

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202491362** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2024.09.11

(51) Int. Cl. **C01B 3/38** (2006.01)
C01B 3/56 (2006.01)

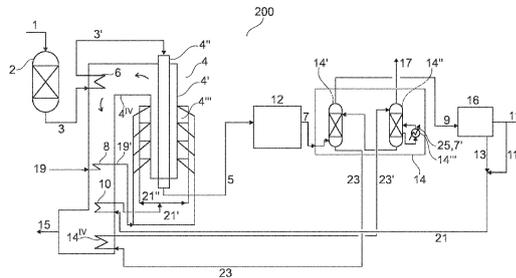
(22) Дата подачи заявки
2022.11.22

(54) **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБА И УСТАНОВКИ
ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА**

(31) **РА 2021 01126**
(32) **2021.11.26**
(33) **DK**
(86) **РСТ/EP2022/082733**
(87) **WO 2023/094357 2023.06.01**
(71) Заявитель:
ТОПСЕЭ А/С (DK)

(72) Изобретатель:
**Кристенсен Стеффен Спангсберг,
Викс Кристиан (DK)**
(74) Представитель:
Квашнин В.П. (RU)

(57) Установка и способ для получения водорода, содержащие: узел первичного риформинга, выполненный с возможностью приема углеводородного сырья, такого как природный газ, и содержащий: секцию сжигания, содержащую катализатор подходящим образом для парового риформинга метана, и одну или несколько горелок для обеспечения тепла для указанного парового риформинга метана, с образованием таким образом потока синтез-газа и потока отходящего газа, и секцию конвекции, содержащую теплообменники с получением таким образом охлажденного потока отходящего газа; где указанная одна или несколько горелок выполнены с возможностью получения предварительно нагретого потока воздуха для сжигания и предварительно нагретого потока топливного газа, полученного из расположенного ниже по ходу потока узла очистки водорода, который выполнен с возможностью получения по меньшей мере части указанного потока синтез-газа, с образованием таким образом потока, обогащенного водородом, и потока отработавшего газа; и где поток топливного газа представляет собой часть указанного потока, обогащенного водородом, т.е. первого потока топливного газа, или потока газа, т.е. второго потока топливного газа, в результате объединения по меньшей мере части указанного потока отработавшего газа и части указанного потока, обогащенного водородом. Настоящее изобретение относится также к способу модернизации существующей установки для получения водорода.



A1

202491362

202491362

A1

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБА И УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

ОПИСАНИЕ

Область техники настоящего изобретения

Настоящее изобретение относится к установке и способу получения водорода, а также к способу модернизации существующей установки для получения водорода. В установке и способе используется установка первичного риформинга, такая как установка парового риформинга метана (SMR), которая включает секцию сжигания с расположенными в ней трубками, заполненными катализатором, и горелки для обеспечения тепла для парового риформинга метана, тем самым генерируя топливный газ и синтез-газ. Установка первичного риформинга включает также секцию конвекции для охлаждения топливного газа посредством первого набора теплообменников. Синтез-газ преобразуют в водород путем подачи синтез-газа в установку очистки водорода, такую как установка короткоциклового адсорбции (установка PSA), для получения обогащенного водородом газа и отходящего газа. Первый топливный газ, представляющий собой часть обогащенного водородом газа, или второй топливный газ, представляющий собой смесь первого топливного газа и отходящего газа, используется в качестве топлива для горелок установки первичного риформинга. Топливный газ не содержит серы, что позволяет охлаждать топливный газ после первичного риформинга до более низких температур без риска конденсации серной кислоты и связанных с этим проблем с коррозией, тем самым также позволяя извлекать больше тепла, которое можно использовать для предварительного нагрева потоков установки или процесса. Использование импортного топлива для горелок, такого как природный газ, также значительно сокращается или исключается, тем самым повышая энергоэффективность установки.

Настоящее изобретение относится также к способу модификации установки для получения водорода.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

На обычных установках для производства водорода газ углеводородного сырья, обычно природный газ, десульфурируется и преобразуется в синтез-газ, т.е. газ, содержащий оксиды углерода (CO, CO₂) и водород, посредством предварительного риформинга и последующего парового риформинга метана. Полученный синтез-газ затем

обогащается водородом за счет конверсии водяного газа по экзотермической реакции $\text{CO} + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ с последующим этапом удаления диоксида углерода в секции удаления CO_2 , такой как установка аминной промывки, и

синтез-газ окончательно очищается до обогащенного водородом потока в установке очистки водорода, такой как установка короткоциклового адсорбции (установка PSA). Установка PSA также генерирует поток отработавших газов PSA, который содержит метан, водород, а также оксиды углерода. В традиционной установке парового риформинга метана (SMR, также известной как трубчатая установка риформинга) паровая конверсия метана по эндотермической реакции $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3\text{H}_2$ проводится при 700-1000°C во множестве заполненных катализатором труб, предусмотренных в секции сгорания SMR, и необходимое тепло обеспечивается несколькими расположенными в них горелками. Топливо для горелок обычно обеспечивается за счет импорта природного газа. Топливный газ при сжигании образуется при высоких температурах, например, около 1000°C, и обычно используется для предварительного нагрева углеводородного сырья, например, природного газа или предварительно риформированного природного газа, а также для предварительного нагрева воздуха для горения, используемого в горелках.

