

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036808**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.23

(21) Номер заявки
201890814

(22) Дата подачи заявки
2016.09.29

(51) Int. Cl. *E21B 43/24* (2006.01)
C10G 1/00 (2006.01)
C10G 1/02 (2006.01)
E21B 43/00 (2006.01)
E21B 43/16 (2006.01)

(54) ПОСТАДИЙНЫЙ ЗОНАЛЬНЫЙ НАГРЕВ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

(31) 62/235,091

(32) 2015.09.30

(33) US

(43) 2018.10.31

(86) PCT/US2016/054523

(87) WO 2017/059125 2017.04.06

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
РЕД ЛИФ РИСОРСИЗ, ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
**Оттерстром Гэри (US), Плайкэс Том,
Шах Умеш (CA)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) US-A-4448668
US-A1-20150257404
US-A1-20130334106

(57) Способы и системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала для добычи из него углеводородов могут включать последовательный нагрев нескольких зон тела из материала. Примерный способ (100A) может включать формирование тела из дробленого углеводородсодержащего материала, имеющего первую зону и вторую зону. Первая зона может быть нагрета на первой стадии нагрева с формированием динамического высокотемпературного участка добычи в первой зоне. Охлаждающая текучая среда может затем нагнетаться в первую зону после формирования высокотемпературного участка добычи. Высокотемпературный участок добычи может перемещаться во вторую зону во второй стадии нагрева. Углеводороды можно собирать из тела из дробленого углеводородсодержащего материала во время как первой, так и второй стадий нагрева.

B1

036808

036808

B1

Родственная(ые) заявка(и)

Заявка на данное изобретение испрашивает приоритет предварительной заявки на патент США № 62/235,091, поданной 30 сентября 2015 г., которая включена в настоящий документ путем ссылки.

Область применения изобретения

Настоящее изобретение относится к системам и способам нагрева углеводородсодержащих материалов для добычи из них углеводородов. Таким образом, настоящее изобретение относится к области получения углеводородов и теплопередачи.

Предпосылки создания изобретения

Для получения углеводородов из углеводородсодержащих материалов, например из горючих сланцев и битуминозных песков, было разработано множество способов. В преобладающем большинстве исследований и промышленных способов традиционно использовались наземные реакторы и способы обработки на месте залегания. В последнее время для извлечения нефти из горючих сланцев были разработаны заключенные в оболочку хранилища (технология In-Capsule®). Такие хранилища в основном формируются из грунтовых материалов, при этом дробленые горючие сланцы заключены в непроницаемую оболочку, в том числе, среди прочих материалов, из горной породы, грунта, глины и геосинтетических материалов. Заключенные в оболочку хранилища могут быть очень большими, иногда занимая площадь в несколько акров и уходя на десятки метров в глубину.

Способы извлечения углеводородных продуктов из горючих сланцев обычно включают воздействие теплом на горючий сланец. Нагревание горючих сланцев позволяет разрушить кероген в горючих сланцах за счет процесса пиролиза, приводя к образованию углеводородных соединений в жидкой или газообразной форме вместе с другими продуктами, такими как водяной пар и остаточные продукты. Однако тепло, необходимое для осуществления пиролиза горючего сланца, часто обеспечивается сжиганием ископаемых видов топлива, таких как природный газ или часть сверхтяжелых углеводородов, производимых из горючего сланца. Это обуславливает существенный расход энергии и увеличивает объемы выброса углерода при добыче горючего сланца. Соответственно, продолжаются исследования по разработке более эффективных способов добычи углеводородов из горючего сланца и других углеводородсодержащих материалов.

Изложение сущности изобретения

Углеводороды можно получать путем формирования тела из дробленого углеводородсодержащего материала и воздействия теплом на дробленый углеводородсодержащий материал. В настоящей технологии предложены способы и системы для избирательного нагрева частей тела из дробленого углеводородсодержащего материала путем последовательного нагрева смежных зон тела из дробленого углеводородсодержащего материала. Способы и системы могут обеспечить добычу углеводородов с одновременным снижением общей потребности в подводе энергии. В одном примере настоящей технологии может быть сформировано тело из дробленого углеводородсодержащего материала, имеющее первую зону и вторую зону. Первая стадия нагрева может включать нагрев первой зоны для формирования динамического высокотемпературного участка добычи в первой зоне. После первой стадии нагрева вторая стадия нагрева может включать нагнетание низкотемпературной текучей среды в первую зону после формирования высокотемпературного участка добычи. На этой стадии высокотемпературный участок добычи может перемещаться во вторую зону. Во время как первой, так и второй стадий нагрева углеводороды могут быть собраны из тела из дробленого углеводородсодержащего материала.

В другом примере настоящей технологии система для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала для добычи из него углеводородов может содержать тело из дробленого углеводородсодержащего материала, имеющее нижнюю зону и верхнюю зону. Система также может содержать нижний нагревательный трубопровод, встроенный в нижнюю зону, и верхний нагревательный трубопровод, встроенный в верхнюю зону. Сборный трубопровод может быть встроен в верхнюю зону в месте над верхним трубопроводом. Система может содержать клапаны для управления потоком теплопередающей текучей среды через нагревательные трубопроводы. Нижний терморегулирующий клапан может использоваться для управления потоком теплопередающей текучей среды к нижнему нагревательному трубопроводу. Верхний терморегулирующий клапан может использоваться для управления потоком теплопередающей текучей среды к верхнему нагревательному трубопроводу. Клапаны могут быть выполнены с возможностью последовательного обеспечения прохождения теплопередающей текучей среды через нижний нагревательный трубопровод, а затем через верхний нагревательный трубопровод или через верхний нагревательный трубопровод, а затем через нижний нагревательный трубопровод.

Таким образом, представлено достаточно общее описание наиболее важных элементов изобретения, чтобы способствовать лучшему пониманию представленного далее подробного описания и более взвешенной оценке вклада настоящего изобретения в уровень техники. Другие элементы настоящего изобретения станут понятными из представленного далее подробного описания изобретения в сочетании с прилагаемыми фигурами и формулой изобретения или могут быть изучены при практической реализации изобретения.

Краткое описание фигур

На фиг. 1А, 1В показаны схемы, иллюстрирующие способ нагрева тела из углеводородсодержащего материала для добычи из него углеводородов, в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 2А-2С показаны схематические изображения, иллюстрирующие систему нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала по мере перемещения динамического высокотемпературного участка добычи от нижней зоны тела к верхней зоне тела, в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 3 показан график, иллюстрирующий примерные температурные профили, наложенные на тело из дробленого углеводородсодержащего материала, по мере перемещения высокотемпературного участка добычи в зависимости от времени, в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4 представлен вид в поперечном сечении тела из дробленого углеводородсодержащего материала, имеющего встроенные в него нагревательные трубопроводы и сборные трубопроводы, в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 5 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 6 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 7 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 8 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 9 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 10 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 11 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 12 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 13 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 14 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 15 представлено схематическое изображение системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 16А представлен вид в поперечном сечении нагревательного трубопровода в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения; и

на фиг. 16В представлен вид снизу нагревательного трубопровода в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения.

Представленные фигуры приводятся для иллюстрации различных аспектов изобретения и не должны рассматриваться как ограничивающие предмет изобретения с точки зрения размеров, материалов, конфигурации, конструкции или пропорций, если такие ограничения не приводятся в формуле изобретения.

Подробное описание

Хотя эти примеры вариантов осуществления описаны достаточно подробно, чтобы позволить специалистам в данной области реализовать изобретение на практике, следует понимать, что могут быть реализованы и другие варианты осуществления, а также что в изобретение могут быть внесены различные изменения без отступления от сущности и объема настоящего изобретения. Таким образом, представленное ниже более подробное описание вариантов осуществления настоящего изобретения не предполагает ограничения объема изобретения в соответствии с формулой изобретения, а представлено только в целях иллюстрации, а не для ограничения, для описания элементов и характеристик настоящего изобретения, представления наилучшего метода эксплуатации изобретения и для того, чтобы в достаточной мере позволить специалисту в данной области реализовать изобретение на практике. Соответственно, объем настоящего изобретения должен определяться исключительно прилагаемой формулой изобретения.

Определения

При описании и изложении формулы настоящего изобретения будут использованы следующие термины.

В настоящем документе термин "углеводородсодержащий материал" относится к углеводородсодержащему материалу, из которого можно извлекать или получать углеводородные продукты. Например, углеводороды можно извлекать непосредственно в виде жидкости, выделять посредством экстракции растворителем, получать непосредственным испарением, преобразованием сырьевого материала или иным способом выделять из материала. Многие углеводородсодержащие материалы содержат кероген или битум, которые преобразуются в жидкотекучий или извлекаемый углеводород посредством нагревания и пиролиза. Углеводородсодержащие материалы могут включать, без ограничений, горючий сланец, битуминозные пески, уголь, лигнит, битум, торф и другие богатые органическими веществами породы. Таким образом, существующие углеводородсодержащие материалы могут обогащаться и/или высвобождаться из такого сырья посредством химической конверсии в более полезные углеводородные продукты.

Используемые в настоящем документе термины "отработанный углеводородсодержащий материал" и "отработанный горючий сланец" относятся к материалам, которые уже были использованы для получения углеводородов. Как правило, после получения углеводородов из углеводородсодержащего материала остающийся материал представляет собой главным образом минеральные частицы, из которых по большей части были удалены органические компоненты.

Используемые в настоящем документе термины "обогащенный углеводородсодержащий материал" и "обогащенные горючие сланцы" относятся к материалам с относительно высоким содержанием углеводородов. В качестве примера обогащенные горючие сланцы обычно могут содержать от 12 мас.%, до 25 мас.%, а в некоторых случаях и больше, углеводородов.

Используемый в настоящем документе термин "неконденсируемые газы" относится к газам, которые содержат соединения, которые плохо конденсируются, такие как, без ограничений, азот, диоксид углерода, легкие углеводороды (например, метан, этан, пропан, бутан, пентан, гексан) и т.п.

Используемый в настоящем документе термин "уплотненный грунтовой материал" относится к сыпучим материалам, таким как почва, песок, гравий, дробленая горная порода, глина, отработанные сланцы, смеси перечисленных материалов и подобные материалы. Уплотненный грунтовой материал, пригодный для использования в настоящем изобретении, как правило, имеет размер частиц менее около 10 см в диаметре.

Используемый в настоящем документе термин "динамический высокотемпературный участок добычи" относится к объемной части тела из дробленого углеводородсодержащего материала, которая поддерживается при температуре добычи, достаточной для добычи углеводородного продукта. Динамический участок добычи поддерживается и управляется таким образом, что обеспечивается его динамическое перемещение или продвижение вперед по телу из углеводородсодержащего материала через смежные зоны.

Всякий раз, когда в настоящем документе любое упоминаемое свойство может характеризоваться распределением между различными значениями, например температурным распределением, распределением по размерам частиц и пр., такое упоминаемое свойство, если не указано иное, представляет собой среднее распределение. Таким образом, термин "размер частиц" относится к среднечисловому размеру частиц, а термин "температура тела из дробленого углеводородсодержащего материала" относится к средней температуре тела нагреваемого материала.

Следует отметить, что в рамках настоящего описания и формулы изобретения использование формы единственного числа включает объекты во множественном числе, если из контекста не следует иное. Таким образом, например, упоминание "слоя" включает один или более из таких элементов, упоминание "частицы" включает ссылку на один или более таких элементов, а упоминание "получения" включает ссылку на одну или более из таких стадий.

Используемые в настоящем документе термины "около" и "приблизительно" применяются в целях гибкости, например, чтобы указать, что заданная величина в численном диапазоне конечной точки может быть "немного выше" или "немного ниже" конечной точки. Опираясь на контекст, специалист в данной

области может легко определить степень гибкости той или иной конкретной переменной.

При применении в настоящем документе термин "по существу" означает полную или практически полную меру или степень действия, характеристики, свойства, состояния, структуры, предмета или результата. Точная допустимая степень отклонения от абсолютной полноты может в некоторых случаях зависеть от конкретного контекста. Однако близость завершения будет такой, чтобы по существу получался тот же общий результат, как если бы было достигнуто абсолютное и полное завершение. Термин "по существу" относится к степени отклонения, которая достаточно мала, чтобы не приводить к заметным нарушениям указанного свойства или условия. Точная степень допустимого отклонения может в некоторых случаях зависеть от конкретного контекста. Применение термина "по существу" равно применимо при использовании в негативной коннотации, чтобы описать полное или практически полное отсутствие действия, характеристики, свойства, состояния, структуры, предмета или результата.

В настоящем документе термин "смежный" относится к близости двух структур или элементов. В частности, элементы, определенные как "смежные", могут либо примыкать, либо быть соединены. Такие элементы также могут быть расположены рядом или близко друг к другу, при этом они не обязательно контактируют друг с другом. Точная степень близости может в некоторых случаях зависеть от конкретного контекста. Кроме того, смежные структуры или элементы в некоторых случаях могут разделяться дополнительными структурами или элементами между смежными структурами или элементами.

В настоящем документе множество объектов, структурных элементов, композиционных элементов и/или материалов для удобства могут быть представлены в виде общего списка. Однако эти списки должны толковаться так, как если бы каждый элемент списка был по отдельности указан как отдельный уникальный элемент. Таким образом, ни один отдельный элемент такого списка не должен толковаться как фактический эквивалент любого другого элемента того же списка исключительно на основании представления их в общей группе без указания на обратное.

Концентрации, количества и другие численные данные могут быть представлены в настоящем документе в формате диапазона. Следует понимать, что такой формат диапазона используется лишь для удобства и краткости и должен толковаться гибко, чтобы включать не только численные значения, явно перечисленные как границы диапазона, но и все отдельные численные значения или субдиапазоны, входящие в данный диапазон, как если бы каждое численное значение и субдиапазон были явно указаны. Например, численный диапазон от около 1 до около 4,5 следует рассматривать как включающий не только в явном виде указанные пределы от 1 до около 4,5, но также включающий отдельные числа, например 2, 3, 4 и субдиапазоны, например от 1 до 3, от 2 до 4 и пр. Такой же принцип применим и к диапазонам только с одним численным значением, например диапазону "менее чем около 4,5", который следует рассматривать как включающий все перечисленные выше значения и диапазоны. Кроме того, такое толкование должно применяться независимо от ширины диапазона или описываемой характеристики.

