

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014128055/05, 10.07.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.07.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.07.2014

(45) Опубликовано: 10.02.2016 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 20090062591 A1, 05.03.2009. RU
2117626 C1, 20.08.1998. RU 2465193 C2,
27.10.2012. SU 1713420 A3, 15.02.1992. SU
1634127 A3, 07.03.1991.

Адрес для переписки:

142432, Московская обл., г. Черноголовка, пр-кт
академика Семенова, 1, ИПХФ РАН, Директору
ИПХФ РАН, академику С.М. Алдошину

(72) Автор(ы):

Дорофеенко Сергей Олегович (RU),
Жирнов Александр Александрович (RU),
Полианчик Евгений Викторович (RU),
Салганский Евгений Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт проблем
химической физики российской академии
наук (ИПХФ РАН) (RU)(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА ИЗ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В РЕАКТОРЕ
С ОБРАЩАЕМЫМ ПОТОКОМ И РЕАКТОР ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области получения водорода или синтез-газа при переработке различных водородсодержащих топлив посредством парциального окисления и может быть использовано для переработки различных углеводородных топлив и сероводорода. Способ получения синтез-газа и/или водорода посредством неполного окисления горючего, в том числе: метана, пропана, бутана, жидких углеводородов, сероводорода, твердых топлив, в том числе биомассы, твердых углеводородов, угля, а также смесей, содержащих вышеперечисленные компоненты, в трубчатом реакторе с обращаемым потоком, включает: разогрев до высокой температуры по крайней мере части камеры трубчатого реактора, заполненной твердым пористым материалом; подачу в трубчатый реактор двух реагентов - горючего и кислородсодержащего газа в недостаточном для полного окисления горючего количестве; проведение реакции горючего и кислородсодержащего газа в слое твердого

пористого материала; установление в трубчатом реакторе газового потока от одного конца реактора до другого конца посредством подачи газообразного реагента с одного конца реактора и вывода газообразных продуктов реакции в виде синтез-газа с противоположного конца; измерение температуры в реакторе; периодическое изменение направления газового потока в реакторе; при этом реагенты подают в реактор отдельно: один из реагентов, газообразный реагент -А-, подают с одного конца реактора, а второй реагент -В- подают в среднюю часть реактора, и проводят в средней части реактора смешение реагента В с газообразным реагентом А, подогретым за счет теплообмена с твердым пористым материалом. Также предложен реактор, позволяющий реализовать процесс конверсии. Изобретение позволяет обеспечить высокую энергетическую эффективность конверсии водородсодержащего сырья в синтез-газ и/или водород. 2 н. и 10 з.п. ф-лы, 2 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2014128055/05, 10.07.2014**(24) Effective date for property rights:
10.07.2014

Priority:

(22) Date of filing: **10.07.2014**(45) Date of publication: **10.02.2016** Bull. № 4

Mail address:

**142432, Moskovskaja obl., g. Chernogolovka, pr-kt
akademika Semenova, 1, IPKhF RAN, Direktoru
IPKhF RAN, akademiku S.M. Aldoshinu**

(72) Inventor(s):

**Dorofeenko Sergej Olegovich (RU),
Zhironov Aleksandr Aleksandrovich (RU),
Polianchik Evgenij Viktorovich (RU),
Salganskij Evgenij Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
uchrezhdenie nauki Institut problem
khimicheskoy fiziki rossijskoj akademii nauk
(IPKhF RAN) (RU)**

(54) **METHOD FOR OBTAINING SYNTHESIS-GAS FROM HYDROGEN-CONTAINING RAW MATERIAL
IN REVERSE FLOW REACTOR AND REACTOR FOR REALISATION THEREOF**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: method for obtaining synthesis-gas and/or hydrogen by incomplete oxidation of fuel, including: methane, propane, butane, liquid hydrocarbons, hydrogen sulphide, solid fuels, including biomass, solid hydrocarbons, coal, as well as mixtures, containing said components, in tubular reverse flow reactor, includes: heating of at least part of tubular reactor chamber, filled with solid porous material, to high temperature; supply of two reagents - fuel and oxygen-containing gas in quantity, insufficient for complete fuel oxidation, into tubular reactor; carrying out reaction of fuel and oxygen-containing gas in layer of solid porous material; creation in tubular reactor of gas flow from one end of reactor to the other end by supply of gaseous reagent from one end of reactor and

output of gaseous reaction products in form of synthesis-gas from the opposite end; measurement of temperature in reactor; periodic change of gas flow direction in reactor; with reagents being supplied into reactor separately: one of reagents, gaseous reagent -A-, is supplied from one end of reactor, and second reagent -B- is supplied into middle part of reactor, mixing reagent B with gaseous reagent A, heated due to heat-exchange with solid porous material, is carried out in middle part of reactor. Also claimed is reactor, making it possible to realise conversion process.

EFFECT: invention makes it possible to provide high energy efficiency of conversion of hydrogen-containing raw material into synthesis-gas or hydrogen.