Кроме того, обычно питательный газ после подачи тепла должен иметь достаточно высокую температуру, чтобы избежать достижения точки росы серной кислоты, которая составляет 138°C или выше, в зависимости от содержания серы, точнее триоксида серы, в дымовом газе. Если температура упадет ниже этого уровня, конденсация серной кислоты в любом оборудовании, контактирующем с этим газом, приведет к крайне нежелательным проблемам коррозии.

В EP 2103569 A2 раскрыт способ получения водорода и/или синтез-газа путем парового риформинга углеводородов наряду с генерацией пара с использованием отработанного тепла процесса парового риформинга углеводородов, в котором этот процесс практически не генерирует выход пара. На фиг. 1 показан остаточный газ из установки короткоциклового адсорбции (PSA), т.е. отходящий газ PSA, объединенный с углеводородным сырьем и водородом, подаваемый в необязательную установку удаления серы, а затем в необязательную установку предварительного риформинга перед введением в установку парового риформинга метана. Этот источник относится к проблеме устранения экспорта пара и ничего не говорит о том, как смягчить проблему конденсации серной кислоты при желании извлечь нефть из дымовых газов установки первичного риформинга, такой как SMR, на установке или в процессе производства водорода. Кроме того, в приведенном источнике в риформинг-установку добавляется дополнительное

топливо, такое как природный газ, и водород из PSA не используется в качестве топлива в риформинг-установке.

EP 3573925 A1 (WO18140686 A1) раскрывает систему и способ смягчения вышеупомянутой проблемы конденсации серной кислоты в любом оборудовании, контактирующем с топливным газом. Система включает установку десульфурации для удаления серы из природного газа, часть которой затем используется в качестве топливного газа, установку предварительного риформинга для конверсии тяжелых углеводородов в другой части десульфурированного природного газа (поток технологического газа) в метан, установку для парового риформинга метана для производства синтез-газа и топливного газа, установку PSA для производства потока продукта водорода и потока отходящих газов PSA, а также воздухоподогреватель для охлаждения питательного газа воздухом для сжигания и отходящим газом PSA до температуры ниже точки росы серной кислоты. Требуется импорт природного газа для использования в качестве топлива, а также необходимость проведения этапа по удалению содержания серы, что приводит к штрафам с точки зрения потребления природного газа и энергоэффективности установки, а также более крупной установки сероочистки, например, поглотитель серы и сопутствующий материал, адсорбирующий серу, что приводит к увеличению капитальных и эксплуатационных затрат.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

Задачей настоящего изобретения является создание альтернативного и превосходного способа, т.е. обеспечивающего более высокую энергоэффективность и меньшие капитальные и эксплуатационные затраты, смягчающего проблемы конденсации серной кислоты при необходимости извлечения шлама из топливных газов установки первичного риформинга, например, SMR на установке или в процессе производства водорода.

Другой задачей настоящего изобретения является создание установки или способа получения водорода, способного улавливать около 90% диоксида углерода, образующегося на установке, и в то же время обеспечивающего высокую степень интеграции установки или способа.

Другой задачей настоящего изобретения является создание простого способа модернизации существующей установки для получения водорода, в которой используется установка первичного риформинга для получения синтез-газа, благодаря чему энергетическая эффективность установки значительно повышается.

Эти и другие задачи решаются настоящим изобретением.

Соответственно, согласно первому аспекту настоящее изобретение относится к установке для получения водорода, содержащей:

- узел первичного риформинга, выполненный с возможностью приема углеводородного сырья, такого как природный газ, и содержащий:

секцию сжигания, содержащую катализатор, подходящий для парового риформинга метана, и одну или несколько горелок для обеспечения тепла для указанного парового риформинга метана, с получением таким образом первого потока синтез-газа и потока отходящего газа, и

секцию конвекции, содержащую первый набор теплообменников с получением таким образом охлажденного потока отходящего газа;