Любые этапы, перечисленные в любых пунктах формулы изобретения со способом или процессом, могут быть реализованы в любом порядке и не ограничены порядком, представленным в пунктах формулы изобретения. Ограничения "средство плюс функция" или "этап плюс функция" будут использоваться только в тех случаях, в которых для ограничения конкретного пункта формулы изобретения в этом ограничении присутствуют все из следующих условий: а) явно указано "средство для" или "этап для"; и б) явно указана соответствующая функция. Структура, материал или действия, поддерживающие ограничение "средство плюс функция", явно указаны в описании в настоящем документе. Соответственно, объем изобретения должен определяться только приложенными пунктами формулы изобретения и их юридическими эквивалентами, а не описаниями и примерами, приведенными в настоящем документе.

Ниже приводятся примеры вариантов осуществления, и для их описания в настоящем документе будут использоваться конкретные формулировки. Тем не менее будет очевидно, что при этом не предполагается каких-либо ограничений объема предлагаемой технологии. Дополнительные свойства и преимущества технологии станут очевидными после ознакомления с приведенным ниже подробным описанием с сопроводительными иллюстрациями, на которых представлены примеры особенностей предлагаемой технологии.

С учетом общих примеров, приведенных выше в изложении сущности изобретения, в настоящем документе отмечается, что при описании системы или относящихся к ней устройств или способов конкретные или отдельные описания рассматриваются как применимые к другим таким устройствам или способам независимо от того, обсуждается ли это в явной форме в контексте конкретного примера или варианта осуществления. Например, при обсуждении устройства как такового, другое устройство, система и/или осуществления способа также включаются в такое обсуждение, и наоборот.

Более того, на основании приведенного описания и иллюстраций могут быть предложены различные модификации и комбинации, а потому приведенные ниже фигуры не должны рассматриваться как носящие ограничительный характер.

Постадийный зональный нагрев углеводородсодержащих материалов.

В настоящей технологии предложены способы и системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала с добычей углеводородов из материала. Некоторые предыдущие технологии добычи углеводородов из углеводородсодержащего материала включали нагрев тела из углеводородсо-

держашего материала в течение определенного периода времени. Тем не менее все тело углеводородсодержащего материала, как правило, нагревается до приблизительно однородной температуры во время процесса добычи. В противоположность этому, способы согласно настоящему изобретению включают нагрев нескольких зон тела из дробленого углеводородсодержащего материала в разное время. Эти зоны могут представлять собой части тела из углеводородсодержащего материала, которые расположены вертикально друг над другом. Например, тело из дробленого углеводородсодержащего материала может быть разделено по меньшей мере на нижнюю зону и верхнюю зону, хотя может существовать любое количество дополнительных промежуточных зон. Эти зоны можно нагревать последовательно, начиная с нижней зоны и перемещаясь вверх или начиная от верхней зоны и перемещаясь вниз. Смежные зоны, как правило, также физически не отделены друг от друга с помощью барьера, а в некоторых случаях зоны имеют по существу сходный состав, пористость и размер частиц.

Нагрев тела из дробленых углеводородсодержащих материалов в последовательно нагреваемых зонах может снизить общий подвод энергии, необходимой для добычи углеводородов из материала. Таким образом способы и системы, обеспечиваемые настоящей технологией, могут повысить эффективность добычи углеводородов из углеводородсодержащего материала. В некоторых примерах первая зона может быть нагрета таким образом, чтобы обеспечить формирование участка с более высокой температурой в первой зоне. В некоторых случаях первая зона может быть нагрета путем подачи нагретого газа в первую зону. Температура нагретого газа может быть такой, чтобы углеводородсодержащий материал в первой зоне достигал высокой температуры добычи, достаточной для добычи углеводородных продуктов. Скорость потока нагретого газа может быть достаточной для поддержания углеводородсодержащего материала в первой зоне при температуре добычи в течение времени, достаточного для добычи желаемого количества углеводородов. Такой высокотемпературный участок может характеризоваться конвективным потоком и принудительным потоком нагретой текучей среды через пустоты между частицами дробленого углеводородсодержащего материала. Текучая среда может включать углеводороды, высвобожденные из углеводородсодержащего материала, нагнетаемую теплопередающую текучую среду или чаще всего комбинации обеих текучих сред.

После нагрева первой зоны тела из дробленого углеводородсодержащего материала с формированием высокотемпературного участка добычи относительно более холодная, охлаждающая текучая среда может нагнетаться в первую зону после высокотемпературного участка добычи. Как правило, охлаждающая текучая среда может представлять собой любую текучую среду, нагнетаемую при температуре ниже температуры добычи, поддерживаемой в участке добычи. По мере нагнетания охлаждающей текучей среды охлаждающая текучая среда может вытеснять горячую текучую среду в высокотемпературном участке добычи для создания принудительного массового потока по участку добычи в смежные зоны по направлению к точке сбора. По мере передачи тепла между текучими средами и твердым углеводородсодержащим материалом охлаждающая текучая среда может отводить тепло от горячего углеводородсодержащего материала в первой зоне, в то время как вытесненные более горячие текучие среды начинают передавать тепло углеводородсодержащему материалу во второй зоне тела из дробленого углеводородсодержащего материала. Таким образом, тепло из обработанного углеводородсодержащего материала в первой зоне можно восстановить и перенаправить, способствуя добыче углеводородов из углеводородсодержащего материала во второй зоне. По мере охлаждения первой зоны и нагрева второй зоны высокотемпературный участок добычи эффективно постепенно перемещается из первой зоны во вторую зону.

В зависимости от требуемых рабочих параметров системы высокотемпературный участок добычи может перемещаться вверх или вниз через тело из дробленого углеводородсодержащего материала. В некоторых примерах нагрев может начинаться в нижней части тела из дробленого углеводородсодержащего материала, а затем охлаждающие текучие среды могут нагнетаться в нижнюю зону для перемещения высокотемпературного участка добычи вверх. В других примерах нагрев может начинаться с верхней части тела, а затем охлаждающая текучая среда может нагнетаться в верхнюю часть для перемещения высокотемпературного участка добычи вниз. Независимо от варианта, по мере перемещения высокотемпературного участка добычи из первой зоны во вторую зону дробленый углеводородсодержащий материал во второй зоне повышает температуру до достаточной температуры для добычи углеводородов. В некоторых случаях дополнительное вспомогательное тепло может быть подведено во вторую зону, как более подробно описано ниже.

В соответствии с этими принципами тепловая энергия может вводиться с помощью замкнутых контуров нагрева или нагнетания нагревательной текучей среды непосредственно в дробленый углеводородсодержащий материал. По мере нагревания углеводородсодержащего материала образуется углеводородный продукт. Соответственно, одновременно происходит конвективный теплообмен и массообмен, наряду с сопутствующими эффектами плавучести. Скорости массообмена могут зависеть от потока, обеспечиваемого нагнетаемой нагревающей текучей средой (например, необязательно рециркулированным неконденсируемым углеводородным продуктом) и недавно произведенным углеводородным продуктом (например, не рециркулированным углеводородным продуктом). Таким образом, подвод тепловой энергии в участок добычи можно поддерживать в течение желательного периода времени для облегчения добычи желаемого количества углеводородного продукта из этой зоны.

В идеале это приводит к превращению 100% углеводородсодержащих материалов-предшественников в углеводородный продукт. Однако на практике добывается только часть потенциальных материалов по какой-либо причине. Независимо от того, добываются ли углеводородные продукты, можно использовать скорости массообмена для извлечения углеводородных продуктов через и из тела в точке сбора, а также уравнивать скорости передачи тепла в участок добычи и отведения тепла от него. По мере истощения зоны скорости подвода тепловой энергии и скорости массообмена могут быть отрегулированы таким образом, чтобы обеспечить перемещение или продвижение динамического участка добычи к смежной зоне. Этого можно достичь путем нагнетания охлаждающей текучей среды, как описано в настоящем документе. По мере прохождения охлаждающей текучей среды через участок тепло сначала захватывается охлаждающей текучей средой на удаляющемся крае участка добычи и переносится в направлении продвигающейся передней части участка добычи через тело. Следовательно, динамический высокотемпературный участок добычи может продвигаться через тело углеводородсодержащего материала по последовательно расположенным смежным зонам.

Следует отметить, что скорости массообмена нагревающей текучей среды и охлаждающей текучей среды (т.е. объемная скорость) могут поддерживаться таким образом, чтобы достичь желаемого продвижения термически определенного участка добычи, избегая при этом образования так называемой конвекции Рэлея-Бенара. Такая конвекция Рэлея-Бенара может привести к объемному потоку массы и тепла в противоположном желаемому направлению в зависимости от направления работы. Соответственно, нагревающая текучая среда, охлаждающая текучая среда и углеводородные продукты, как правило, протекают по общему объемному направлению через тело из углеводородсодержащего материала. В отличие от этого, хотя нагревающая текучая среда и углеводородные продукты могут проходить через участок добычи, термически определенный участок добычи может оставаться неподвижным или постепенно перемещаться через тело с разной и по существу более низкой скоростью.

Нагрев тела из дробленого углеводородсодержащего материала в зонах с использованием способов, описанных в настоящем документе, может повысить эффективность добычи углеводородов. В некоторых случаях в сравнении с процессами, в которых одновременно нагревается все тело из дробленого углеводородсодержащего материала, можно уменьшить общий объем энергии, используемой для нагрева дробленого углеводородсодержащего материала. Когда несколько зон материала нагревают последовательно, общая средняя температура тела материала ниже, чем при одновременном нагреве всего тела. Кроме того, за счет нагнетания охлаждающей текучей среды после высокотемпературного участка добычи можно повысить эффективность путем рекуперации некоторого количества тепла из отработанного углеводородсодержащего материала в первой зоне для нагрева второй зоны. Это также может обеспечить преимущество более низкой общей температуры тела из дробленого углеводородсодержащего материала в конце процесса добычи углеводородов. Таким образом, может потребоваться меньшее охлаждение для снижения температуры углеводородсодержащего материала до температуры, пригодной для восстановления и/или прекращения работы.

В некоторых примерах углеводороды можно собирать постоянно на протяжении стадий нагрева из определенного места в нижней или верхней зоне. Углеводороды, собранные из зон, могут включать газообразные углеводороды. Сбор углеводородов из второй зоны может способствовать перемещению высокотемпературного участка добычи во вторую зону по мере нагнетания охлаждающей текучей среды для смены места расположения высокотемпературного участка добычи. В дополнительных примерах газообразные продукты и жидкие углеводороды могут быть собраны из других мест, включая любые промежуточные зоны тела из дробленого углеводородсодержащего материала.

В некоторых примерах способы, описанные в настоящем документе, могут быть применены к системе добычи заключенных в оболочку углеводородов, аналогично системам, описанным в патенте США № 7862705, который включен в настоящий документ путем ссылки. В этих примерах тело из дробленого углеводородсодержащего материала может быть сформировано внутри хранилища, что предотвращает неконтролируемую миграцию газов и жидкостей в хранилище и из него. Хранилище может содержать стенки, имеющие множество слоев, содержащих сыпучие грунтовые материалы, как более подробно описано ниже.

С учетом вышеизложенного описания на фиг. 1А показана схема, иллюстрирующая способ 100А нагрева тела из углеводородсодержащего материала для добычи из него углеводородов, в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения.

Способ включает формирование тела из дробленого углеводородсодержащего материала, имеющего нижнюю зону и верхнюю зону 110А; нагрев нижней зоны во время первой стадии нагрева для формирования высокотемпературного участка добычи в нижней зоне 120А; нагнетание охлаждающей текучей среды в нижнюю зону под высокотемпературным участком добычи на второй стадии нагрева таким образом, чтобы высокотемпературный участок добычи перемещался вверх в верхнюю зону 130А; и сбор углеводородов из тела из дробленого углеводородсодержащего материала во время как первой, так и второй стадий нагрева 140А.

В аналогичном изображении фиг. 1В представляет собой схему, иллюстрирующую способ 100В нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала для добычи из него углеводородов. Способ

включает формирование тела из дробленого углеводородсодержащего материала, имеющего нижнюю зону и верхнюю зону 110В; нагрев верхней зоны во время первой стадии нагрева для формирования высокотемпературного участка добычи в верхней зоне 120В; нагнетание охлаждающей текучей среды в верхнюю зону над высокотемпературным участком добычи на второй стадии нагрева таким образом, чтобы высокотемпературный участок добычи перемещался вниз в нижнюю зону 130В; и сбор углеводородов из тела из дробленого углеводородсодержащего материала во время как первой, так и второй стадий нагрева 140В.

В некоторых примерах тело из дробленого углеводородсодержащего материала может быть сформировано из материала, такого как добытый горючий сланец, битуминозные пески, лигнит, битум, уголь, торф, собранная биомасса или другой богатый углеводородами материал. Дробленый углеводородсодержащий материал может быть заключен в хранилище, образующее непроницаемый барьер, заключающий в себе тело из дробленого углеводородсодержащего материала. В некоторых случаях размер хранилища может быть относительно большим. Большие по размерам хранилища или системы с множественностью хранилищ позволяют с легкостью получать углеводородные продукты и обеспечивать производительность на уровне, сопоставимом с уровнем или выше уровня хранилищ меньшего размера. В качестве иллюстрации размеры отдельных хранилищ могут находиться в диапазоне от 15 до 200 м в поперечнике, а часто от примерно 100 до 160 м в поперечнике. Оптимальные размеры хранилища могут зависеть от углеводородсодержащего материала и параметров эксплуатации, однако подходящие площади хранилища часто могут находиться в диапазоне от около половины до десяти акров площади поверхности в горизонтальной проекции сверху. Кроме того, хранилище может иметь глубину от около 10 до около 50 м.

Тело углеводородсодержащего материала также может быть сформировано из измельченного сыпучего материала, размер которого позволяет получить необходимое целевое поровое пространство. Тела, подходящие для применения в настоящем изобретении, могут иметь более приблизительно 10% свободного порового пространства и, как правило, имеют свободное поровое пространство от приблизительно 20 до 50%, однако подходящими могут быть и другие диапазоны, такие как до приблизительно 70%. Обеспечение высокой проницаемости способствует нагреванию тела за счет конвекции как основного механизма переноса тепла, также обеспечивая значительное снижение затрат, связанных с дроблением до очень малых размеров, например, менее чем от приблизительно 2,5 до приблизительно 1 см. Конкретная целевая величина свободного порового пространства может зависеть от конкретного углеводородсодержащего материала и требуемых значений времени или условий обработки. Размер частиц в пределах проницаемого тела может в значительной степени зависеть от типа материала, требуемой скорости нагрева и других факторов. В качестве общей рекомендации проницаемое тело может включать измельченные углеводородсодержащие частицы с размером в среднем до приблизительно 2 м, в некоторых случаях - менее чем 30 см, а в других случаях - в среднем менее чем приблизительно 16 см. Однако с практической точки зрения максимальные размеры частиц, которые могут находиться в диапазоне от приблизительно 5 до приблизительно 60 см или в одном аспекте в среднем от приблизительно 16 до приблизительно 60 см, могут обеспечить хорошие результаты при среднем диаметре приблизительно 30 см и особенно подходят для горючего сланца. В необязательном порядке тело может включать бимодальные или многомодальные распределения по размерам, чтобы обеспечить увеличенный баланс порового пространства и открытой площади поверхности частиц.