12 cl, 2 dwg

Изобретение относится к области получения водорода или синтез-газа при переработке различных топлив посредством парциального окисления; конкретно - к области переработки топлив в заполненном твердым пористым теплоносителем реакторе с обращаемым газовым потоком.

Получение водорода и синтез-газа требует больших энергетических затрат и производится преимущественно путем реформинга легких углеводородов или при парокислородной газификации угля. Известно достаточно большое число способов получения синтез-газа при парциальном окислении углеводородов, прежде всего природного газа. В частности, известны способы конверсии горючих газов в синтез-газ в реакторах с пористым наполнителем в режиме рекуперации тепла в зону горения с обращаемым потоком газа. Такой процесс описан в статьях [Dobrego K.V., Gnezdilov N.N., Lee S.H., Choi H.K. Methane partial oxidation reverse flow reactor scale up and optimization// Int. J. Of Hydrogen Energy, 2008. vol. 33. PP. 5535-5544; Dhamrat R.S., Ellzey J.L. Numerical and experimental study of the conversion of methane to hydrogen in a porous media reactor // Combustion and Flame, 2006, vol. 144, PP. 698-709; J.P. Bingue, A.V. Saveliev, A.A. Fridman, L.A. Kennedy, Hydrogen production in ultra-rich filtration combustion of methane and hydrogen sulphide, Int. Journal of Hydrogen Energy, 2002, vol. 27, PP. 643-649].

Описанный в вышеуказанных статьях процесс протекает следующим образом. Смесь водородсодержащего газа (природного газа, иных углеводородных газов, сероводорода) с кислородом и, возможно, химически инертными газами (например, азотом воздуха) подается в реактор, заполненный твердым пористым теплоносителем. Состав газовой смеси выбирается таким образом, чтобы количество кислорода было недостаточным для полного окисления горючего газа. В реакторе предварительно формируется слой нагретого пористого материала. Реакция горючего газа с кислородом, протекающая при недостатке последнего при высокой температуре, приводит к образованию в случае углеводородных газов - синтез-газа, содержащего водород и окись углерода, в случае сероводорода - водорода и элементной серы. Целью проведения процесса является получение водорода или синтез-газа с максимально возможным выходом, т.е. при минимально возможном потреблении кислорода.

Процесс конверсии горючих газов в синтез-газ и водород при неполном окислении в реакторе с пористым наполнителем и обращаемым потоком, наиболее близкий к заявляемому, описан в патенте US 8323363 (J.P. Bingue et al., 04.12.2012, МПК [2012.01] B01J 7/00, B01J 10/00, C01B 3/36, C01B 6/24). Предлагается проводить окислительную конверсию углеводородных газов или сероводорода в трубчатом реакторе с периодически обращаемым потоком. Камера реактора заполнена пористой матрицей - твердым пористым инертным материалом. Для уменьшения теплопотерь внутренняя стенка реактора покрыта теплоизолирующим слоем. Смесь углеводородных газов или сероводорода с кислородсодержащим газом подается с одного конца реактора. Зона реакции, в которой происходит неполное окисление водородсодержащих газов, распространяется в слое твердого пористого материала. Реактор включает систему трубопроводов и запорной арматуры, позволяющей переключать направление газового потока в реакторе и производить попеременную подачу реакционной смеси с одного конца и производить отбор продуктов со второго, а после переключения потока производить подачу реакционной смеси со второго конца и производить отбор продуктов из первого. Переключение потока осуществляется с помощью кранов, согласованно перекрывающих и открывающих соответствующие трубопроводы. Процесс конверсии включает предварительный прогрев камеры реактора, заполненной твердой пористой матрицей, подачу реакционной смеси сквозь нагретую матрицу, где

реакционная смесь реагирует при высокой температуре, формируя зону реакции.

Направление подачи реакционной смеси по прошествии предписанного промежутка времени меняют на противоположное. Такое обращение потока позволяет удерживать зону реакции внутри реактора и позволяет повысить энергетическую эффективность процесса. Когда зона реакции перемещается в реакторе в направлении газового потока, газовая смесь сперва прогревается за счет тепла, запасенного пористой матрицей, и это обеспечивает протекание реакции при более высокой температуре при меньшем тепловом эффекте. Это позволяет проводить конверсию сверхбогатых смесей, количество кислорода в которых существенно ниже, чем необходимо для полного окисления.

Однако описанный выше способ не свободен от недостатков и ограничений. Как показано в статье [Kostenko S.S., Ivanova A.N., Karnaukh A.A., Polianczyk E.V. Simulation of the methane conversion by partial oxidation in a porous medium reactor. // Chemical Engineering J., vol. 238C (2014) PP. 100-110], автоволновой режим окислительно-паровой конверсии предварительно перемешанной смеси углеводородных газов с кислородом (который реализуется в каждом полупериоде описанного в US 8323363 процесса) не обеспечивает температуры, достаточно высокой, для активного вовлечения водяного пара в реакцию с метаном. Таким образом, известный уровень техники не позволяет вовлечь в реакцию водяной пар, что, будь он реализован, позволило бы повысить выход водорода. Кроме того, использование предварительно перемешанных смесей горючих газов с кислородом делает производство по описанному в US 8323363 процессу потенциально взрывоопасным. Еще одно ограничение процесса то, что он не позволяет проводить конверсию жидких или твердых топлив, которые невозможно предварительно перемешать с газом-окислителем и подать в реактор в виде смеси.

