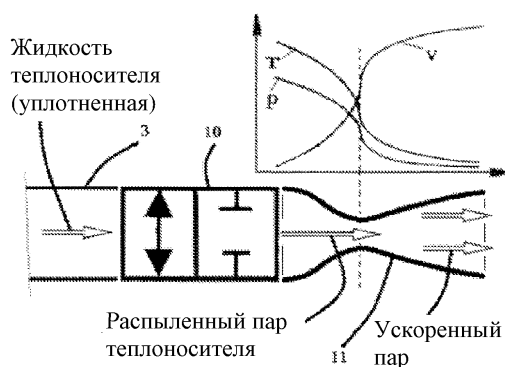
3. Геотермальное энергетическое устройство по п.1, отличающееся тем, что клапан импульсного ускорителя на конце восходящей трубы выполнен в виде электромагнитного или электромеханического управляемого клапана.

4. Геотермальное энергетическое устройство по п.1, отличающееся тем, что турбина на конце восходящей трубы выполнена в виде паровой турбины конденсационного типа.

5. Геотермальное энергетическое устройство по п.1, отличающееся тем, что в качестве теплоносителя используется вещество с низкой температурой испарения, например изобутан или смесь изобутана и изопентана.



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2