Хранилище может содержать барьерный слой для предотвращения выхода добытых углеводородов и нагрева текучих сред из хранилища, в то же время предотвращая попадание воздуха или других нежелательных текучих сред из окружающей среды. Как правило, хранилище может содержать дно, верхнюю часть и боковую стенку, соединяющую дно и верхнюю часть для образования замкнутого объема, в котором размещаются дробленые углеводородсодержащие материалы и который ограничивает поток текучей среды за пределы хранилища. Верхняя часть образует верхнюю составляющую замкнутого объема и примыкает к боковой стенке. Пол также примыкает к боковой стенке и может быть по существу горизонтальным или наклоненным к сливу, в зависимости от того, что предпочтительнее для сбора углеводородных текучих сред, извлеченных во время обработки углеводородсодержащих материалов.

В некоторых вариантах осуществления хранилище может быть сформировано вдоль стенок зоны выемки залежей углеводородсодержащего материала. Например, горючий сланец, битуминозные пески или уголь могут быть добыты из зоны выемки для образования полости, которая приблизительно соответствует желаемому объему заключения в оболочку для хранилища. Образованная в результате выемки полость может затем использоваться в качестве опоры для дна и стенок хранилища. В альтернативном варианте осуществления вокруг внешней поверхности стенки хранилища может быть образована берма, если хранилище частично или по существу находится над уровнем земли. Хранилище может представлять собой часть надземной, отдельно стоящей конструкции с бермами, поддерживающими боковые стенки, причем дно хранилища опирается на землю под хранилищем.

Хранилище может по существу не содержать ненарушенных геологических формаций. В частности, хранилище может быть полностью построено и создано в виде отдельного изолирующего механизма для удержания тела из дробленого углеводородсодержащего материала и предотвращения неконтролируемой миграции текучих сред в тело из дробленого углеводородсодержащего материала или из него. Нена-

рушенные геологические формации могут иметь трещины и поры, которые могут сделать формации проницаемыми для жидкостей и газов. За счет выполнения хранилища в виде полностью созданной человеком конструкции, без использования ненарушенных геологических формаций в качестве дна или стенок, можно снизить риск просачивания жидкостей или газов через геологические формации. Однако в некоторых вариантах осуществления в хранилище могут использоваться некоторые элементы поверхности вынудой геологической формации. Например, в некоторых формациях дно и стенки выемки могут обладать достаточной низкой природной проницаемостью, так что для частей хранилища может не требоваться дополнительный барьерный слой.

Хранилище может по существу содержать дно, боковую стенку, проходящую вверх от дна, и верхнюю часть, проходящую над боковой стенкой для образования замкнутого объема. Каждый элемент из дна, боковой стенки и верхней части может быть изготовлен из множества слоев, включая внутренний слой мелкой фракции или другого изоляционного материала и внешний слой из измененной набухающей глиной почвы или иного непроницаемого для текучей среды материала. Необязательно, внешнюю мембрану, которая дополнительно предотвращает прохождение текучих сред за пределы хранилища, можно использовать в качестве барьера для текучей среды в дополнение к измененной набухающей глиной почве. Внешняя мембрана может служить вспомогательным резервным слоем уплотнения, если основной уплотнительный слой не справился со своей функцией по какой-либо причине. Внутренний слой высокотемпературного асфальта или другого непроницаемого для текучей среды материала также может быть необязательно нанесен на внутреннюю поверхность слоя мелкой фракции и определять внутреннюю поверхность хранилища.

Набухающие глины представляют собой неорганические материалы, которые могут быть гидратированы, что приводит к набуханию глины или иным способом создает барьер для потока текучей среды. Хранилище может содержать барьерный слой, образованный из частиц сухой глины и других грунтовых материалов, а затем глина может быть гидратирована для того, чтобы частицы глины набухали и создавали барьер. Как правило, такой барьерный слой может быть образован из твердой фазы частиц и жидкой фазы воды, которые в совокупности образуют по существу непрерывный барьер для текучей среды. Например, дно, стенки и верхняя часть барьерного слоя могут быть сформированы с использованием измененной набухающей глиной почвы. Когда набухающая глина гидратирована, она набухает и заполняет поровые пространства между частицами других материалов в почве. Таким образом, измененная набухающей глиной почва становится менее проницаемой для текучих сред. При наличии достаточной смеси набухающих глин и других грунтовых материалов барьерный слой может быть по существу непроницаемым для потока текучей среды. Некоторые примеры подходящих набухающих глин включают бентонитовую глину, монтмориллонит, каолинит, иллит, хлорит, вермикулит, аргиллит, смектит и другие.

Комбинация нескольких слоев, образующих хранилище, также может служить для изоляции тела из углеводородсодержащего материала так, чтобы тепло в замкнутом объеме сохранялось для облегчения извлечения углеводородов из углеводородсодержащего материала. В некоторых примерах хранилище может содержать слой мелкой фракции, такой как гравий или дробленый отработанный горючий сланец, для изоляции хранилища. Этот слой мелкой фракции может иметь перепад температуры на слое, достаточный для обеспечения того, чтобы слой измененной набухающей глиной почвы был достаточно холодным, чтобы оставаться гидратированным. Материал, образующий слой мелкой фракции, может представлять собой сыпучий материал менее чем приблизительно 3 см в диаметре.

Хранилище может быть подготовлено с помощью любого приемлемого подхода. При этом в одном аспекте хранилище строится на поверхности грунта. Изготовление стенки или стенок и формирование тела из дробленого углеводородсодержащего материала внутри стенок может происходить одновременно с процессом вертикальной засыпки, при которой материалы закладываются в заранее заданной последовательности. Например, множество лотков или других механизмов доставки сыпучих материалов могут располагаться в соответствующих местах над насыпаемым материалом. За счет селективного регулирования объема доставляемых сыпучих материалов и места вдоль вида сверху системы, куда доставляется каждый соответствующий сыпучий материал, можно одновременно формировать слои и структуры от дна до верхней части. Части боковых стенок хранилища могут быть образованы как сплошное продолжение вверх внешнего периметра дна, и каждый присутствующий слой, в том числе слой измененной набухающей глиной почвы, слой мелкой фракции, и, при наличии, мембрана и/или асфальтовая облицовка формируются как сплошное продолжение элементов дна. В процессе формирования боковых стенок дробленый углеводородсодержащий материал может одновременно помещаться на дно и в пределах периметра боковой стенки, так что объем, который станет замкнутым пространством, заполняется одновременно с возвышением формирующейся боковой стенки. Таким образом, можно избавиться от необходимости использовать внутренние удерживающие стенки или другие боковые ограничивающие элементы. Такой подход позволяет также осуществлять мониторинг в процессе вертикального наращивания, с тем чтобы убедиться в том, что взаимное перемешивание в области контакта слоев находится в пределах приемлемых заранее заданных допусков (например, сохранения функциональных возможностей соответствующего слоя). Например, чрезмерное смешение измененной набухающей глиной почвы с мел-

кой фракцией может привести к нарушению функции герметизации слоя измененной набухающей глиной почвы. Этого можно избежать осторожным нанесением каждого соседствующего слоя по мере его наращивания и/или за счет увеличения толщины наносимого слоя.

По мере приближения процесса сооружения к верхним частям верхняя часть может быть выполнена с использованием тех же механизмов доставки, описанных выше, и можно просто отрегулировать местоположение и скорость засыпки соответствующего материала, формирующего потолочный слой. Например, при достижении необходимой высоты боковой стенки достаточное количество материалов хранилища может быть добавлено для образования верхней части.

Как показано на фиг. 1, после формирования тела из дробленого углеводородсодержащего материала 110 нижняя зона тела из дробленого углеводородсодержащего материала может быть нагрета с формированием высокотемпературного участка добычи 120. Нижняя зона может по существу представлять собой любую нижнюю часть тела из дробленого углеводородсодержащего материала. В некоторых примерах нижняя зона может представлять собой горизонтальный слой, проходящий от дна тела из дробленого углеводородсодержащего материала до высоты где-то ниже верхней части тела из дробленого углеводородсодержащего материала. В вариантах осуществления, в которых тело из дробленого углеводородсодержащего материала содержится в хранилище, нижняя зона может проходить от дна хранилища до высоты ниже верхней части хранилища. Аналогичным образом, верхняя зона тела из дробленого углеводородсодержащего материала может проходить от верхней части нижней зоны до верхней части хранилища. В других примерах одна или более дополнительных промежуточных зон могут быть расположены между нижней зоной и верхней зоной. Каждая из данных зон может представлять собой по существу горизонтальный слой, или срез, тела из дробленого углеводородсодержащего материала. В некоторых примерах высокотемпературный участок добычи может занимать от приблизительно одной четвертой до приблизительно половины объема тела из дробленого углеводородсодержащего материала. В конкретном примере высокотемпературный участок добычи может занимать приблизительно одну треть объема тела. Таким образом, нижняя зона может представлять собой нижнюю треть тела, верхняя зона может представлять собой самую верхнюю треть тела, а средняя треть тела может представлять собой промежуточную зону. В соответствии с некоторыми примерами настоящего изобретения зоны можно последовательно нагревать, начиная с нижней зоны и затем продвигаясь вверх к верхней зоне. Аналогичным образом, зоны можно нагревать, начиная с верхней зоны и продвигаясь вниз к нижней зоне, как показано на фиг. 1А.

В некоторых вариантах осуществления один или более нагревательных трубопроводов могут быть встроены в нижнюю или верхнюю зону для нагрева соответствующей зоны с формированием высокотемпературного участка добычи. Нагревательные трубопроводы могут представлять собой нагревательные трубопроводы с замкнутым контуром или с открытым контуром. Нагревательные трубопроводы с замкнутым контуром могут нагревать углеводородсодержащий материал путем непрямого нагрева. Теплопередающая текучая среда может подаваться через нагревательные трубопроводы с замкнутым контуром и передавать тепло через стенки трубопроводов телу из дробленого углеводородсодержащего материала. Это может повысить температуру твердого углеводородсодержащего материала и любых текучих сред в промежутках между частицами углеводородсодержащего материала, таких как воздух или газообразные углеводороды. Таким образом, может быть сформирован высокотемпературный участок добычи.

Теплопередающие текучие среды для использования с нагревательными трубопроводами с замкнутым контуром могут включать любую текучую среду, которая может проходить через трубопроводы. В некоторых примерах теплопередающая текучая среда может быть выбрана из воздуха, воды, насыщенного пара, перенасыщенного пара, органических масел, силиконовых масел, гликолей, расплавленных солей, двуокиси углерода, легких углеводородов, водорода и их комбинаций.

В вариантах осуществления, включающих нагревательные трубопроводы с открытым контуром, тело из дробленого углеводородсодержащего материала можно нагревать путем прямого нагрева. Нагревательные трубопроводы с открытым контуром могут содержать перфорации для нагнетания теплопередающей текучей среды в тело из дробленого углеводородсодержащего материала. По сравнению с нагревом с замкнутым контуром, нагрев с открытым контуром может теоретически обеспечивать бесконечную площадь теплопередачи, поэтому можно использовать меньшее количество трубопроводов и трубопроводы меньшего диаметра. В некоторых случаях может использоваться комбинация нагревательных трубопроводов с открытым контуром и нагревательных трубопроводов с замкнутым контуром. Например, прямой нагрев с открытым контуром путем нагнетания теплопередающей текучей среды в нижнюю зону с нагревом замкнутым контуром, предусмотренным в верхней зоне для поддержания желаемых температур.

Теплопередающие текучие среды для использования с нагревательными трубопроводами с открытым контуром, могут включать любую текучую среду, которая совместима с нагреваемым углеводородсодержащим материалом. В некоторых случаях попадание воздуха можно предотвратить, когда углеводородсодержащий материал находится при высокой температуре, чтобы избежать окисления или сгорания добываемых углеводородов. В некоторых примерах неокисляющую теплопередающую текучую среду, такую как пар, можно использовать для непосредственного нагрева тела из дробленого углеводород-

содержащего материала. К другим используемым теплопередающим текучим средам относятся воздух при температурах ниже температуры сгорания углеводородсодержащего материала, водород и углеводороды, такие как рециркулированные легкие углеводороды, добытые из углеводородсодержащего материала. В некоторых примерах неконденсируемые углеводороды, добытые из углеводородсодержащего материала, можно рециркулировать и повторно нагнетать в тело из дробленого углеводородсодержащего материала в качестве нагревающей или охлаждающей текучей среды. Во время нагревания рециркулированные неконденсируемые углеводороды можно нагревать до температуры добычи и затем нагнетать в тело. При использовании в качестве охлаждающей текучей среды неконденсируемые углеводороды можно повторно нагнетать без нагрева. Таким образом, неконденсируемые углеводороды можно охладить перед повторным нагнетанием в тело из дробленых углеводородсодержащих материалов. В одном примере неконденсируемый углеводородный продукт можно повторно нагнетать в виде охлаждающей текучей среды при температуре от 100°F (37,8°C) до 200°F (93,3°C), а в одном конкретном примере - при 130°F (54,4°C).

На фиг. 2А-2С показаны схематические изображения, иллюстрирующие систему 200 для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала, по мере перемещения высокотемпературного участка добычи от нижней зоны тела к верхней зоне тела. Высокотемпературный участок добычи также может быть сформирован в верхней зоне, в этом случае участок добычи перемещается из верхней зоны тела в нижнюю зону тела. На фиг. 2А тело из дробленого углеводородсодержащего материала 210 содержит нижнюю зону с нагревательным трубопроводом 220 для прямого нагрева, встроенным в него. Нагревательный трубопровод для прямого нагрева содержит перфорации 225, используемые для нагнетания теплопередающей текучей среды 230 (обозначенные стрелками, выходящими из перфораций). В результате нагнетания теплопередающей текучей среды формируется высокотемпературный участок 240 добычи в нижней зоне. Система также содержит сборный трубопровод 250, встроенный в верхнюю зону, с собирающими перфорациями 255 для сбора углеводородов, добытых из углеводородсодержащего материала. Когда процесс начинается, сборный трубопровод может также собирать воздух, вытесненный из тела из дробленого углеводородсодержащего материала при нагнетании теплопередающей текучей среды.