Из вышесказанного следует техническая задача, решаемая настоящим изобретением, - получение при переработке (парциальном окислении) горючего сырья, прежде всего углеводородного, синтез-газа или водорода с более высокой энергетической эффективностью, т.е. при наименьшей возможной доле сырья, окисляемой кислородом в процессе, в том числе за счет вовлечения в реакцию водяного пара. Вторая задача, решаемая настоящим изобретением, - повышение пожаро-, взрывобезопасности процесса. Кроме того, настоящее изобретение позволяет расширить перечень сырья, которое может быть использовано для высокоэффективного получения синтез-газа и водорода.

Поставленная задача решается в предлагаемом способе получения синтез-газа и/или водорода из горючего сырья, в том числе: метана, пропана, бутана, жидких углеводородов, сероводорода, твердых топлив, в том числе биомассы, твердых углеводородов, угля, а также смесей, содержащих вышеперечисленные компоненты, в трубчатом реакторе с обращаемым потоком. Предлагаемый способ включает предварительный разогрев, по крайней мере части, камеры трубчатого реактора, заполненной твердым пористым материалом, до высокой температуры с использованием внешнего источника энергии, например газовой горелки или электрического нагревателя. Далее в трубчатый реактор подают два реагента: один из реагентов - горючее, и второй - кислородсодержащий газ, причем расход реагентов регулируют таким образом, что кислородсодержащий газ подают в количестве, не достаточном для полного окисления горючего. Проводят реакцию горючего и кислородсодержащего газа в слое твердого пористого материала, заполняющего камеру реактора. При этом обеспечивают установление в трубчатом реакторе газового потока от одного конца реактора до другого конца посредством подачи газообразного реагента с одного конца реактора и вывода газообразных продуктов реакции в виде синтез-газа с противоположного

конца. Температуру в реакторе непрерывно измеряют и по мере повышения температуры синтез-газа на выходе из реактора выше предписанного предела производят переключение направления газового потока в реакторе на противоположное, для чего начинают подавать газообразный реагент в тот конец реактора, который до этого служил для отбора синтез-газа, а отбор синтез-газа, напротив, начинают производить с того конца реактора, который до этого служил для подачи газообразного реагента. Далее процесс продолжают, периодически изменяя направление газового потока в реакторе.

Новизна предлагаемого метода заключается в том, что реагенты подают в реактор раздельно: один из реагентов, газообразный реагент -А-, подают с одного конца реактора, а второй реагент -В- подают в среднюю часть реактора и проводят смешение реагентов в средней части реактора.

Технический результат при осуществлении предлагаемого способа заключается в получении следующих преимуществ по сравнению с известным техническим уровнем. Основным достигаемым результатом является высокая энергетическая эффективность процесса, поскольку тепло, отобранное твердым теплоносителем у синтез-газа, возвращается в процесс с газообразным реагентом А, подаваемым в реактор. Раздельная подача реагентов позволяет провести предварительный разогрев газообразного реагента А, который подают сквозь слой разогретого в предшествующем полуцикле процесса твердого пористого материала, до высокой температуры, при которой в предварительно перемешанной смеси реакция уже интенсивно протекала бы. Таким образом можно достичь более высоких температур в зоне реакции, что обеспечивает более высокий выход целевых продуктов, в частности при конверсии углеводородов - за счет вовлечения в реакцию водяного пара. Дополнительным результатом является отсутствие в системе потенциально взрывоопасной реакционной смеси, что повышает общую пожаро-, взрывобезопасность производства.

Описанный выше процесс допускает в его общих рамках усовершенствование, заключающееся в том, что непосредственно перед изменением направления газового потока в реакторе на сравнительно короткое время прекращают подачу реагента А и вместо реагента А подают синтез-газ, отбирая его из коллектора продуктов. Синтез-газ подают в количестве по объему не менее половины внутреннего объема реактора, чтобы провести полное вытеснение реагента А из половины реактора. Подача синтез-газа позволяет вытеснить реагент А из того конца реактора, куда он подавался, и тем самым предотвращает попадание реагента А в синтез-газ при переключении потока.

Дальнейшее улучшение при переработке углеводородов может быть достигнуто, если в состав реагента А добавляют водяной пар. При этом водяной пар при высокой температуре в зоне горения вступает в реакции с углеводородом и окисью углерода с образованием дополнительного количества водорода в синтез-газе. Добавление пара именно в реагент А позволяет подогреть пар до высокой температуры без затрат энергии - за счет тепла, запасенного твердым пористым материалом.