- расположенный ниже по ходу потока узел очистки водорода, выполненный с возможностью приема по меньшей мере части указанного первого потока синтез-газа, с образованием таким образом потока, обогащенного водородом, и потока отработавшего газа, причем указанный расположенный ниже по ходу потока узел очистки водорода оснащен выходом для отвода указанного потока, обогащенного водородом, и выходом для отвода указанного потока отработавшего газа; точку разделения, такую как разделитель потока, выполненную с возможностью разделения части указанного потока, обогащенного водородом, на первый поток топливного газа; точку смешения, такую как узел или смесительный узел, выполненную с возможностью получения и объединения по меньшей мере части указанного потока отработавшего газа с указанным потоком топливного газа, и с получением второго потока топливного газа в результате объединения указанного потока отработавшего газа с указанным первым потоком топливного газа;

где указанная одна или несколько горелок выполнены с возможностью получения предварительно нагретого потока воздуха для сжигания и предварительно нагретого первого потока топливного газа или предварительно нагретого второго потока топливного газа;

Согласно варианту осуществления установка выполнена с возможностью получения только указанного первого потока топливного газа или второго потока топливного газа в качестве топлива в указанную одну или несколько горелок. Соответственно, в установке отсутствуют средства, такие как трубопровод, для подачи отдельного потока топливного газа, такого как поток природного газа или поток десульфурованного природного газа, к упомянутой одной или нескольким горелкам.

Таким образом, теперь можно прекратить или значительно сократить

использование импортированного топлива (природного газа) для горелок и вместо этого использовать водород, производимый на установке, в качестве дополнительного топлива, предпочтительно вместе с отходящим газом из установки очистки водорода. Новый топливный газ, например, второй поток топливного газа, в котором сочетаются отходящие газы и водород (поток, обогащенный водородом), не содержит серы, поэтому теперь можно охладить топливный газ в установке первичного риформинга до более низкой температуры без риска конденсации серной кислоты. Кроме того, за счет сокращения или исключения использования импортированного топлива для горелок, такого как природный газ, достигается повышение энергоэффективности установки и процесса. Отсутствие в установке средств, таких как трубопровод, для подачи отдельного потока топливного газа, такого как поток природного газа или потока обессеренного природного газа, к упомянутой одной или нескольким горелкам, дополнительно позволяет уменьшить требования к трубопроводам и сопутствующим затратам: нет необходимости увеличения затрат на поставку дополнительного природного газа и тем самым стимулирования более высокого потребления энергии. Кроме того, установку сероочистки перед первичным риформингом можно сделать меньше, поскольку природный газ, подаваемый в эту установку, представляет собой только природный газ, используемый в качестве технологического газа в установке первичного риформинга, а не более крупный поток природного газа, который также предусматривает его использование в качестве топливного газа для горелок.

Для целей настоящей заявки термин «содержащий» включает также «содержащий только», то есть «состоящий из».

Термин «первый аспект изобретения» или просто «первый аспект» относится к способу изобретения; термин «второй аспект изобретения» относится к установке для проведения способа, а термин «третий аспект изобретения» относится к способу модернизации установки для производства водорода, т.е. способу модернизации существующей водородной установки.

Термин «настоящее изобретение» или просто «изобретение» можно использовать взаимозаменяемо с термином «настоящая заявка» или просто «заявка».

Термин «подходящим образом» может использоваться взаимозаменяемо с термином «необязательно», т.е. необязательный вариант осуществления.

Термин «катализатор, подходящий для парового риформинга метана» означает «катализатор парового риформинга».

Термины «узел» и «точка» используются как взаимозаменяемые.

Другие определения даны в связи с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения.

Согласно варианту осуществления согласно первому аспекту согласно настоящему изобретению указанный узел первичного риформинга представляет собой паровую установку риформинга метана с горением (SMR), указанная секция сжигания выполнена с возможностью размещения множества трубок, заполненных катализатором, подходящих для парового риформинга метана, с образованием таким образом первого потока синтез-газа и указанного потока отходящего газа; указанная секция конвекции расположена ниже по ходу потока от секции сжигания и выполнена с возможностью получения указанного потока отходящего газа и размещения указанного первого набора теплообменников, подходящим образом множества теплообменников, расположенных последовательно, таких как нагревательные змеевики, расположенные последовательно, с образованием таким образом указанного охлажденного потока отходящего газа; указанный узел первичного риформинга оснащен выходом для отвода указанного первого потока синтез-газа и выходом для отвода указанного охлажденного потока отходящего газа.

Понятно, что термин “секция конвекции, расположенная ниже по ходу потока от секции сжигания” относится к направлению потока топливного газа, образующегося в секции сжигания SMR.

Согласно варианту осуществления согласно первому аспекту согласно настоящему изобретению первый набор теплообменников содержит:

- теплообменник, выполненный с возможностью получения воздуха для сжигания с образованием указанного предварительно нагретого воздуха для сжигания;
- теплообменник, выполненный с возможностью получения по меньшей мере части указанного первого или второго потока топливного газа с образованием указанного предварительно нагретого первого потока топливного газа или указанного предварительно нагретого второго потока топливного газа.