На фиг. 2В показана вторая стадия нагрева, в которой охлаждающую текучую среду 260 (обозначенную стрелками, выходящими из перфораций 225 в нагревательном трубопроводе 220 для прямого нагрева) нагнетают в нижнюю зону. По мере нагнетания охлаждающей текучей среды высокотемпературный участок 240 добычи поднимается по направлению к верхней зоне тела из дробленого углеводородсодержащего материала 210. В конкретном показанном варианте осуществления нагревательный трубопровод для прямого нагрева используется для нагнетания как теплопередающей текучей среды, так и охлаждающей текучей среды. Однако в других вариантах осуществления можно использовать отдельные нагнетательные трубопроводы для теплопередающей текучей среды и охлаждающей текучей среды.

На фиг. 2С показан конец второй стадии нагрева, на котором высокотемпературный участок 240 добычи поднялся в верхнюю зону тела из дробленого углеводородсодержащего материала 210. Высокотемпературный участок нагрева может перемещаться с достаточно низкой скоростью для того, чтобы обеспечить нагрев дробленого углеводородсодержащего материала в участке добычи до температуры добычи, т.е. температуры, при которой углеводороды могут быть добыты из углеводородсодержащего материала. Скорость движения участка добычи может регулироваться за счет скорости нагнетания охлаждающей текучей среды.

Высокотемпературный участок добычи может двигаться медленно, чтобы общее время нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала было относительно продолжительным. Например, в некоторых примерах время нагревания может быть от около 3 дней до около 2 лет. В других примерах время нагревания может быть от около 3 месяцев до около 1 года. В некоторых вариантах осуществления время нагрева может быть достаточным для извлечения большей части углеводородов из углеводородсодержащего материала. В одном примере время нагрева может быть достаточным для извлечения по меньшей мере приблизительно 70% по массе, а в некоторых случаях по меньшей мере приблизительно 90% по массе перерабатываемых углеводородов из углеводородсодержащего материала. Продолжительные периоды времени нагревания в сочетании с умеренными температурами могут в некоторых случаях обеспечивать углеводородные продукты более высокого качества, чем более короткие периоды времени нагревания при более высоких температурах.

Скорость движения высокотемпературного участка добычи может быть связана со скоростью потока текучей среды, нагнетаемой в тело из дробленого углеводородсодержащего материала. Скорость потока текучих сред, проходящих через тело из дробленого углеводородсодержащего материала, можно количественно оценить как объемную скорость. Используемый в настоящем документе термин "объемная скорость" представляет собой результат деления объемной скорости потока текучих сред, нагнетаемых в тело из дробленого углеводородсодержащего материала, на объем тела из дробленого углеводородсодержащего материала. Объемная скорость имеет измерение во времени ч⁻¹. В некоторых вариантах осуществления объемная скорость текучих сред, нагнетаемых в тело из дробленого углеводородсодер-

жащего материала, может находиться в диапазоне от 0,1 до 0,6 ч⁻¹.

В дополнительных примерах скорость потока текучей среды, нагнетаемой в тело из дробленого углеводородсодержащего материала, может быть достаточной по существу для поддержания однонаправленного потока в теле из дробленого углеводородсодержащего материала. Это означает, что большая часть (например, более 80 или более 90 об.%) текучей среды, занимающей объем между частицами дробленого углеводородсодержащего материала, протекает в одном общем направлении от места нагнетания нагревающей/охлаждающей текучей среды к месту сбора, где текучую среду и углеводородные продукты извлекают из системы. В одном примере скорость потока нагнетаемой текучей среды может быть достаточно большой, чтобы предотвратить образование конвективной циркуляции из-за разницы температур в теле дробленого углеводородсодержащего материала. В некоторых случаях, когда скорость потока нагнетаемой текучей среды является слишком низкой, конвективные потоки могут быть образованы в пределах тела из дробленого углеводородсодержащего материала, особенно если более горячая зона расположена ниже более холодной зоны. В этой ситуации выталкивающие силы могут привести к тому, что горячие газы поднимутся вверх и затем потекут обратно вниз по мере охлаждения газов. Таким образом, в некоторых примерах скорость потока высокой насыщенной текучей среды может быть выше скорости, при которой будет происходить такой конвективный поток, вследствие чего такой конвективный поток по существу уменьшен или предотвращен. Таким образом, самые горячие текучие среды можно удерживать в пределах зоны добычи тела из дробленого углеводородсодержащего материала, с тем чтобы можно было более эффективно извлекать углеводороды из углеводородсодержащего материала.

На фиг. 3 представлены примерные температурные профили, наложенные на тело из дробленого углеводородсодержащего материала 210 во время стадий нагрева, описанных выше. Температурный профиль на первой стадии 310 нагрева демонстрирует более высокие температуры в пределах высокотемпературного участка добычи. Температурный профиль в начале второй стадии 320 нагрева демонстрирует высокотемпературный участок, перемещающейся вверх в верхнюю зону. Затем профиль температуры на второй стадии 330 нагрева демонстрирует высокотемпературный участок в верхней зоне. Каждый температурный профиль представляет собой температуру вдоль горизонтальной оси x, в то время как высота внутри тела из дробленого углеводородсодержащего материала представлена в виде высоты, при которой профиль температуры накладывается на тело из дробленого углеводородсодержащего материала вдоль вертикальной оси y. Следует отметить, что на этой фигуре представлено упрощенное изображение температурных профилей в одном варианте осуществления, и настоящее изобретение охватывает различные другие температурные профили и способы последовательного нагрева. Например, представленные профили демонстрируют среднюю высокую температуру, которая со временем уменьшается с последовательными стадиями. Тем не менее дополнительный промежуточный нагрев может использоваться для регулировки средней температуры участка добычи по мере его перемещения вверх или вниз по телу дробленого углеводородсодержащего материала. Аналогичным образом, высокотемпературный участок добычи может расширяться во время движения вверх или вниз участка добычи. Например, начальный участок добычи, занимающий 10% вертикальной высоты, может расширяться до конечной высоты 20% в самой верхней или самой нижней зоне. Однако без дополнительного подвода энергии это также приведет к снижению средней высокой температуры. Такое снижение рабочей температуры в зоне добычи может быть приемлемым до тех пор, пока будет поддерживаться минимальная рабочая температура в пределах участка добычи, достаточная для добычи необходимых углеводородов.

В дополнение к нижней и верхней зонам тела из дробленого углеводородсодержащего материала, тело также может содержать одну или более промежуточных зон. Высокотемпературный участок добычи может перемещаться через каждую из промежуточных зон таким образом, что дробленый углеводородсодержащий материал в промежуточных зонах нагревается до достаточной температуры для добычи из него углеводородов. Участок добычи также может двигаться достаточно медленно, чтобы углеводородсодержащий материал оставался при температуре добычи в течение достаточного времени для извлечения большей части углеводородов, содержащихся в углеводородсодержащем материале. В некоторых примерах по меньшей мере приблизительно 70% по массе и в некоторых случаях по меньшей мере приблизительно 99% по массе перерабатываемых углеводородов, содержащихся в углеводородсодержащем материале, могут быть высвобождены и собраны.

В некоторых случаях высокотемпературный участок добычи может иметь склонность к снижению температуры с течением времени, так как холодный дробленый углеводородсодержащий материал поглощает тепло от текучих сред в участке добычи. Таким образом, температура в участке добычи может упасть ниже желаемой температуры добычи в промежуточной зоне или в верхней или нижней зоне. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления температура в зоне добычи может быть увеличена за счет дополнительного нагрева зоны, в которой находится участок добычи. Когда используется дополнительный нагрев, общее количество энергии, необходимой для достижения температуры добычи в зоне, может в целом быть меньше, поскольку зона может быть уже нагрета до температуры, близкой к температуре добычи участком добычи. В некоторых примерах можно использовать дополнительный нагрев для обеспечения того, что каждая зона нагревается до приблизительно однородной температуры добычи, в то время как в результате перемещения высокотемпературного участка добычи происходит значитель-

ное снижение общего количества подводимой энергии, необходимой для нагрева каждой зоны до температуры добычи.

Как правило, высокотемпературный участок добычи может занимать вертикальный слой, соответствующий части всего тела из дробленых углеводородсодержащих материалов. Вертикальный слой может часто занимать от приблизительно 5 до 50% от вертикальной глубины тела из дробленых углеводородсодержащих материалов. В некоторых случаях вертикальный слой и участок добычи могут от приблизительно 8 до приблизительно 25% от вертикальной глубины.

Целевая температура добычи может существенно изменяться в зависимости от типа обрабатываемого углеводородсодержащего материала и желаемого типа углеводородных продуктов. В некоторых случаях температуру и давление в теле дробленых углеводородсодержащих материалов можно сохранить таким образом, чтобы производились преимущественно газообразные углеводородные продукты с небольшими или отсутствующими жидкими углеводородами. По существу, температура добычи может составлять от приблизительно 200 до приблизительно 550°C. В более конкретных примерах температура добычи может составлять от приблизительно 350 до приблизительно 450°C. В еще одних примерах температура добычи может составлять от приблизительно 200 до приблизительно 400°C.

Давление в теле из дробленого углеводородсодержащего материала можно поддерживать от приблизительно 1 до приблизительно 1,4 атм и часто от приблизительно 1 до 1,1 атм, хотя могут быть подходящими и другие давления.

Промежуточная, верхняя или нижняя зоны могут быть дополнительно нагреты с помощью дополнительных нагревательных трубопроводов, встроенных в промежуточные, верхние или нижние зоны. Нагревательные трубопроводы могут нагревать зоны путем прямого или непрямого нагрева. В некоторых случаях нагревательные трубопроводы могут быть выполнены с возможностью непосредственного нагрева зон путем нагнетания теплопередающей текучей среды. По мере перемещения высокотемпературного участка добычи в определенную зону эту зону можно дополнительно нагревать путем нагнетания дополнительной теплопередающей текучей среды. Такая теплопередающая текучая среда может увеличивать размеры высокотемпературного участка добычи, обеспечивая поддержание высокотемпературного участка добычи при температуре добычи. В дополнительных примерах нагревательные трубопроводы можно использовать как для нагнетания теплопередающей текучей среды, так и для нагнетания охлаждающей текучей среды. В одном варианте осуществления промежуточная зона может быть дополнительно нагрета путем нагнетания теплопередающей текучей среды в промежуточную зону. После этого дополнительного нагрева один и тот же трубопровод можно использовать для нагнетания охлаждающей текучей среды по мере перемещения высокотемпературного участка добычи за пределы промежуточной зоны и в следующую зону. Альтернативно охлаждающую текучую среду можно нагнетать с использованием трубопроводов, встроенных в первую зону, даже после нагревания промежуточной зоны.

В процессе добычи углеводородные продукты могут быть собраны из одного или нескольких мест внутри тела из дробленых углеводородсодержащих материалов. Сбор может происходить во время любой или всех из первой стадии нагрева, второй стадии нагрева и любых промежуточных стадий нагрева для дополнительного нагрева промежуточных зон. В некоторых вариантах осуществления жидкие углеводороды можно собирать из места в нижней зоне. Например, тело из дробленого углеводородсодержащего материала может находиться в хранилище со сливом в дне хранилища для сбора жидких углеводородов. В дополнительном варианте осуществления дно хранилища может быть наклонено для направления жидких углеводородов к сливу. В другом варианте осуществления дренажный поддон может быть встроен в нижнюю зону для сбора жидких углеводородов.

Кроме того, жидкие и газообразные углеводороды могут быть собраны из других мест внутри тела из материала. Например, сборные трубопроводы могут быть помещены в верхнюю зону и в промежуточные зоны для сбора углеводородов из нескольких мест. В некоторых случаях для сбора углеводородов также можно использовать те же трубопроводы, которые используются для нагнетания теплопередающей текучей среды. В других случаях можно использовать специальные сборные трубопроводы. В некоторых примерах сбор углеводородных продуктов из множества мест на различных высотах внутри тела из дробленого углеводородсодержащего материала может позволить собирать различные композиции продуктов в различных местах. Это может быть вызвано естественными эффектами разделения между углеводородами различной молекулярной массы, давлением паров, точками росы и т.д., поскольку добытые углеводороды протекают через частицы дробленого углеводородсодержащего материала.

На фиг. 4 представлен вид в поперечном сечении тела из дробленого углеводородсодержащего материала 410, имеющего встроенные в него нагревательные трубопроводы 420 и сборные трубопроводы 430, в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. На этой фигуре тело из дробленого углеводородсодержащего материала разделено на вертикальные срезы 440. Каждый вертикальный срез содержит три ряда нагревательных трубопроводов с двумя нагревательными трубопроводами в каждом ряду. Ряды расположены вертикально на расстоянии друг от друга таким образом, что каждый ряд нагревательных каналов выполнен с возможностью нагрева другой зоны тела из дробленого углеводородсодержащего материала. В данном конкретном варианте осуществления нижний ряд нагре-

вательных трубопроводов нагревает нижнюю зону, промежуточный ряд нагревательных трубопроводов нагревает промежуточную зону, а верхний ряд нагревательных трубопроводов нагревает верхнюю зону. Ряд сборных трубопроводов встроен в верхнюю зону, над нагревательными трубопроводами. Следует отметить, что на этой фигуре показана только одна конкретная конфигурация нагревательных и сборных трубопроводов, и настоящее изобретение охватывает множество других конфигураций.

Настоящее изобретение также распространяется на системы для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала для добычи из него углеводородов. Как правило, такие системы могут содержать тело из дробленого углеводородсодержащего материала, имеющее нижнюю зону и верхнюю зону. Системы также могут содержать по меньшей мере один нагревательный трубопровод и по меньшей мере один сборный трубопровод, вследствие чего системы способны выполнять описанные выше способы. Кроме того, система для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала может содержать любые компоненты, описанные выше в отношении способов нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала. Системы могут быть выполнены с возможностью выполнения любого из описанных выше способов.