Добавление водяного пара в состав реагента А может быть достигнуто также и при подаче в тот же конец реактора, куда подают реагент А, воды в жидкой фазе. В этом случае парообразование происходит за счет тепла, запасенного твердым пористым материалом в предыдущем цикле, и это повышает общую энергетическую эффективность процесса.

В одной возможной реализации процесса в качестве реагента А в конец реактора подают метан, пропан, бутан, природный газ, попутный нефтяной газ, сероводород или смесь вышеперечисленных газов между собой и, возможно, с иными газами, в т.ч.

углекислым газом и/или водяным паром, а в качестве реагента В в среднюю часть реактора подают кислородсодержащий газ - воздух, кислород или обогащенный кислородом воздух. Такая организация процесса предпочтительна, когда горючий газ содержит существенную долю инертных составляющих; тогда тепло, отбираемое у
5 твердого пористого материала и затрачиваемое на нагревание инертных составляющих до температуры реакции, рекупируется при фильтрации синтез-газа, нагревающего твердый пористый материал в противоположном конце реактора.

Альтернативно, в качестве реагента А в конец реактора подают воздух или обогащенный кислородом воздух, возможно в смеси с углекислым газом и/или водяным
10 паром, а в качестве реагента В в среднюю часть реактора подают метан, пропан, бутан, природный газ, попутный нефтяной газ, жидкие углеводороды или смесь вышеперечисленных компонентов. Такая организация процесса предпочтительна, когда в качестве окислителя используют воздух, содержащий большое количество химически инертного азота, на нагревание которого до температуры реакции затрачивается
15 энергия. Кроме того, такая схема реализации процесса дает возможность провести конверсию в синтез-газ жидкостей, которые не могут быть поданы в виде смеси с газом-окислителем, например глицерин или тяжелые углеводороды.

При подаче в качестве реагента А в конец реактора воздуха или обогащенного кислородом воздуха, возможно в смеси с углекислым газом и/или водяным паром,
20 появляется возможность конвертировать в синтез-газ также и твердое органическое топливо. Для этого твердое органическое топливо (твердые углеводороды, в т.ч. пластики, биомассу, бурый или каменный уголь, различные смеси этих компонентов, возможно совместно с углеводородными газами или жидкими углеводородами) подают в среднюю часть реактора в мелкодисперсном виде в качестве реагента В. Твердое
25 топливо, попадая в газовый поток в средней части реактора, смешивается с нагретым до высокой температуры газом-окислителем А и реагирует с образованием синтез-газа.

Для реализации описанного выше процесса получения синтез-газа и/или водорода можно использовать разного рода устройства реакторов известной конструкции с внесением определенных конструктивных изменений. Для реализации процесса
30 предлагается реактор, включающий трубчатый газоплотный корпус и камеру реактора, включающую первый и второй конец, причем камера реактора в преобладающей части своего объема заполнена твердым пористым материалом; реактор снабжен системой газопроводов, присоединенных к первому и второму концу камеры реактора, и запорной арматурой, например газовыми кранами, позволяющей подавать газ в первый конец
35 и одновременно производить отбор газа из второго конца, либо подавать газ во второй конец и одновременно производить отбор газа из первого. Новизна предлагаемого реактора заключается в том, что реактор дополнительно включает присоединенный к средней части камеры реактора трубопровод, позволяющий подавать в камеру реактора газ и/или жидкость и/или мелкодисперсный твердый материал.

В одной из возможных реализаций, для проведения описанного выше процесса, сопровождающегося продувкой синтез-газом половины реактора, куда подавался газообразный реагент А, перед переключением направления газового потока в реакторе, можно использовать описанный выше реактор, который дополнительно снабжен
40 системой газопроводов, соединяющей первый и второй концы камеры реактора и средства принудительной подачи газа, например вентилятор, позволяющие подавать синтез-газ, отбираемый из второго конца реактора в первый конец, или синтез-газ, отбираемый из первого конца реактора во второй конец.

Описанный выше вариант процесса, позволяющий проводить для получения синтез-

газа и/или водорода конверсию мелкодисперсного твердого топлива, можно реализовать, используя описанный выше реактор, который дополнительно снабжен системой подачи твердого мелкодисперсного материала известной конструкции, включающей шнек и, дополнительно, шлюзовое устройство, которое позволяет
 5 производить загрузку твердого топлива, сохраняя герметичность реактора, например роторный затвор. Альтернативно подача мелкодисперсного твердого материала может быть реализована в реакторе, который дополнительно снабжен системой пневмоподачи твердого мелкодисперсного материала, включающей магистраль подачи сжатого газа, и шлюзовое устройство, например роторный затвор.

10 В случае проведения процесса, сопровождающегося подачей воды в жидкой фазе, камеру реактора предпочтительно выполняют U-образной, причем первый и второй концы камеры реактора выполняют расположенными сверху, а среднюю часть реактора, снабженную вводом газа и/или жидкости, - снизу. При этом каждый конец камеры реактора дополнительно снабжают трубопроводом для подачи воды. Подобная
 15 геометрия реактора позволяет обеспечить условия, когда подаваемая в жидкой фазе вода стекает по пористой матрице под действием силы тяжести и действием потока газа и, испаряясь на нагретых слоях твердого пористого материала, переходит в пар.