Соответственно, теплообменник выполнен в виде змеевика, расположенного в секции конвекции, через который проходит воздух для сжигания или поток топливного газа, то есть первый или второй поток топливного газа. Дополнительная мощность (тепловая нагрузка), возникающая в результате включения первого или второго потоков топливного газа, позволяет осуществлять предварительный нагрев этих или любых других потоков сырья, например, в установке первичного риформинга.

Подходящим образом, первый набор теплообменников также содержит дополнительные теплообменники, например, котел для производства пара из

питательного газа.

Соответственно, указанный предварительно нагретый воздух для сжигания генерируется в теплообменнике указанного первого набора теплообменников, например, в теплообменнике, расположенном перед самым последним по ходу потока теплообменником.

Согласно варианту осуществления согласно первому аспекту согласно настоящему изобретению установка дополнительно содержит:

- секцию конверсии, выполненную с возможностью приема по меньшей мере части указанного первого потока синтез-газа, с образованием таким образом второго потока синтез-газа;

- секцию удаления CO_2 , причем секция удаления CO_2 подходящим образом представляет собой узел химической абсорбции, где раствор растворителя требует регенерации путем нагревания, подходящим образом узел промывки растворителем, такой как узел аминной промывки, выполненный с возможностью получения указанного второго потока синтез-газа, и содержащую CO_2 -поглотитель при добавлении раствора растворителя, подходящим образом аминного раствора, и узел отгонки CO_2 для регенерации раствора растворителя, например, аминного раствора, с образованием таким образом третьего потока синтез-газа и первого CO_2 -обогащенного потока;

- указанный узел очистки водорода, выполненный с возможностью получения по меньшей мере части указанного первого, второго или третьего потока синтез-газа, с образованием таким образом указанного потока, обогащенного водородом, и указанного потока отработавшего газа.

Тем самым можно обогатить синтез-газ водородом и удалить содержащийся в нем диоксид углерода до того, как смещенный, т.е. третий поток синтез-газа, поступит в установку очистки водорода. Затем поток, обогащенный CO_2 , можно, например, безопасно хранить, тем самым уменьшая углеродный след установки и процесса.

Согласно варианту осуществления согласно первому аспекту согласно настоящему изобретению

указанная секция конвекции содержит второй набор теплообменников, где указанный второй набор теплообменников выполнен с возможностью:

- i) получения части из указанного первого или второго потока топливного газа, с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа, и предварительно нагретого первого потока топливного газа или предварительно нагретого второго потока топливного газа; или

ii) получения раствора растворителя, например, аминного раствора, из: указанного узла промывки растворителем, например, указанного узла аминной промывки, с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа и предварительно нагретого раствора растворителя, например, предварительно нагретого аминного раствора; или

iii) получения кипящей питающей воды (BFW) и/или деминерализованной воды (DMW), которая применяется в указанной установке для получения водорода, с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа, а также пара и/или предварительно нагретой DMW; или

iv) получения углеводородного сырья, с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа, а также предварительно нагретого углеводородное сырье.

Предоставление установки, включающей новый поток топливного газа, например, второй топливный газ, объединяющий отходящий газ и водород, т.е. обогащенный водородом поток из установки очистки водорода, позволяет добавить дополнительный теплообменник, предпочтительно змеевик предварительного нагрева, в секции конвекции установки первичного риформинга для извлечения большей мощности, тем самым повышая эффективность установки. Этот режим может использоваться, среди прочего, для предварительного нагрева потока топливного газа, предварительного нагрева раствора растворителя, например, аминного раствора из установки аминной промывки, предварительного нагрева DMW/BFW или предварительного нагрева потока углеводородного сырья.

Следует понимать, что термин «DMW/BFW» означает деминерализованную воду и/или кипящую питающую воду.

Также следует понимать, что для целей настоящей заявки термин «и/или» означает один из вариантов или комбинацию вариантов. Например, DMW и/или BFW означают DMW, BFW или их комбинацию.

Мощность можно использовать в ребойлере CO₂ секции удаления CO₂, расположенного ниже по ходу потока от указанной секции конвекции узла первичного риформинга в качестве топливного газа секции удаления CO₂. Уловленный таким образом CO₂ из топливного газа может затем безопасно храниться. Эту секцию удаления также называют «установкой удаления после улавливания углерода».

Узел отгонки CO₂ секции удаления CO₂ либо, когда последняя предназначена для улавливания CO₂ в технологическом газе, точнее, синтез-газа после установки первичного

риформинга, либо, когда она предназначена для улавливания CO_2 в топливном газе из указанной установки первичного риформинга (после узла удаления захваченного углерода), обычно снабжен ребойлером и теплообменником подачи/выхода для предварительного нагрева раствора растворителя, например, аминного раствора. Дополнительная мощность, обеспечиваемая изобретением, может быть дополнительно использована путем установки змеевика предварительного нагревателя, например, змеевика предварительного нагревателя амина, после указанного теплообменника подачи/выходящего потока или в качестве дополнительного ребойлера в узле отгонки CO_2 . Следовательно, настоящее изобретение позволяет, среди прочего, осуществлять предварительный нагрев, например, аминного раствора в секции удаления CO_2 установки, и обеспечивать работу, например, после улавливания углерода узла удаления. Это дополнительно позволяет сократить потери энергии и, таким образом, приводит к повышению энергоэффективности установки.