В конкретном варианте осуществления система для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала для добычи из него углеводородов может содержать тело из дробленого углеводородсодержащего материала. Тело из дробленого углеводородсодержащего материала может иметь нижнюю зону и верхнюю зону. Нижний нагревательный трубопровод может быть встроен в нижнюю зону, а верхний нагревательный трубопровод может быть встроен в верхнюю зону. Сборный трубопровод может быть встроен в верхнюю зону в месте над верхним нагревательным трубопроводом. Система также может содержать нижний терморегулирующий клапан и верхний терморегулирующий клапан. Эти клапаны могут быть выполнены с возможностью переключаемого пропускания теплопередающей текучей среды через нижний и верхний нагревательные трубопроводы соответственно. Другими словами, клапаны могут быть открыты, чтобы позволить теплопередающей текучей среде проходить через трубопроводы, или клапаны могут быть закрыты, чтобы остановить поток. Кроме того, клапаны могут быть выполнены с возможностью последовательного обеспечения прохождения теплопередающей текучей среды сначала через нижний нагревательный трубопровод, а затем через верхний нагревательный трубопровод, или сначала через верхний нагревательный трубопровод, а затем через нижний нагревательный трубопровод. Когда такая система используется для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала, в нижней зоне может быть сформирован высокотемпературный участок добычи, когда теплопередающая текучая среда протекает через нижний нагревательный трубопровод. Затем, по мере подъема высокотемпературного участка добычи, верхний терморегулирующий клапан можно открыть для дополнительного нагрева верхней зоны. Поток теплопередающей текучей среды в нижнюю зону можно остановить до того, как теплопередающая текучая среда потечет в верхнюю зону. Кроме того, охлаждающую текучую среду можно нагнетать в нижнюю зону после остановки потока теплопередающей текучей среды в нижнюю зону.

На фиг. 5 представлено схематическое изображение системы 500 для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала 510 в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. В показанном конкретном варианте осуществления система содержит нижнюю зону 511, промежуточную зону 512 и верхнюю зону 513. Ряд нижних нагревательных трубопроводов 521 встроен в нижнюю зону; ряд промежуточных нагревательных трубопроводов 522 встроен в промежуточную зону; и ряд верхних нагревательных трубопроводов 523 встроен в верхнюю зону. Кроме того, ряд сборных трубопроводов 524 встроен в верхнюю зону над верхними нагревательными трубопроводами. Система, показанная на фиг. 5, также содержит горелку 530, котел/перегреватель 531, сепаратор 532, сосуд 533 для хранения и насос 534. Различные линии соединяют эти технологические блоки. Эти линии включают, помимо прочего, линию 540 выпуска дымовых газов, линию 541 хранения воды и линию 542 хранения масла. Поток текучей среды через линии можно контролировать клапанами 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561 и 562. Клапан 550 обеспечивает поступление воздуха для горения в горелку. Клапан 551 обеспечивает поступление топлива на природном газе в горелку. Клапан 552 может быть открыт, чтобы позволить использовать неконденсируемые газы от сепаратора в качестве топлива в горелке. Клапан 553 представляет собой источник воздуха для использования в качестве теплопередающей текучей среды во время стадий предварительного нагрева и охлаждения. Клапан 554 обеспечивает поступление конденсированной воды с сепаратора в котел/перегреватель для получения пара для использования в качестве теплопередающей текучей среды. Клапан 555 направляет газы из сборных трубопроводов для входа в сепаратор. Клапан 556 направляет газы из сборных трубопроводов к насосу для перекачивания обратно в котел/перегреватель. Клапаны 557-561 могут быть открыты в различных комбинациях для обеспечения поступления теплопередающей текучей среды в нижнюю, промежуточную и верхнюю зоны. Клапан 562 контролирует поток газов из сборных трубопроводов, выходящий из тела из дробленого углеводородсодержащего материала.

На фиг. 5 показана система с определенной комбинацией открытых или закрытых клапанов. Конкретная конфигурация показанных клапанов может использоваться для стадий предварительного нагрева и продувки. На этой стадии воздух нагревается и нагнетается через нижние нагревательные трубопрово-

ды при температуре ниже температуры добычи. Такая температура предварительного нагрева может составлять, например, от приблизительно на 50 до приблизительно 250°C или в некоторых случаях от приблизительно 100 до приблизительно 200°C. В одном конкретном варианте осуществления температура предварительного нагрева может составлять приблизительно 350°F (177°C). На стадии предварительного нагрева вода может испаряться из углеводородсодержащего материала, а смесь воздуха и пара может быть собрана из сборных трубопроводов. Эта смесь воздуха и пара может быть возвращена в котел/перегреватель и повторно нагнетаться в нижние нагревательные трубопроводы по мере того, как тело из дробленого углеводородсодержащего материала приближается к температуре предварительного нагрева. В некоторых вариантах осуществления отношение пара к воздуху может быть постепенно увеличено таким образом, что меньше воздуха будет нагнетаться по мере достижения телом из дробленого углеводородсодержащего материала более высоких температур. К концу стадии предварительного нагрева концентрация воздуха внутри тела из дробленого углеводородсодержащего материала может быть снижена ниже уровня, который будет поддерживать сгорание или окисление углеводородсодержащего материала или углеводородов, добываемых из него. В одном примере тело из материала можно продувать воздухом до тех пор, пока концентрация кислорода в теле из материала не будет ниже приблизительно 6% по объему.

На фиг. 6 показана та же система 500 с другой конфигурацией открытых и закрытых клапанов. На этой фигуре показана первая стадия нагрева, в которой нагревают нижнюю зону 511. На этой стадии клапан 553 закрывают для прекращения подачи воздуха в котел/перегреватель. Вместо использования воздуха в качестве теплопередающей текучей среды в течение этой стадии используют чистый пар. Пар образуется путем кипения и перегрева конденсированной воды из сепаратора 532. Пар нагнетается через нижние нагревательные трубопроводы 521. Как описано выше, это может привести к формированию высокотемпературного участка добычи в нижней зоне.

На стадии нагрева пар можно нагнетать при температуре добычи. Температура добычи может составлять от приблизительно 95 до приблизительно 500°C. В более конкретных примерах температура добычи может составлять от приблизительно 100 до приблизительно 450°C. В еще других примерах температура добычи может составлять от приблизительно 200 до приблизительно 400°C. В одном конкретном варианте осуществления температура пара, нагнетаемого на этой стадии, может составлять приблизительно 730°F (388°C). Смесь пара и углеводородных продуктов может быть собрана через сборные трубопроводы 524. Эта смесь разделяется в сепараторе 532 на воду и углеводороды. Жидкие углеводороды могут храниться в сосуде 533 для хранения, в то время как газообразные углеводороды могут использоваться в качестве топлива в горелке 530.

На фиг. 7 показана стадия рекуперации тепла, на которой пар при более низкой температуре нагнетают в нижнюю зону 511. На этой стадии высокотемпературный участок добычи может подниматься из нижней зоны в промежуточную зону 512. Низкотемпературный пар действует в качестве охлаждающей текучей среды в нижней зоне и рекуперировывает тепло из нижней зоны. Пар может находиться при температуре охлаждения от приблизительно 25 до приблизительно 250°C или в некоторых случаях от приблизительно 100 до приблизительно 200°C. В одном варианте осуществления пар можно нагнетать при температуре приблизительно 300°F (149°C). На стадии рекуперации тепла смесь пара и углеводородных продуктов продолжает собираться из сборных трубопроводов 524.

На фиг. 8 показана промежуточная стадия нагрева, на которой в промежуточную зону 512 нагнетают высокотемпературный пар. Пар, нагнетаемый на этой стадии, может иметь такую же температуру, что и пар, нагнетаемый на первой стадии нагрева нижней зоны 511. На этой стадии подачу потока пара в нижнюю зону прекращают таким образом, что пар нагнетают только в промежуточную зону. Это позволяет избежать потери энергии на нагрев углеводородсодержащего материала в нижней зоне, которая уже достаточно нагрета для добычи из нее углеводородов.

На фиг. 9 показана другая стадия рекуперации тепла. Эта стадия рекуперации тепла происходит аналогично первой стадии рекуперации тепла. Подачу потока пара в промежуточную зону 512 прекращают, и низкотемпературный пар нагнетают в нижнюю зону 511. На этой стадии высокотемпературный участок добычи может перемещаться из промежуточной зоны в верхнюю зону 513.

На фиг. 10 показана последняя стадия нагрева, на которой нагревают верхнюю зону 513. Высокотемпературный пар нагнетают в верхнюю зону. Подачу потока пара в нижнюю зону 511 и промежуточную зону 512 прекращают на этой стадии.

На фиг. 11 показана конечная стадия охлаждения. Опять-таки, низкотемпературный пар нагнетают в нижнюю зону 511. Это можно продолжать до тех пор, пока все тело из дробленого углеводородсодержащего материала не будет ниже определенной температуры. Например, пар можно использовать для охлаждения тела из материала до температуры в пределах приблизительно 25°C от температуры пара. В одном примере пар может находиться при температуре приблизительно 300°F (149°C), а охлаждение может продолжаться до тех пор, пока тело из материала не достигнет температуры приблизительно 350°F (177°C). В этот момент для охлаждения тела из материала до конечной температуры можно использовать воздух с более низкой температурой, такой как воздух окружающей среды.

На фиг. 12 показана конфигурация, в которой воздух нагнетают в нижнюю зону для охлаждения тела из материала. В одном примере окружающий воздух можно использовать для охлаждения тела из материала до температуры ниже приблизительно 200°F (93°C).

На приведенных выше фигурах представлен один вариант осуществления настоящего изобретения. Можно применять и другие конфигурации технологического оборудования, зон нагрева, линий и клапанов. Например, тело из дробленого углеводородсодержащего материала может быть разделено на любое количество зон или нагреваться в любой последовательности зон. Системы для нагрева углеводородсодержащего материала могут иметь любое подходящее расположение клапанов, выполненных с возможностью последовательного нагрева зон. В некоторых вариантах осуществления стадия рекуперации тепла может выполняться между каждой стадией нагрева путем нагнетания охлаждающей текучей среды в тело из материала. Охлаждающую текучую среду можно нагнетать в нижнюю или верхнюю зону во время каждой стадии рекуперации тепла, или охлаждающую текучую среду можно нагнетать в промежуточные зоны.

На фиг. 13 показан другой вариант осуществления системы 600 для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. В данном варианте осуществления технологическое оборудование выполнено с возможностью обеспечения использования неконденсируемых газов из сепаратора 532 в качестве теплопередающей текучей среды во время стадий нагрева. Клапан 554 может быть открыт таким образом, чтобы можно было направлять неконденсируемые газы на теплообменник 631 непрямого нагрева для нагрева неконденсируемых газов, которые затем можно нагнетать в тело из дробленого углеводородсодержащего материала 510. Клапан 553 позволяет использовать воздух в качестве теплопередающей текучей среды на стадии предварительного нагрева. Клапан 556 позволяет рециркулировать газы, собранные из сборных трубопроводов 524, и повторно использовать их в качестве теплопередающей текучей среды.

Система, показанная на фиг. 13, может быть использована для подобного процесса добычи углеводородов, как показано на фиг. 5-12, хотя каждый отдельный этап этого процесса не показан на фиг. 13. На стадии предварительного нагрева и продувки воздух может нагреваться в теплообменнике 631 непрямого нагрева и нагнетаться в нижнюю зону 511. Смесь воздуха и пара из испаряющейся воды в теле из дробленого углеводородсодержащего материала 510 может быть собрана из сборных трубопроводов 524 и возвращена в теплообменник непрямого нагрева. Эта стадия предварительного нагрева и продувки может быть выполнена с использованием описанных выше температур предварительного нагрева. Другие технологические блоки, показанные на фиг. 13, соответствуют технологическим блокам в системе, показанной на фиг. 5-12.

После предварительного нагрева первая стадия нагрева может быть выполнена путем переключения клапанов для прекращения подачи потока воздуха на теплообменник 631 непрямого нагрева и вместо этого использования неконденсируемых газов из сепаратора 532 в качестве теплопередающей текучей среды. Неконденсируемые газы можно нагревать до температуры добычи и нагнетать в первую зону 511 или 513. Температура добычи может представлять собой любую из описанных выше температур добычи. В дополнительном конкретном варианте осуществления температура неконденсируемых газов может составлять приблизительно 900°F (482°C). После стадии нагрева охлажденные неконденсируемые газы можно нагнетать в качестве охлаждающей текучей среды в нижнюю или верхнюю зону во время стадии рекуперации тепла. Охлаждающая текучая среда может иметь температуру охлаждения, как описано выше. В одном конкретном варианте осуществления температура охлаждающей текучей среды может составлять приблизительно 110°F (43°C). Дополнительные этапы нагрева и стадии охлаждения могут быть выполнены для промежуточной зоны 512 и верхней зоны 513, как описано выше.

На фиг. 14 показан другой вариант осуществления системы 700 для нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала. В данном варианте осуществления отработанные газы из горелки 530 направляются в камеру 731 смешивания, где отработанные газы смешиваются с достаточным количеством неокисляющего газа (например, газа, не содержащего кислорода) для образования смеси с температурой предварительного нагрева. Температура предварительного нагрева может представлять собой любую из описанных выше температур предварительного нагрева. В одном конкретном варианте осуществления температура предварительного нагрева может составлять приблизительно 400°F (204°C). Отработанные газы из горелки могут находиться при температуре сгорания, например, от приблизительно 1000 до приблизительно 1500°C. В одном конкретном варианте осуществления температура отработанных газов может составлять приблизительно 2500°F (1371°C). После стадии предварительного нагрева данная система прекращает использование отработанных газов из горелки, смешанных с неокисляющим газом в качестве теплопередающей текучей среды, и переходит в конфигурацию, показанную на фиг. 15.

На фиг. 15 отработанные газы из горелки направляются на теплообменник 631 непрямого нагрева, а не в камеру смешивания. Теплообменник непрямого нагрева используется для нагрева неконденсируемых газов из сепаратора 532. После прохождения через теплообменник непрямого нагрева, отработанные газы выходят из линии 540 выпуска дымовых газов. Дополнительный природный газ, используемый в качестве теплопередающей текучей среды, может быть добавлен с помощью клапана 553. Другие техно-

логические блоки, показанные на фиг. 15, соответствуют технологическим блокам, показанным на фиг. 13, 14. С помощью данной конфигурации система может выполнять стадии нагрева и охлаждения для каждой зоны тела из дробленого углеводородсодержащего материала 510, как описано выше.