На Фиг. 1 представлена принципиальная схема возможной реализации процесса и показаны основные элементы соответствующего устройства.

20 Фиг. 2 иллюстрирует возможную реализацию процесса получения синтез-газа при конверсии мелкодисперсного твердого топлива и соответствующее устройство.

Данные ниже примеры возможной реализации процесса, проиллюстрированные Фиг. 1-2, подтверждают, но не исчерпывают предлагаемый способ конверсии водородсодержащего топлива с получением синтез-газа. Фиг. 1-2 иллюстрируют, но
 25 не ограничивают возможные реализации процесса и реактора, и схематически представляют предпочтительные конструктивные варианты предлагаемых устройств.

Пример 1.

На Фиг. 1 представлена принципиальная схема возможной реализации процесса в реакторе соответствующей конструкции.

30 Процесс протекает следующим образом.

Конверсия газообразного топлива (далее в настоящем примере рассматривается твердым пористым конверсия углеводородного газа, например попутного нефтяного газа) проводится в реакторе, включающем трубчатый газоплотный корпус 1. Основная часть объема реактора заполнена материалом 2. В качестве твердого пористого
 35 материала может быть использована, например, засыпка гранулированного огнеупора. Углеводородный газ А в смеси с водяным паром подают в камеру реактора попеременно, в течение половины рабочего цикла - в первый конец реактора 3, в течение второй половины цикла - во второй конец реактора 4. Для организации смены направления углеводородного газа А, подаваемого по газопроводу 5, производят соответствующее переключение запорной арматуры. На Фиг. 1 схематически
 40 представлены трехходовые клапаны 6 и 7, обеспечивающие такое переключение. Фиг. 1а представляет организацию газового потока в первой половине рабочего цикла, Фиг. 1б - во второй половине. Углеводородный газ А нагревается при фильтрации через слой твердого пористого материала 2, нагретого в предшествующих циклах работы, и поступает в среднюю часть камеры реактора при высокой температуре. Вторым реагентом, необходимым для окислительной конверсии углеводородного газа - кислородсодержащий газ В (воздух и/или кислород), подают по газопроводу 8 в среднюю часть камеры реактора в количестве, не достаточном для полного окисления

углеводородного газа А. В средней части реактора, в области, непосредственно прилегающей к вводу кислородсодержащего газа В, организовано не заполненное твердым пористым материалом пространство. В этом пространстве происходит реакция углеводородного газа А с кислородсодержащим газом В, в результате реакции
 5 образуется синтез-газ G. Синтез-газ G, образовавшийся в средней части камеры реактора, далее фильтруется через слой твердого пористого материала 2, нагревая последний, а сам при этом остывает и выходит из камеры реактора по газоходу 9 при относительно низкой температуре. В ходе работы реактора непрерывно контролируют температуру в камере реактора и температуру синтез-газа G на выходе из камеры реактора. Когда
 10 температура превышает предписанное значение (Это означает, что прогрелся до высокой температуры весь слой твердого пористого материала 2 от средней части камеры до конца камеры, из которого выводится синтез-газ G (конец 4 на Фиг. 1а, конец 3 на Фиг. 1б)), производят переключение трехходовых клапанов 6 и 7 таким образом, что направление газового потока в камере реактора меняется на
 15 противоположное. Далее повторяется вторая половина рабочего цикла - углеводородный газ А нагревается при фильтрации в слое твердого пористого материала 2, нагретого в предыдущем полуцикле, и реагирует с кислородсодержащим газом при высокой температуре. Возможность достижения высокой температуры при малом тепловом эффекте реакции обеспечивает высокий выход целевых продуктов - водорода
 20 и окиси углерода в синтез-газе G.

Пример 2.