Согласно конкретному варианту осуществления указанный второй набор теплообменников содержит один или несколько теплообменников, подходящим образом один теплообменник, расположенный после указанного первого набора теплообменников. Теплообменник подходящим образом выполнен в виде змеевика, как и в случае первого набора теплообменников.

Следовательно, в секции конвекции, также называемой секцией топливных газов, установки первичного риформинга предусмотрен второй набор теплообменников для извлечения большей мощности, что позволяет, наряду с прекращением использования природного газа в качестве внешнего источника топлива, более высокую энергоэффективность установки и процесса. Преимущественно используется низкая температура охлажденного топливного газа, например, $110\text{-}120^\circ\text{C}$.

Например, в связи с i) часть первого или второго потока топливного газа вместо предварительного нагрева в теплообменнике первого набора теплообменников подходящим образом подают в теплообменник второго набора теплообменников. Предварительно нагретый поток топливного газа из последнего, который соответственно расположен после теплообменника первого набора, также направляется в теплообменник первого набора перед подачей его в качестве потока предварительно нагретого топливного газа в горелки.

В связи с ii), например, в установке аминной промывки, как хорошо известно в данной области техники, узел отгонки CO_2 (также называемая десорбером) включает так называемый ребойлер CO_2 в нижней части, где поток, полученный из нижней части узла

отгонки CO_2 и содержащий амин, нагревают для удаления CO_2 из амина. Обычно раствор амина (обедненный раствор амина) отводится в качестве кубового продукта узла отгонки CO_2 . Затем кубовый продукт передает тепло в подогреватель амина (теплообменник подачи/выхода) к раствору амина (обогащенного аминного раствора), отбираемому из нижней части CO_2 -поглотителя выше по оду потока, и который после предварительного нагрева подается в узел отгонки CO_2 , обычно до верхней части узла отгонки CO_2 . После подачи тепла в подогреватель амина аминный раствор (обедненный раствор амина), отведенный из нижней части узла отгонки CO_2 , подается в верхнюю часть абсорбера CO_2 . Согласно варианту осуществления изобретения указанный второй набор теплообменников, предпочтительно теплообменник, расположенный после первого набора, вместо этого функционирует как подогреватель амина, подходящим образом расположенный после теплообменника подачи/выхода, который тем самым извлекает дополнительную мощность из топливного газа, тем самым также обеспечивается меньшая нагрузка на ребойлер CO_2 узла отгонки CO_2 . Таким образом, также возможно использование ребойлера CO_2 меньшего размера. Кроме того, также снижается необходимость использования, например, пара, более конкретно пара низкого давления, для приведения в действие ребойлера CO_2 , что часто бывает. Кроме того, более высокая интеграция в установку или процесс достигается за счет прямого сообщения по текучей среде установки аминной промывки с конвекционной секцией установки первичного риформинга, поскольку раствор амина (богатый раствор амина) проходит через теплообменник, расположенный в нем, например, через змеевик против охлажденных топливных газов, проходящих через конвекционную секцию. Охлажденный топливный газ из первого набора теплообменников, имеющий, например, температуру 120°C , отдает тепло аминному раствору (обогащенному раствору амина), поэтому он предварительно нагревается, например, до $150\text{-}110^\circ\text{C}$, подходящим образом после подающего/выходящего теплообменника перед входом в верхнюю часть узла отгонки CO_2 .

В узле аминной промывки CO_2 -поглотитель работает в диапазоне температур $30\text{-}50^\circ\text{C}$ и диапазоне давлений $1\text{-}200$ атм абс., тогда как узел отгонки CO_2 работает в диапазоне температур $110\text{-}130^\circ\text{C}$ и $1,2\text{-}2$ атм абс. в нижней части узла отгонки CO_2 .

Как упоминалось, может быть предусмотрена установка для последующего улавливания и удаления углерода. Соответственно, может быть предусмотрена дополнительная установка для промывки растворителем, предпочтительно установка для аминной промывки для удаления CO_2 из топливного газа, также включающая поглотитель CO_2 и узел отгонки CO_2 с сопутствующим ребойлером CO_2 . Например, в связи с

вышеизложенным вариантом ii) подогреватель амина также можно использовать для предварительного нагрева аминного раствора из этой дополнительной установки для аминной промывки. Таким образом, в варианте осуществления ii) указанный второй комплект теплообменников также может быть выполнен с возможностью приема раствора растворителя, например аминного раствора, из: дополнительной секции удаления CO_2 , которая расположена после указанной секции конвекции установки первичного риформинга, предпочтительно, дополнительная установка для промывки растворителем, например, дополнительная установка для аминной промывки; тем самым образуя дополнительный охлажденный поток топливных газов и предварительно нагретый раствор растворителя, например, предварительно нагретый аминный раствор.