В системах, использующих прямой нагрев путем нагнетания теплопередающей текучей среды, нагревательные трубопроводы могут быть выполнены с возможностью обеспечивать равномерное нагнетание во всей нагреваемой зоне. В некоторых примерах этого можно достичь, используя нагревательные трубопроводы с относительно небольшими перфорациями для нагнетания теплопередающей текучей среды. Размер перфораций может регулироваться таким образом, что текучая среда выходит из каждой перфорации приблизительно при одинаковой массовой скорости потока. В одном примере общая площадь перфораций может быть существенно меньше площади поперечного сечения трубопровода. В некоторых случаях общая площадь всех перфораций в трубопроводе может быть меньше площади поперечного сечения трубопровода. В конкретном примере общая площадь всех перфораций в трубопроводе может составлять менее 60% площади поперечного сечения трубопровода, а в других случаях - от приблизительно 30 до 60%. В другом конкретном примере скорость потока из каждой перфорации по всей длине тела из дробленого углеводородсодержащего материала может находиться в пределах 10% от средней скорости потока из перфораций.

В дополнительных примерах нагревательные трубопроводы могут иметь диаметр от приблизительно 10 до приблизительно 40 дюймов. В более конкретных примерах нагревательные трубопроводы могут иметь диаметр от приблизительно 12 до приблизительно 36 дюймов. В еще одних примерах нагревательные трубопроводы могут иметь диаметр от приблизительно 12 до приблизительно 20 дюймов. Перфорации также могут отличаться по размеру. В некоторых примерах перфорации могут иметь диаметр от приблизительно 4 до приблизительно 10 мм. Диаметр сборных трубопроводов может варьировать от приблизительно 10 до приблизительно 40 дюймов. В некоторых случаях сборные трубопроводы могут содержать более крупные перфорации по сравнению с нагревательными трубопроводами. В некоторых примерах сборные трубопроводы могут иметь перфорации диаметром от приблизительно 1 до приблизительно 3 дюймов. В одном конкретном примере сборные трубопроводы могут иметь перфорации диаметром приблизительно 2,6 дюйма.

В дополнительных примерах перфорации могут быть расположены на нижней поверхности трубопровода. Размещение перфораций на нижней поверхности вместо верхней поверхности может помочь предотвратить засорение перфораций пылью или мелкими частицами углеводородсодержащего материала. Сборные трубопроводы могут также иметь перфорации на нижней поверхности, чтобы уменьшить попадание в поток продукта зернистого материала.

На фиг. 16А показан вид в поперечном сечении нагревательного трубопровода 220, имеющего четыре перфорации 225, распределенных радиально на нижней поверхности трубопровода. На фиг. 16В показан вид снизу этого нагревательного трубопровода, на котором изображено, что трубопровод имеет множество наборов из четырех перфораций, распределенных во множестве осевых точек вдоль трубопровода.

Все аспекты описанных выше систем, включая технологическое оборудование, конфигурации клапанов и конструкцию нагревательных и сборных трубопроводов, можно применять к способам нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала. Аналогичным образом, этапы способа могут применяться к системам, описанным в настоящем документе. Таким образом, настоящее изобретение охватывает способы и системы, включающие любой из этапов способа и элементов системы, описанных в настоящем документе.

Примеры

Теплопередающую текучую среду подают в тело из дробленого нефтяного сланца со скоростью потока 288000 фунтов/ч при температуре 900°F. В табл. 1 указаны три варианта диаметра нагревательного трубопровода с соответствующими давлениями подачи, диаметрами перфораций, скоростями на входе в трубопровод и скоростями в перфорации (скорость текучей среды, проходящей через перфорации).

Таблица 1

Диаметр трубопровода	Давление подачи	Диаметр перфорации	Скорость на входе в трубопровод	Скорость в перфорации
20 дюймов	1,0 фунта/кв. дюйм изб.	8 мм	41 м/с	87-81 м/с
16 дюймов	2,1 фунта/кв. дюйм изб.	6 мм	63 м/с	150-135 м/с
12 дюймов	8,7 фунта/кв. дюйм изб.	4 мм	113 м/с	335-305 м/с

В табл. 2 указаны два варианта диаметра сборного трубопровода с соответствующим количеством сборных трубопроводов в системе, диаметр перфораций, максимальная скорость в трубопроводе и скорость в перфорации.

Таблица 2

Диаметр трубопровода	Количество трубопроводов	Диаметр перфорации	Максимальная скорость в трубопроводе	Скорость в перфорации
26 дюймов	20	2,6 дюйма	20 м/с	<1 м/с
36 дюймов	20	2,6	10 м/с	<1 м/с

В табл. 3 указан баланс давлений для хранилища, имеющего встроенные в него 20-дюймовые нагревательные трубопроводы, описанные выше.

Таблица 3

Давление подачи рабочей текучей среды	1 фунт/кв. дюйм изб.
Падение давления на нагревательных перфорациях трубопровода	0,5 фунта/кв. дюйм изб.
Падение давления в пласте горючего сланца (при условии 35% пористости)	<0,1 фунта/кв. дюйм изб.
Падения давления в сборных трубопроводах	<0,2 фунта/кв. дюйм изб.
Давление газа на выходе из хранилища	>0,2 фунта/кв. дюйм изб. и <0,5 фунта/кв. дюйм изб.

Описанные элементы, структуры или характеристики можно скомбинировать любым подходящим способом в одном или более примерах. В представленном выше описании приводится множество конкретных деталей, таких как примеры различных конфигураций, призванных обеспечить исчерпывающее представление о примерах описываемой технологии. Вместе с тем специалисту в соответствующей области будет очевидно, что такая технология может применяться на практике без одной или более конкретных деталей или же с использованием других способов, компонентов, устройств и пр. В других случаях во избежание затруднений для понимания аспектов такой технологии не приводятся или подробно не описываются хорошо известные конструкции или процедуры.

В предшествующем подробном описании описано изобретение со ссылкой на конкретные примеры осуществления. Однако следует понимать, что различные модификации и изменения можно вносить без отступления от объема настоящего изобретения, изложенного в прилагаемой формуле изобретения. Под-

робное описание и сопроводительные фигуры следует считать исключительно иллюстративными, а не ограничивающими, и любые такие модификации или изменения в случае их внесения считаются входящими в объем настоящего изобретения, описанного и изложенного в настоящем документе.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала для добычи из него углеводородов, включающий этапы, на которых

формируют тело из дробленого углеводородсодержащего материала, имеющего первую зону и вторую зону в месте, отличном от первой зоны;

нагревают первую зону во время первой стадии нагрева с формированием динамического высокотемпературного участка добычи в первой зоне;

нагнетают охлаждающую текучую среду в первую зону после формирования высокотемпературного участка добычи, причем охлаждающая текучая среда вытесняет горячую текучую среду из первой зоны во вторую зону и охлаждающая текучая среда отводит тепло от дробленого углеводородсодержащего материала в первой зоне и передает тепло дробленому углеводородсодержащему материалу во второй зоне таким образом, чтобы высокотемпературный участок добычи перемещался во вторую зону во второй стадии нагрева; и

собирают углеводороды из тела из дробленого углеводородсодержащего материала в течение как первой, так и второй стадий нагрева.

2. Способ по п.1, в котором первая зона представляет собой нижнюю зону тела из дробленого углеводородсодержащего материала, а вторая зона представляет собой верхнюю зону тела из дробленого углеводородсодержащего материала и высокотемпературный участок добычи перемещается вверх в верхнюю зону во время второй стадии нагрева.

3. Способ по п.1, в котором первая зона представляет собой верхнюю зону тела из дробленого углеводородсодержащего материала, а вторая зона представляет собой нижнюю зону тела из дробленого углеводородсодержащего материала и высокотемпературный участок добычи перемещается вниз в нижнюю зону во время второй стадии нагрева.

4. Способ по п.1, в котором нагрев выполняют с использованием по меньшей мере одного нагревательного трубопровода, встроенного в первую зону.

5. Способ по п.4, в котором нагревательный трубопровод представляет собой нагревательный трубопровод с замкнутым контуром, выполненный с возможностью нагрева первой зоны с помощью прямого нагрева.

6. Способ по п.4, в котором нагревательный трубопровод представляет собой нагнетательный трубопровод, выполненный с возможностью нагрева первой зоны путем нагнетания теплопередающей текучей среды.

7. Способ по п.6, в котором теплопередающая текучая среда представляет собой воздух, пар, легкие углеводороды, двуокись углерода, водород или их смеси.

8. Способ по п.1, дополнительно включающий дополнительный нагрев второй зоны, в то время как высокотемпературный участок добычи находится по меньшей мере частично в пределах второй зоны.

9. Способ по п.1, в котором высокотемпературный участок добычи перемещается по меньшей мере в одну промежуточную зону между первой зоной и второй зоной, причем способ дополнительно включает дополнительный нагрев по меньшей мере одной промежуточной зоны, в то время как высокотемпературный участок добычи находится по меньшей мере частично в пределах по меньшей мере одной промежуточной зоны.

10. Способ по п.9, в котором сбор углеводородов включает сбор углеводородов по меньшей мере из одной промежуточной зоны.

11. Система для осуществления способа по п.1, содержащая тело из дробленого углеводородсодержащего материала, имеющее нижнюю зону и верхнюю зону; нижний нагревательный трубопровод, встроенный в нижнюю зону; верхний нагревательный трубопровод, встроенный в верхнюю зону; сборный трубопровод, встроенный в верхнюю зону в месте над верхним нагревательным трубопроводом;

нижний терморегулирующий клапан, функционально связанный с нижним нагревательным трубопроводом и выполненный с возможностью переключаемого пропускания теплопередающей текучей среды через нижний нагревательный трубопровод; и

верхний терморегулирующий клапан, функционально связанный с верхним нагревательным трубопроводом и выполненный с возможностью переключаемого пропускания теплопередающей текучей среды через верхний нагревательный трубопровод,

при этом нижний терморегулирующий клапан и верхний терморегулирующий клапан выполнены с возможностью последовательного пропускания теплопередающей текучей среды через нижний нагревательный трубопровод, а затем через верхний нагревательный трубопровод или через верхний нагрева-

тельный трубопровод, а затем через нижний нагревательный трубопровод.

12. Система по п.11, в которой нижний нагревательный трубопровод и верхний нагревательный трубопровод представляют собой трубопроводы с замкнутым контуром, выполненные с возможностью нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала путем непрямого нагрева.

13. Система по п.11, в которой нижний нагревательный трубопровод и верхний нагревательный трубопровод представляют собой нагнетательные трубопроводы, выполненные с возможностью нагрева тела из дробленого углеводородсодержащего материала путем нагнетания теплопередающей текучей среды в тело из дробленого углеводородсодержащего материала.

14. Система по п.13, в которой нижний нагревательный трубопровод и верхние нагревательные трубопроводы содержат перфорации, причем каждая перфорация имеет общую площадь, которая меньше площади поперечного сечения трубопроводов.

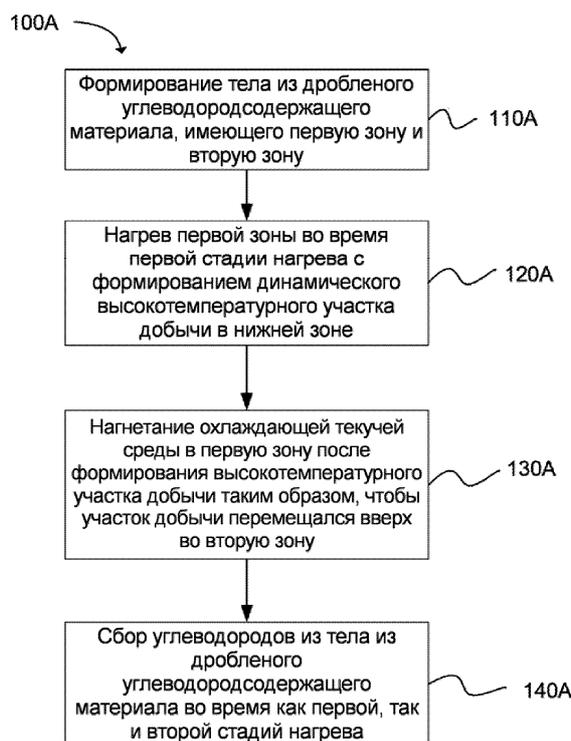
15. Система по п.11, дополнительно содержащая хранилище, заключающее в себе тело из дробленого углеводородсодержащего материала, причем хранилище содержит грунтовые материалы.

16. Система по п.15, в которой хранилище содержит барьерный слой, по меньшей мере частично выполненный из набухающей глины.

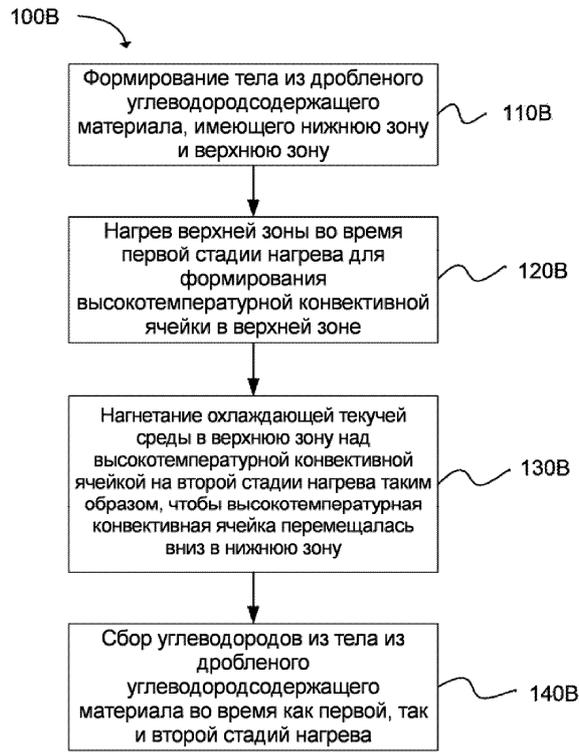
17. Система по п.15, в которой хранилище имеет площади поверхности в горизонтальной проекции сверху от приблизительно 0,5 до приблизительно 10 акров.

18. Система по п.11, дополнительно содержащая котел/перегреватель, функционально связанный с нижним и верхним нагревательными трубопроводами, причем котел/перегреватель выполнен с возможностью подачи пара в качестве теплопередающей текучей среды.