Фиг. 2 представляет реализацию процесса при проведении конверсии в синтез-газ мелкодисперсного твердого топлива и конструкцию, позволяющую реализовать процесс. Процесс протекает следующим образом. Конверсия твердого водородсодержащего
 25 топлива (далее в настоящем примере рассматривается конверсия мелкодисперсного каменного угля) проводится в реакторе, включающем U-образный трубчатый газоплотный корпус 1. Основная часть объема реактора заполнена твердым пористым материалом 2. В качестве твердого пористого материала может быть использована, например, засыпка гранулированного огнеупора. Кислородсодержащий газ А - воздух
 30 в смеси с водяным паром подают в камеру реактора попеременно, в течение половины рабочего цикла - в первый конец реактора 3, в течение второй половины цикла - во второй конец реактора 4. Для смены направления потока газа А, подаваемого по газоходу 5, производят соответствующее переключение запорной арматуры. На Фиг. 2 схематически представлены трехходовые клапаны 6 и 7, обеспечивающие такое
 35 переключение. Фиг. 2 представляет организацию газового потока в одной половине рабочего цикла, когда подача газа А осуществляется в конец реактора 3. Газ А нагревается при фильтрации через слой твердого пористого материала 2, нагретого в предшествующих циклах работы, и поступает в среднюю часть камеры реактора при высокой температуре. Вторым реагентом, необходимым для окислительной конверсии с
 40 получением синтез-газа - каменный уголь В (в виде мелкодисперсного порошка) подают через роторный затвор 10, обеспечивающий герметичность камеры реактора при загрузке, с помощью шнека 11 через ввод 8 в среднюю часть камеры реактора. Уголь подают в количестве, для полного окисления которого газа А недостаточно. В средней части камеры реактора засыпаемый уголь смешивается с потоком разогретого
 45 кислородсодержащего газа А и реагирует с кислородсодержащим газом при высокой температуре. В результате реакции образуется синтез-газ G, содержащий окись углерода и водород. Синтез-газ G, образовавшийся в средней части камеры реактора, далее фильтруется через слой твердого пористого материала 2, нагревая последний, а сам

при этом остывает и выходит через конец реактора 4 по газоходу 9 при относительно низкой температуре. В ходе работы реактора непрерывно контролируют температуру в камере реактора и температуру синтез-газа G на выходе из камеры реактора; когда последняя превышает предписанное значение (Это означает, что прогрелся до высокой температуры весь слой твердого пористого материала 2 от средней части камеры до конца камеры, из которого выводится синтез-газ G (конец 4 на Фиг. 2)), производят переключение трехходовых клапанов 6 и 7 таким образом, что направление газового потока в камере реактора меняется на противоположное и повторяется вторая половина рабочего цикла, в которой кислородсодержащий газ A нагревается при фильтрации в слое твердого пористого материала 2, нагретого в предыдущем полуцикле, и уголь реагирует с кислородсодержащим газом при высокой температуре, что обеспечивает высокий выход целевых продуктов - водорода и окиси углерода в синтез-газе G. Частицы золы, неизбежно присутствующие в составе угля, при U-образной форме реактора, представленной на Фиг. 2, увлекаются газовым потоком синтез-газа G, который в каждом полуцикле направлен в основном вертикально вниз, и могут быть затем отделены от синтез-газа известными способами, например в циклоне.

Таким образом, настоящее изобретение предлагает новое решение актуальной технической задачи - повышение энергетической эффективности процесса получения синтез-газа из различных топлив.

Формула изобретения

1. Способ получения синтез-газа и/или водорода посредством неполного окисления горючего, в том числе: метана, пропана, бутана, жидких углеводородов, сероводорода, твердых топлив, в том числе биомассы, твердых углеводородов, угля, а также смесей, содержащих вышеперечисленные компоненты, в трубчатом реакторе с обращаемым потоком, включающий:

разогрев до высокой температуры по крайней мере части камеры трубчатого реактора, заполненной твердым пористым материалом;

подачу в трубчатый реактор двух реагентов - горючего и кислородсодержащего газа в не достаточном для полного окисления горючего количестве;

проведение реакции горючего и кислородсодержащего газа в слое твердого пористого материала;

установление в трубчатом реакторе газового потока от одного конца реактора до другого конца посредством подачи газообразного реагента с одного конца реактора и вывода газообразных продуктов реакции в виде синтез-газа с противоположного конца;

измерение температуры в реакторе;

периодическое изменение направления газового потока в реакторе;

отличающийся тем, что реагенты подают в реактор отдельно: один из реагентов, газообразный реагент -А-, подают с одного конца реактора, а второй реагент -В- подают в среднюю часть реактора и проводят в средней части реактора смешение реагента В с газообразным реагентом А, подогретым за счет теплообмена с твердым пористым материалом.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что перед изменением направления газового потока в реакторе прекращают подачу реагента А и подают вместо реагента А синтез-газ в количестве по объему не менее половины внутреннего объема реактора.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в состав реагента А добавляют водяной пар.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что совместно с реагентом А в тот же конец реактора подают воду в жидкой фазе.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве реагента А в конец реактора подают метан, пропан, бутан, природный газ, попутный нефтяной газ, сероводород или смесь вышеперечисленных газов между собой и, возможно, с иными газами, в т.ч. углекислым газом и/или водяным паром, а в качестве реагента В в среднюю часть реактора подают кислородсодержащий газ - воздух, кислород или обогащенный кислородом воздух.

10. 6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве реагента А в конец реактора подают воздух или обогащенный кислородом воздух, возможно в смеси с углекислым газом и/или водяным паром, а в качестве реагента В в среднюю часть реактора подают метан, пропан, бутан, природный газ, попутный нефтяной газ, жидкие углеводороды или смесь вышеперечисленных компонентов.