Подходящим образом также другой теплообменник, например, змеевик, расположен параллельно в конвекционной секции и использовался в качестве предварительного нагревателя амина для указанной дополнительной установки аминной промывки.

Более конкретно, в варианте осуществления согласно первому аспекту настоящего изобретения установка дополнительно содержит дополнительную секцию удаления CO_2 , предназначенную для приема упомянутого охлажденного потока топливного газа или указанного далее охлажденного потока топливного газа, тем самым генерируя второй CO_2 -обогащенный поток и CO_2 -обедненный поток отходящего газа, и в которой указанная дополнительная секция удаления CO_2 также содержит CO_2 -поглотитель при добавлении растворителя и узел отгонки CO_2 для регенерации раствора растворителя.

Таким образом, выбросы CO_2 на водородном заводе могут быть сокращены на 90% и более, что еще больше сократит выбросы углекислого газа на заводе. До сих пор не были разработаны стандартные решения по улавливанию CO_2 из топливных газов установки первичного риформинга, в частности SMR, на установке получения водорода.

За счет объединения этой дополнительной секции удаления/улавливания CO_2 (после улавливания CO_2) с секцией удаления/улавливания CO_2 ниже по ходу потока от секции конверсии водяного пара (до улавливания CO_2), вышеупомянутое процентное снижение выбросов CO_2 достигается при одновременном дополнительном объединении дополнительной мощности (тепловой мощности), имеющейся в топливном газе, с дополнительной секцией удаления/улавливания CO_2 посредством упомянутого предварительного нагрева используемого в ней аминного раствора, т.е. обогащенного амином раствор, охлажденным топливным газом установки первичного риформинга. Таким образом, пост- CO_2 -улавливание также действует синергетически с остальной

частью установки для получения водорода. CO_2 из предварительного улавливания CO_2 и после улавливания CO_2 затем соответствующим образом транспортируется, например, для секвестрации в геологических структурах.

В связи с вышеизложенным вариантом iii) следует понимать, что BFW, как и DMW, являются потоками, импортируемыми на установку. Обычно BFW поступает в паровой барабан, а оттуда отводится поток, который используется для охлаждения потока синтез-газа. Обычно также DMW для использования на установке предварительно нагревают путем охлаждения потока синтез-газа, предпочтительно потока синтез-газа, образующегося после конверсии водяного газа, но до воздушного охладителя технологического газа (здесь синтез-газа), где температура синтез-газа равна около 120-130°C. Вместо этого дополнительная мощность извлекается из охлажденного топливного газа, поскольку его температура также находится в этом диапазоне.

Как указано выше, теплообменник второго набора теплообменников соответственно выполнен в виде змеевика. Соответственно, в варианте осуществления часть топливного газа в i) или раствора растворителя в ii), или BFW или DMW в iii), течет внутри змеевика против потока отходящего газа, более конкретно, охлажденного потока отходящего газа.

Согласно варианту осуществления согласно первому аспекту указанная секция конверсии содержит высокотемпературную конверсию (HTS). Согласно другому варианту осуществления секция конверсии содержит один или несколько дополнительных узлов высокотемпературной конверсии последовательно. Согласно другому варианту осуществления указанная секция конверсии дополнительно содержит один или несколько дополнительных узлов конверсии после узла HTS, при этом один или несколько дополнительных узлов конверсии представляют собой один или несколько узлов среднетемпературной конверсии (MTS) и/или один или несколько узлов низкотемпературной конверсии (LTS). Как хорошо известно в данной области техники, в секции конверсии синтез-газ обогащается водородом за счет проведения реакции конверсии водяного газа $\text{CO} + \text{H}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2$, как уже указано выше.

Согласно варианту осуществления согласно первому аспекту согласно настоящему изобретению установка дополнительно содержит один или несколько узлов предварительного риформинга (установок предварительного риформинга), расположенных перед указанной установкой первичного риформинга и предназначенных для приема указанного углеводородного сырья, такого как природный газ, например, обессеренный природный газ.

Следовательно, следует понимать, что указанное углеводородное сырье может также представлять собой предварительно подвергнутое риформингу углеводородное сырье. Как хорошо известно в данной области техники, в установке предварительного риформинга все высшие углеводороды могут быть преобразованы в оксиды углерода и метан, что приводит к более высокому содержанию метана в газе, подаваемом на установку первичного риформинга.