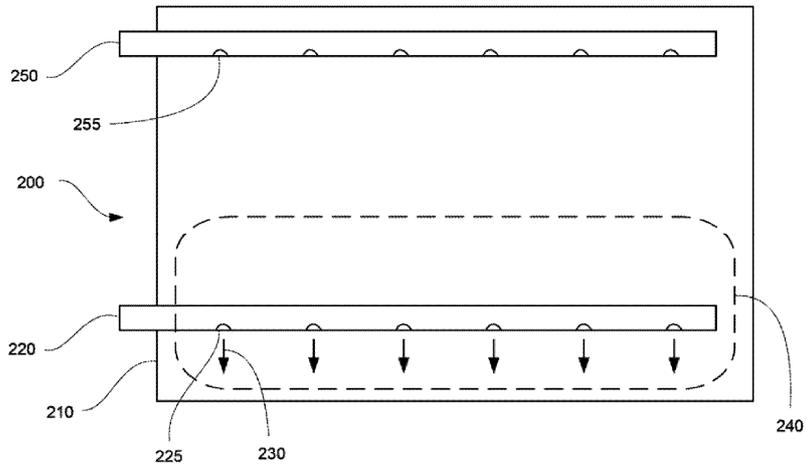
19. Система по п.11, дополнительно содержащая сепаратор, функционально связанный со сборным трубопроводом, причем сепаратор выполнен с возможностью подачи неконденсируемых газов в качестве теплопередающей текучей среды.