15. 7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве реагента А в конец реактора подают воздух или обогащенный кислородом воздух, возможно в смеси с углекислым газом и/или водяным паром, а в качестве реагента В в среднюю часть реактора подают в мелкодисперсном виде твердое органическое топливо, в том числе: твердые углеводороды, биомассу, бурый или каменный уголь или смесь вышеперечисленных компонентов, возможно, совместно с углеводородными газами или жидкими
20. углеводородами.

8. Реактор для осуществления описанного в п. 1 способа получения синтез-газа и/или водорода, включающий трубчатый газоплотный корпус и камеру реактора, включающую первый и второй конец, причем камера реактора в преобладающей части своего объема заполнена твердым пористым материалом; реактор снабжен системой
25. газопроводов, присоединенных к первому и второму концу камеры реактора и запорной арматурой, позволяющей подавать газ в первый конец и одновременно производить отбор газа из второго конца, либо подавать газ во второй конец и одновременно производить отбор газа из первого,

отличающийся тем, что реактор включает присоединенный к средней части камеры реактора трубопровод, позволяющий подавать в камеру реактора газ и/или жидкость
30. и/или мелкодисперсный твердый материал.

9. Реактор по п. 8 для осуществления способа получения синтез-газа и/или водорода, описанного в п. 2, отличающийся тем, что реактор дополнительно снабжен системой газопроводов, соединяющей первый и второй концы камеры реактора и средства
35. принудительной подачи газа, позволяющие подавать газ, отбираемый из второго конца реактора в первый конец или отбираемый из первого конца реактора во второй конец.

10. Реактор по п. 8 для осуществления способа получения синтез-газа и/или водорода, описанного в п. 7, отличающийся тем, что реактор дополнительно снабжен системой подачи твердого мелкодисперсного материала, включающей шнек и шлюзовое
40. устройство.

11. Реактор по п. 8 для осуществления способа получения синтез-газа и/или водорода, описанного в п. 7, отличающийся тем, что реактор дополнительно снабжен системой пневмоподдачи твердого мелкодисперсного материала, включающей магистраль подачи сжатого газа и шлюзовое устройство.

45. 12. Реактор по п. 8 для осуществления способа, описанного в п. 4, отличающийся тем, что камера реактора выполнена U-образной, причем первый и второй концы камеры реактора расположены сверху, и при этом каждый конец камеры реактора снабжен трубопроводом для подачи воды, а средняя часть реактора, снабженная вводом

газа и/или жидкости, - снизу.