Согласно варианту осуществления согласно первому аспекту настоящего изобретения узел очистки водорода представляет собой установку короткоциклового адсорбции (узел PSA).

Как хорошо известно в данной области техники, PSA представляет собой некриогенный процесс разделения воздуха, который обычно используется в коммерческой практике и который включает адсорбцию синтез-газа адсорбентами, такими как цеолит и кремнезем, в газовой колонне высокого давления, тем самым генерируя богатый водородом газ высокой чистоты, например, 99,9 мас.% или более H₂. Из установки PSA поток отработавшего газа подается, например, при температуре около 30-40°C, тогда как поток обогащенного водородом газа подается, например, при температуре около 40-50°C.

Также предусматривается использование дополнительных установок очистки водорода, целесообразно также второй установки PSA, которая может быть предусмотрена для приема части отходящих газов из первой установки PSA, с образованием таким образом второго потока отработавшего газа и второго потока газа, обогащенного водородом. Потоки отработавшего газа из обоих узлов PSA могут быть объединены в один поток отработавшего газа, а потоки, обогащенные водородом, также могут быть объединены в один поток, обогащенный водородом.

Согласно второму аспекту настоящее изобретение относится к способу получения водорода, причем способ включает:

- предоставление установки согласно любому из вариантов осуществления согласно первому аспекту настоящего изобретения;

- проведение стадии первичного риформинга углеводородного сырья путем подачи указанного углеводородного сырья, такого как природный газ, в узел первичного риформинга, включающий секцию сжигания, содержащую катализатор, подходящий для парового риформинга метана и одну или несколько горелок для обеспечения тепла для указанного парового риформинга метана, и проведения в присутствии пара указанного парового риформинга метана с образованием первого потока синтез-газа и потока отходящего газа; причем указанный узел первичного риформинга также включает секцию

конвекции, содержащую первый набор теплообменников, и охлаждение потока отходящего газа в указанном первом наборе теплообменников с образованием охлажденного потока отходящего газа;

- необязательно проведение конверсии водяного пара путем подачи первого синтез-газа в секцию конверсии, выполненный с возможностью приема по меньшей мере части указанного первого потока синтез-газа, причем указанная секция конверсии подходящим образом содержит высокотемпературную конверсию (HTS), с образованием второго потока синтез-газа;

- необязательно удаление CO_2 из второго синтез-газа путем подачи первого или второго потока синтез-газа в секцию удаления CO_2 , причем секция удаления CO_2 представляет собой узел химической абсорбции, где раствор растворителя требует регенерации путем нагревания, подходящим образом узел промывки растворителем, такой как узел аминной промывки, выполненный с возможностью получения указанного первого или второго потока синтез-газа, и содержит CO_2 -поглотитель при добавлении растворителя, например, амминного раствора, и регенерацию раствора растворителя, например, амминного раствора, в узле отгонки CO_2 , с образованием третьего поток синтез-газа, а также первого CO_2 -обогащенного потока;

- подачу в указанную одну или несколько горелок предварительно нагретого потока воздуха для сжигания;

- подачу в указанную одну или несколько горелок предварительно нагретого первого потока топливного газа или предварительно нагретого второго потока топливного газа, где первый поток топливного газа представляет собой часть указанного потока, обогащенного водородом, и второй поток топливного газа представляет собой поток газа в результате объединения по меньшей мере части указанного потока отработавшего газа и указанного первого потока топливного газа, т.е. указанной части указанного потока, обогащенного водородом.

Согласно варианту осуществления согласно второму аспекту согласно настоящему изобретению способ дополнительно включает только подачу указанного первого потока топливного газа или второго потока топливного газа в качестве топлива к указанной одной или нескольким горелкам. Соответственно, способ не включает подачу отдельного потока топливного газа, такого как поток природного газа или поток десульфурированного природного газа, к упомянутой одной или нескольким горелкам.

Согласно варианту осуществления согласно второму аспекту согласно настоящему изобретению

указанный предварительно нагретый поток воздуха для сжигания или указанный предварительно нагретый первый или второй поток топливного газа, то есть предварительный нагрев воздуха для сжигания, или первого топливного газа, или второго топливного газа, генерируется путем охлаждения топливного газа в: теплообменнике указанного первого набора теплообменников, в который подается поток воздуха для сжигания, т.е. поток холодного воздуха для сжигания; или в теплообменнике первого набора теплообменников, в который подается первый или второй поток топливного газа.

Согласно варианту осуществления согласно второму аспекту согласно настоящему изобретению топливный газ охлаждают до температуры ниже 100°C , например, около до 70°C . Обычно топливный газ охлаждается до $120\text{-}130^{\circ}\text{C}$, однако, если в топливном газе содержится гораздо меньше серы или она отсутствует вообще, его можно охладить до температуры ниже 100°C , например, около 70°C , что является точкой насыщения воды. Следовательно, в конкретном варианте осуществления топливный газ охлаждается до температуры в диапазоне $70\text{-}99^{\circ}\text{C}$, например, 75 , 80 , 85 или 95°C .