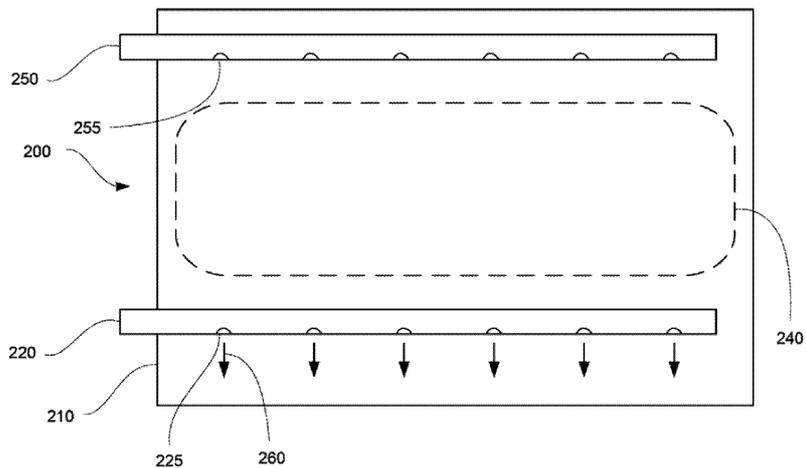
Фиг. 1А



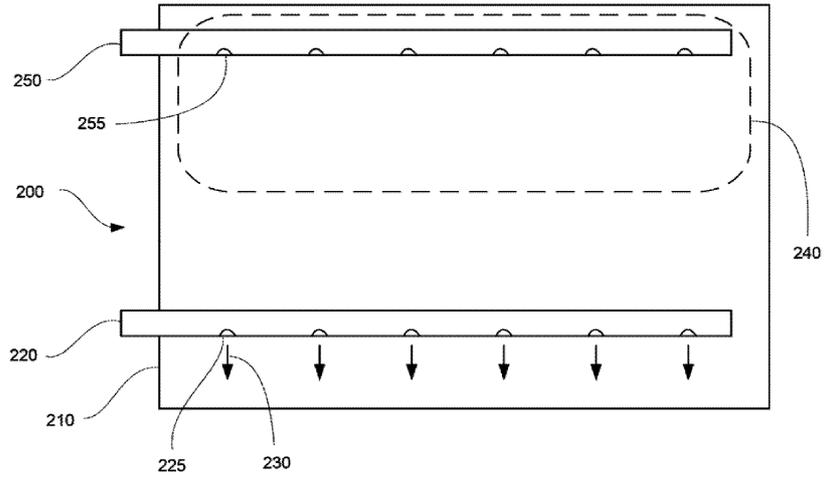
Фиг. 1B



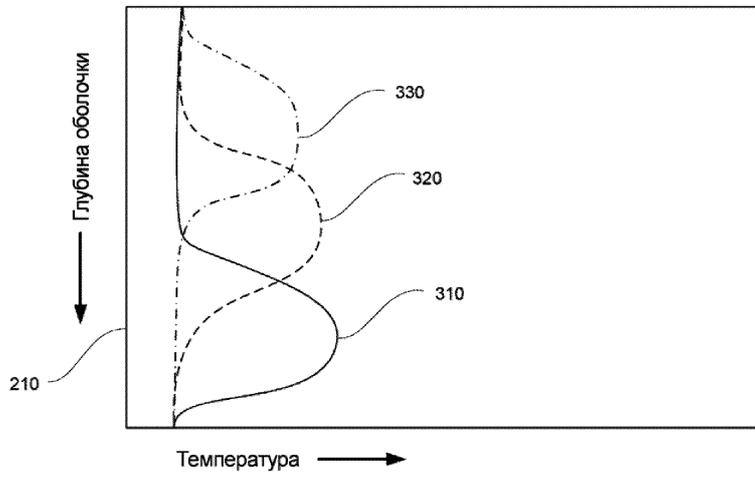
Фиг. 2A



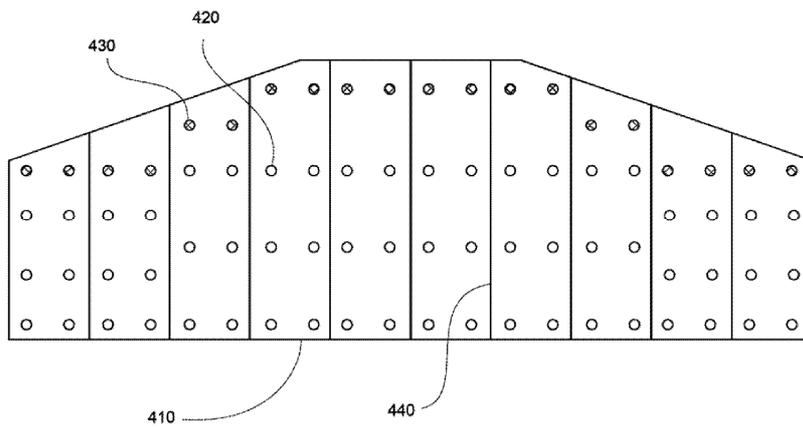
Фиг. 2B



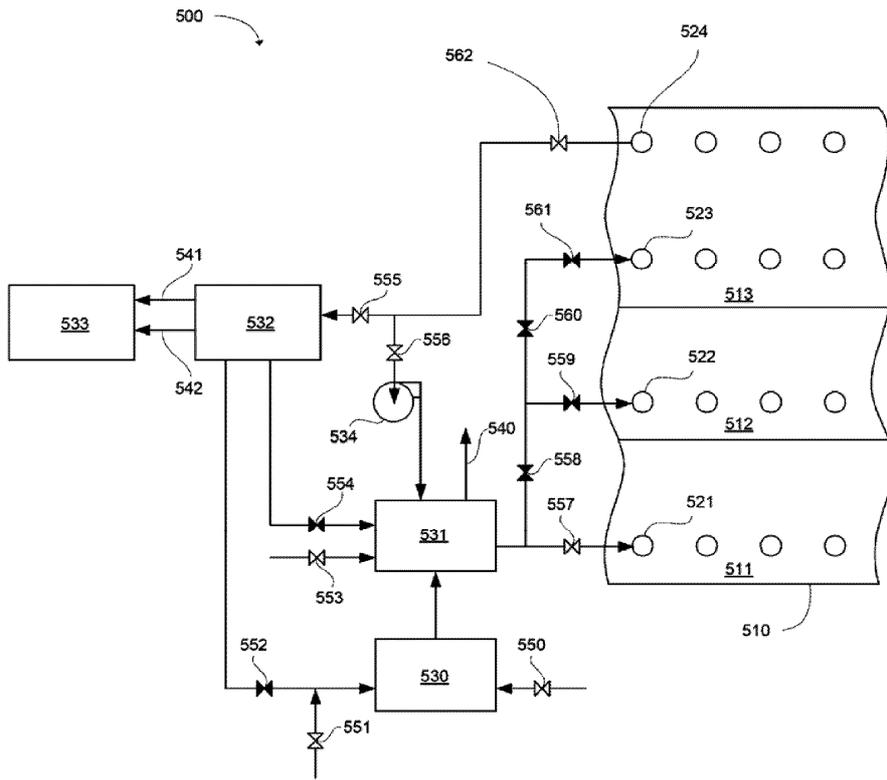
Фиг. 2С



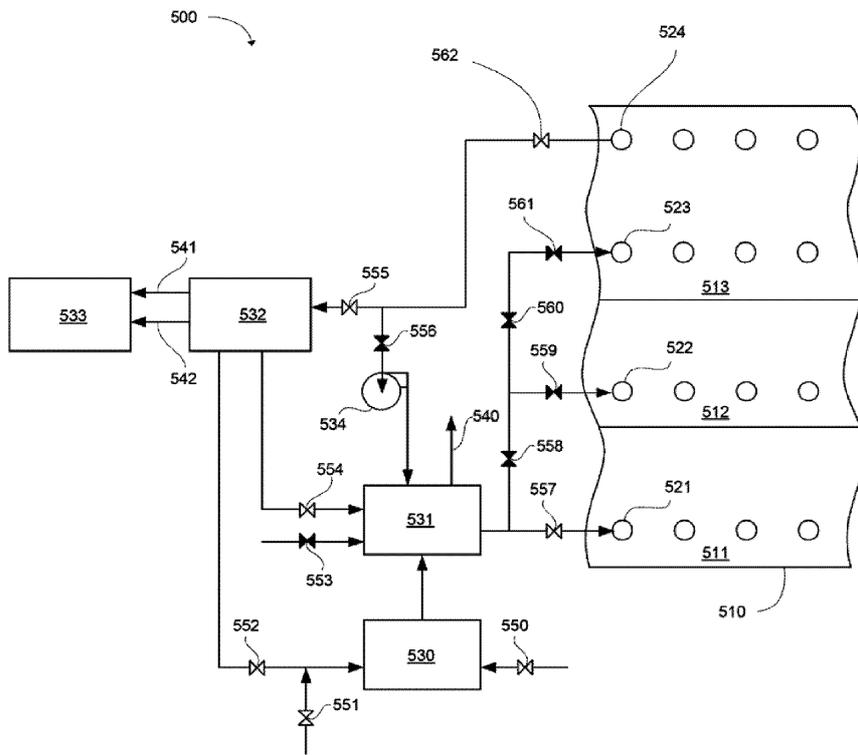
Фиг. 3



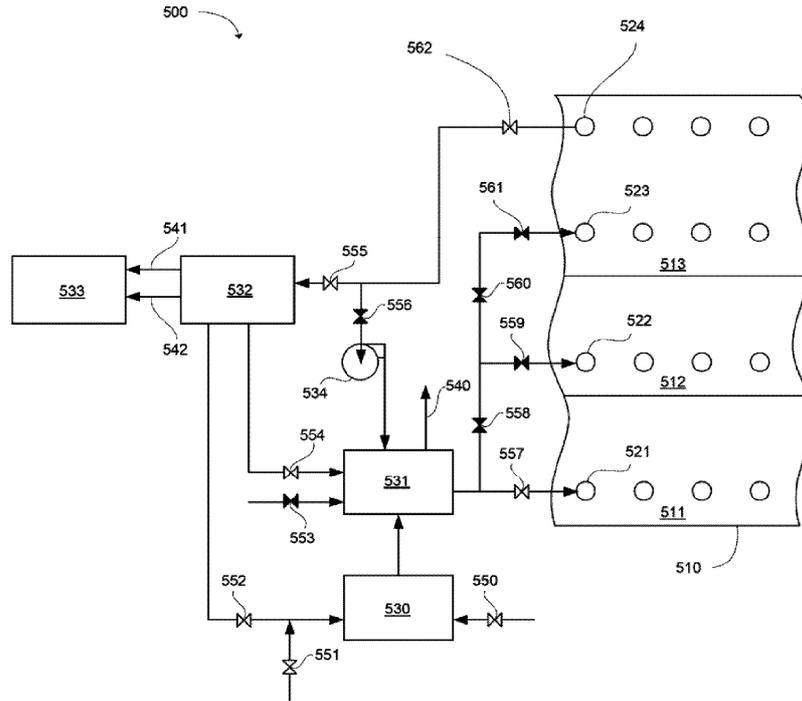
Фиг. 4



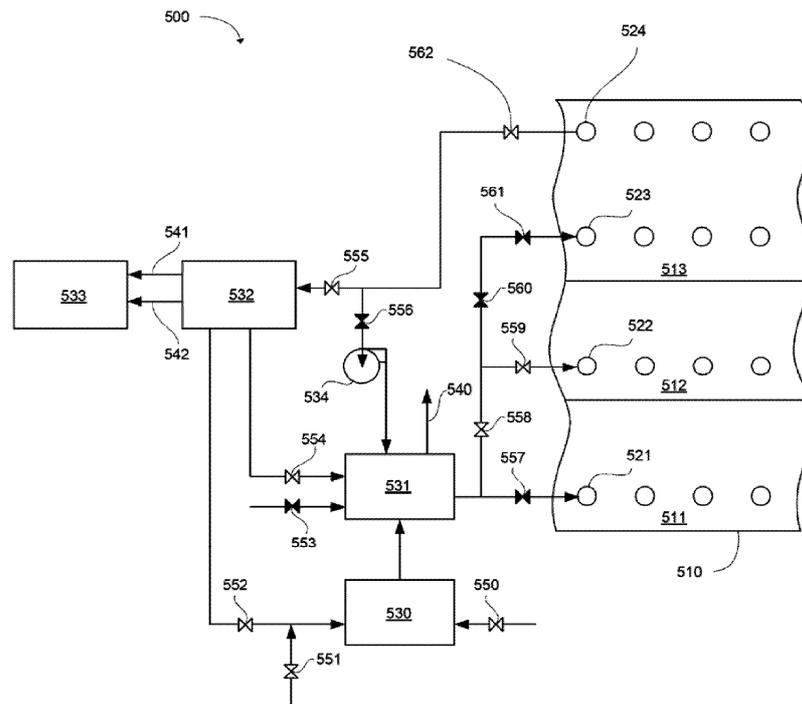
Фиг. 5



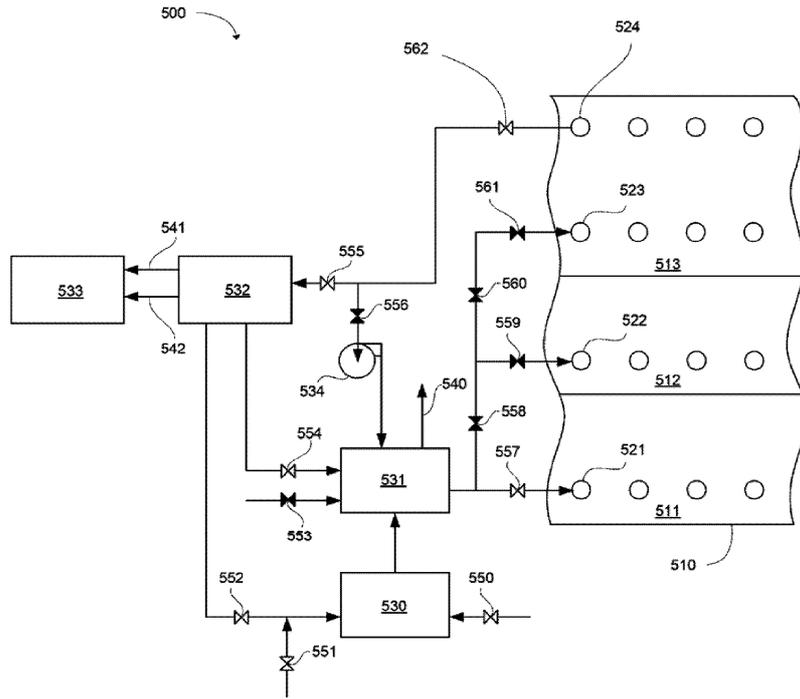
Фиг. 6



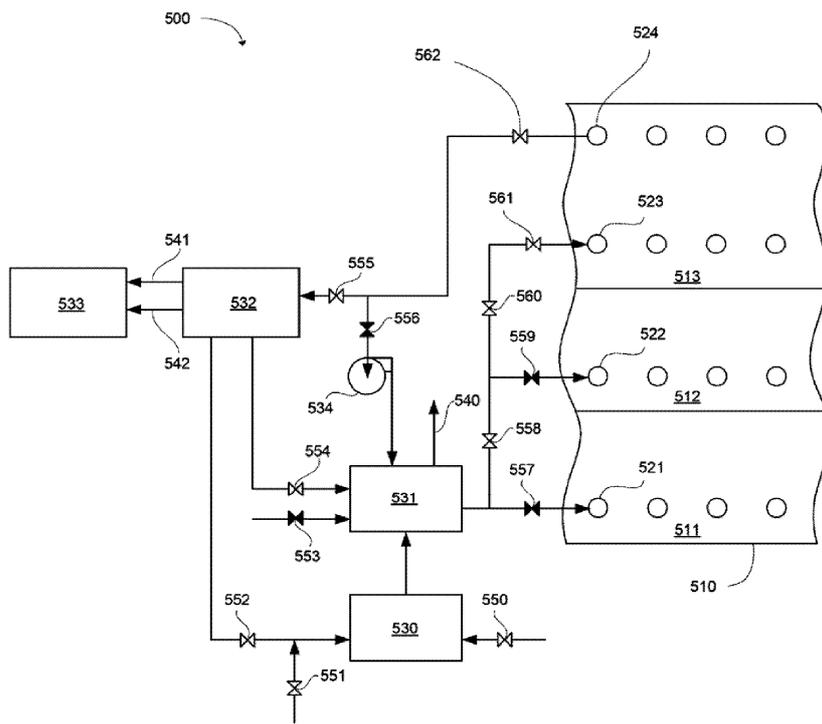
Фиг. 7



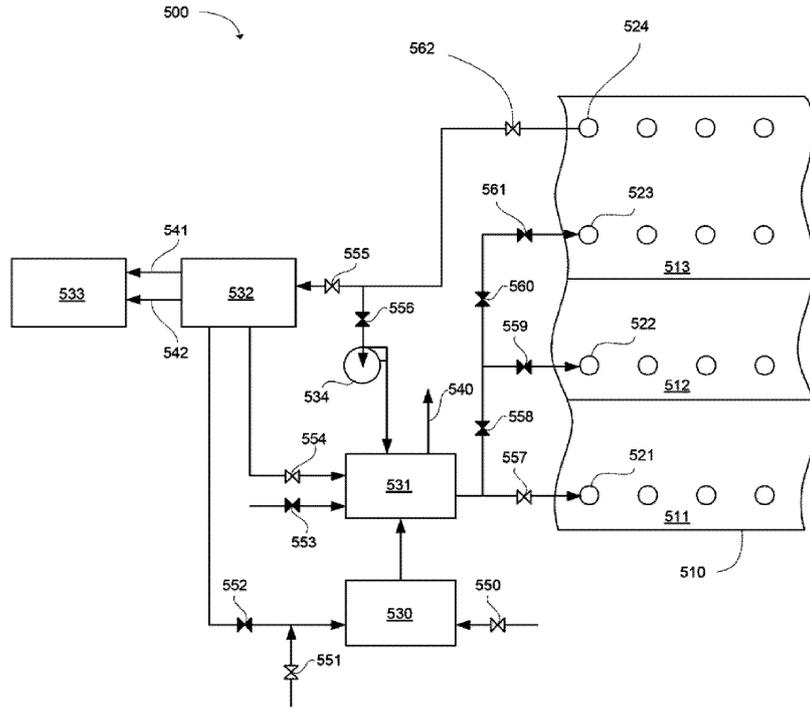
Фиг. 8



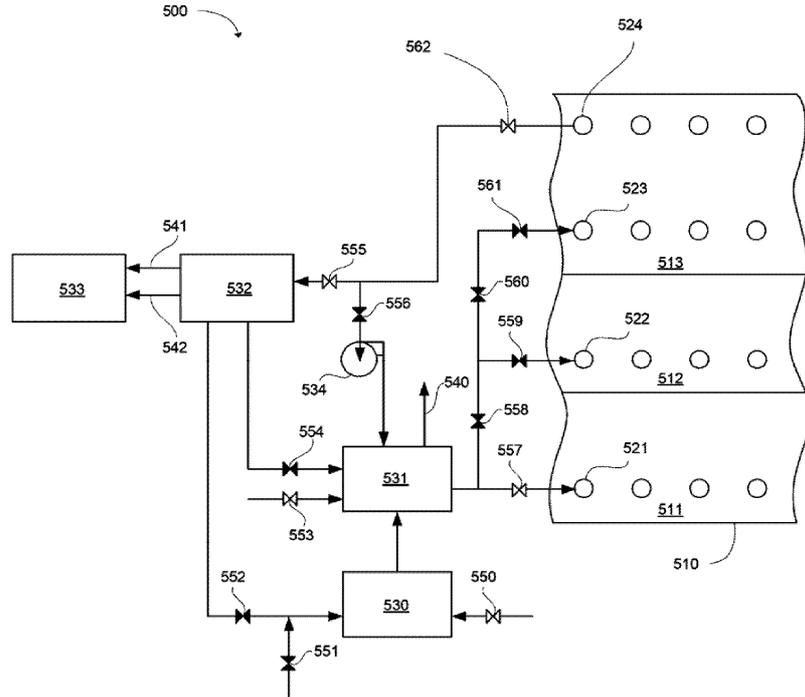
Фиг. 9



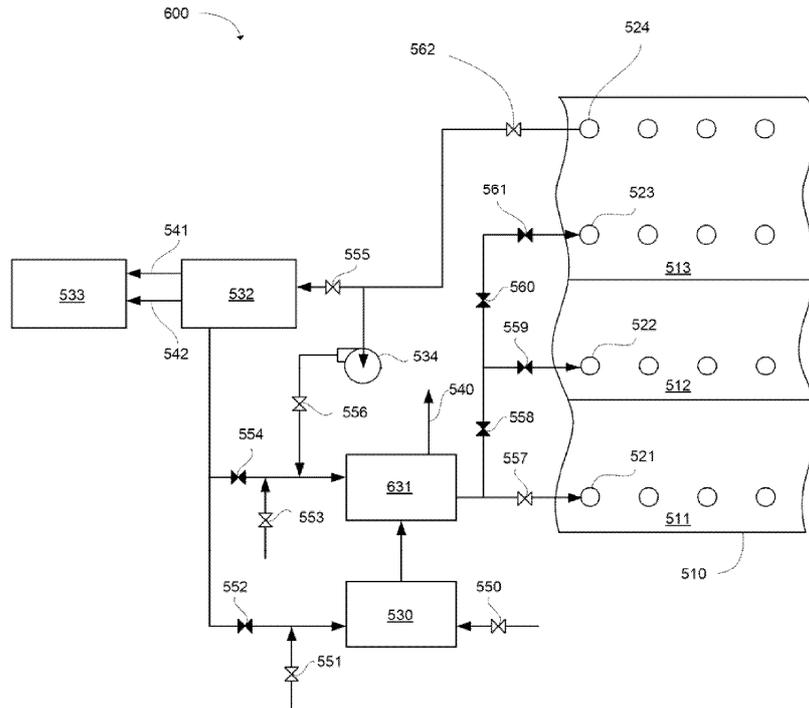
Фиг. 10



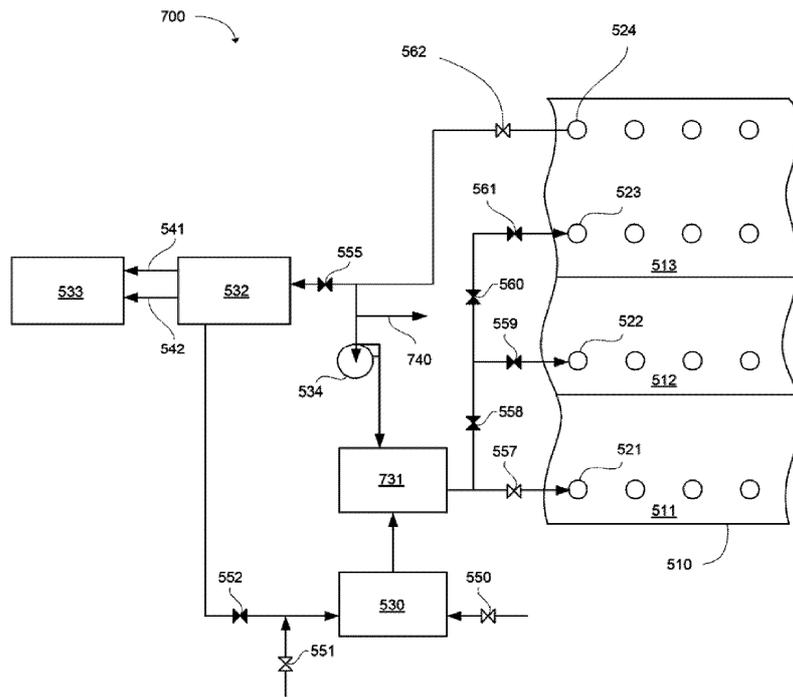
Фиг. 11



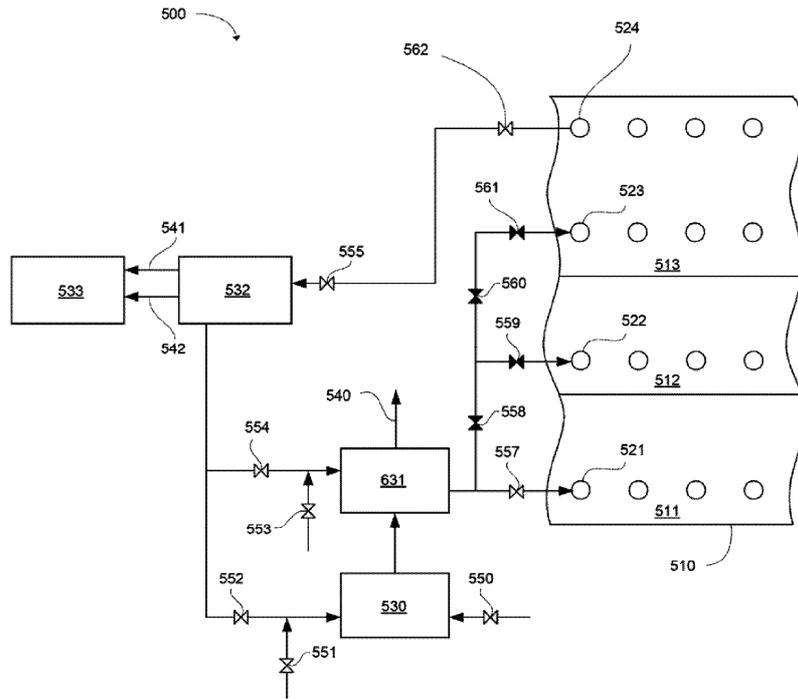
Фиг. 12



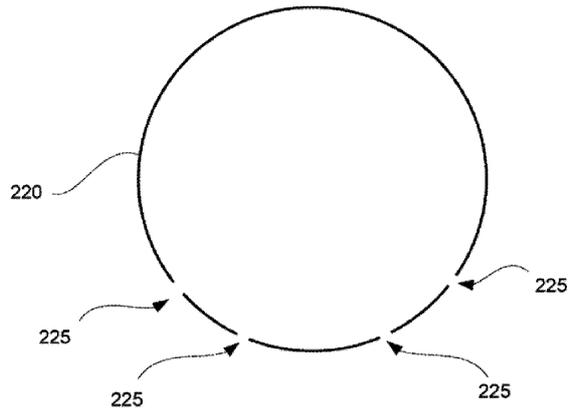
Фиг. 13



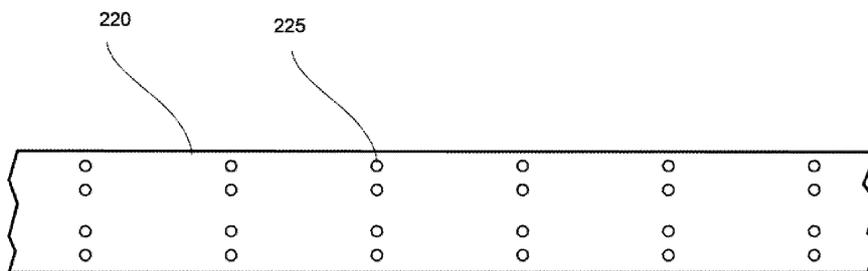
Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16А



Фиг. 16В