5

10

15

20

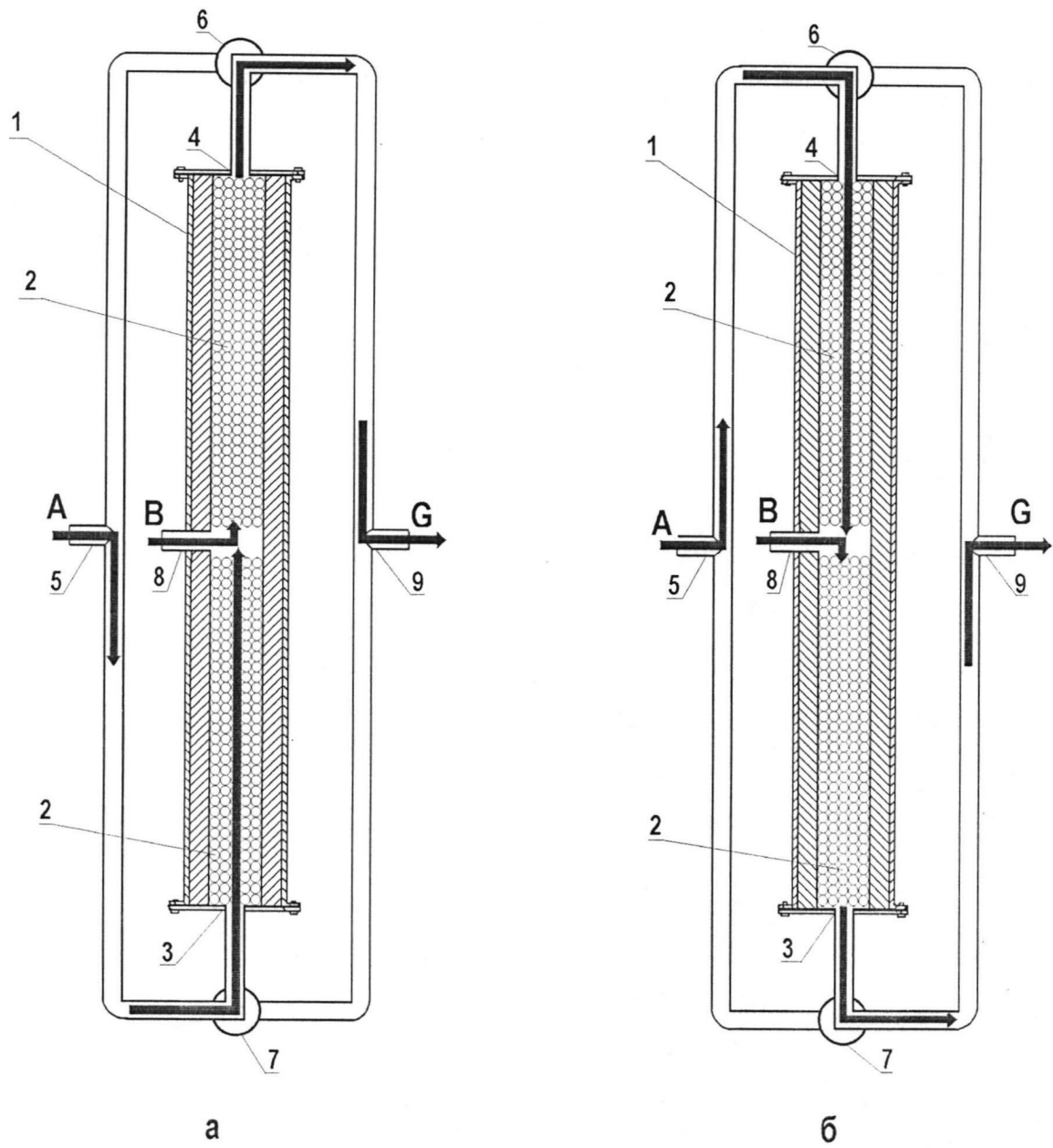
25

30

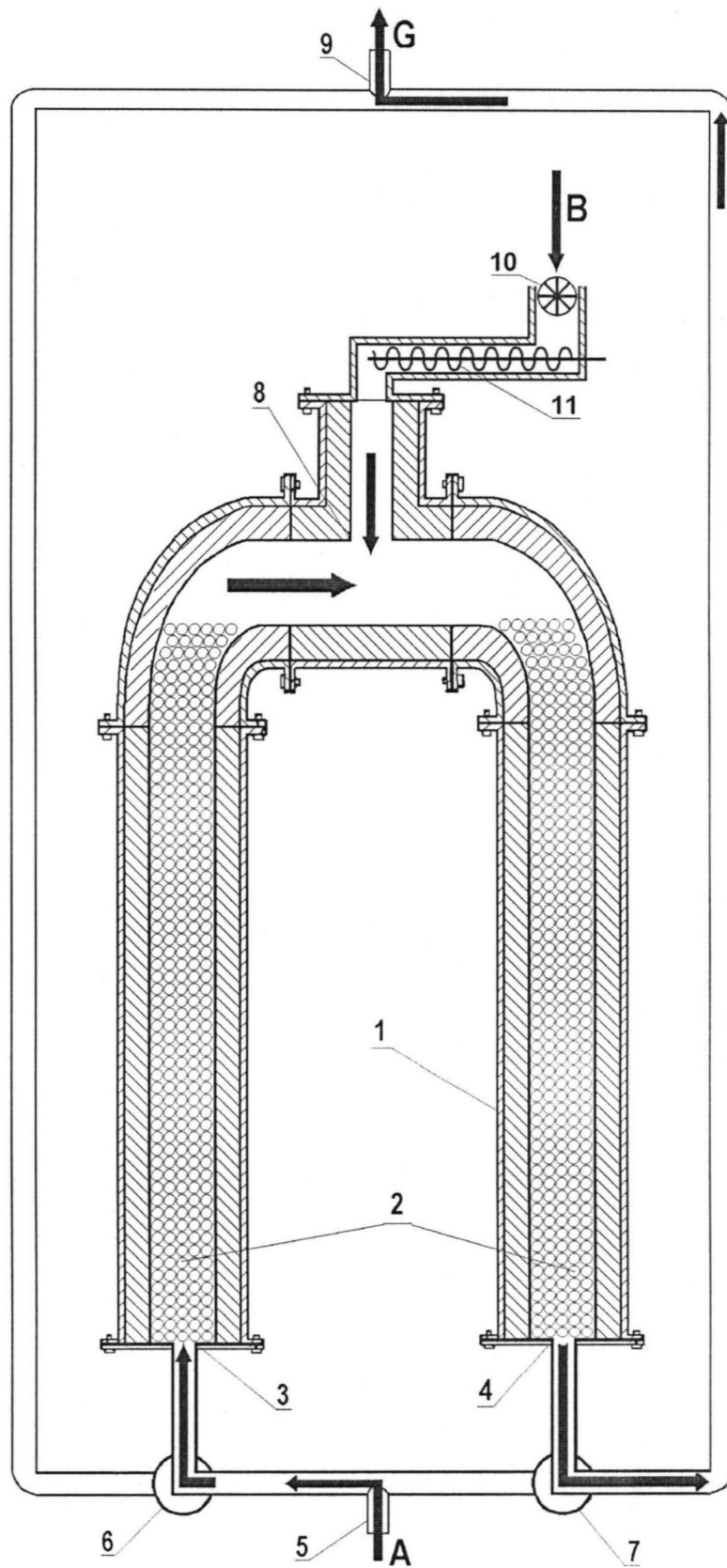
35

40

45



ФИГ.1



ФИГ. 2