Согласно варианту осуществления согласно второму аспекту согласно настоящему изобретению способ дополнительно включает обеспечение указанной секции конвекции вторым набором теплообменников, предпочтительно теплообменником после указанного первого набора теплообменников, и:

i) подачу части: указанного первого или второго потока топливного газа во второй набор теплообменников с образованием дополнительного охлажденного потока топливного газа и указанного предварительно нагретого первого или второго потока топливного газа, и подачу предварительно нагретого первого или второго потока топливного газа к указанной одной или нескольким горелкам узла первичного риформинга; или

ii) подачу раствора растворителя, например, аминного раствора, из

- указанного узла промывки растворителем, например, узла аминной промывки, или из

- дополнительной секции удаления CO_2 , подходящим образом дополнительного узла промывки растворителем, расположенного ниже по ходу потока от указанной секции конвекции узла первичного риформинга,

во второй набор теплообменников, с образованием далее охлажденного потока отходящего газа и предварительно нагретого раствор растворителя, например, предварительно нагретого аминного раствора; или

iii) подачу кипящей питающей воды (BFW) и/или деминерализованной воды

(DMW), которую вводят в указанный способ получения водорода, и подачу BFW и/или DMW во второй набор теплообменников с образованием далее охлажденного потока отходящего газа, а также пара и/или предварительно нагретой DMW; или

iv) подачу углеводородного сырья во второй набор теплообменников, с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа, а также предварительно нагретого углеводородного сырья.

Следует понимать, что указанная дополнительная секция удаления CO_2 , подходящим образом дополнительный узел промывки растворителем, расположенный ниже по ходу потока от указанной секции конвекции узла первичного риформинга, относится к установке последующего удаления углерода, предназначенной для удаления и улавливания CO_2 из охлажденного отходящего газа или из далее охлажденного отходящего газа.

Согласно варианту осуществления согласно второму аспекту согласно настоящему изобретению способ дополнительно включает предварительный риформинг указанного углеводородного сырья в одной или нескольких установках предварительного риформинга (установках предварительного риформинга), расположенных выше по ходу потока от указанной установки первичного риформинга.

Как и в случае с первым аспектом настоящего изобретения (установка), способ согласно настоящему изобретению в соответствии со вторым аспектом обеспечивает введение нового потока топливного газа, т.е. отличного от углеводородного сырья, например, природного газа, в водородную установку. Новый поток топливного газа, представляющий собой смесь отходящих газов PSA и водорода из PSA, не содержит серы, так что теперь можно охладить топливный газ до более низкой температуры без риска конденсации серной кислоты и, как следствие, проблемы с коррозией. Это позволяет добавить дополнительный змеевик предварительного нагрева в секцию топливных газов (секция конвекции установки первичного риформинга) для увеличения производительности, тем самым повышая энергоэффективность установки.

Эту мощность можно применять не только для предварительного нагрева DMW/BFW, но также для предварительного нагрева аминного раствора, поступающего в узел отгонки CO_2 секции удаления CO_2 , например, в узле удаления углекислого газа (т.е. дополнительная секция удаления CO_2 выполнена с возможностью приема указанного далее охлажденного или далее охлажденного потока отходящего газа). Также целесообразно использовать ребойлер CO_2 в узле отгонки CO_2 , например, в установке удаления углерода после улавливания). Подходящим образом также мощность применяют

в ребойлере CO_2 узла отгонки CO_2 , например, последующий узел удаления захваченного углерода. Таким образом, также возможно обеспечить мощность для последующего узла удаления захваченного углерода или для секции удаления CO_2 , расположенной между узлом первичного риформинга и узлом очистки водорода, вместо того, чтобы прибегать к использованию низкого технологического пара (LP пар), вырабатываемого на установке/ в процессе или подаваемого в качестве импортируемого пара. Для ребойлера CO_2 обычно используется пар низкого давления. Следовательно, изобретение позволяет также осуществлять предварительный нагрев, например, аминного раствора в секции удаления CO_2 . Тем самым достигается, по меньшей мере, снижение потребления энергии и снижение потребления пара.

Любой из вариантов осуществления и связанные с ним преимущества первого аспекта изобретения (установки) могут быть использованы в связи со вторым аспектом изобретения (способом) или наоборот.

Согласно третьему аспекту настоящее изобретение относится к способу модернизации существующей установки для получения водорода, в которой для получения синтез-газа используется традиционная установка первичного риформинга.

Соответственно, также предложен способ модернизации установки для получения водорода,

причем указанная установка содержит узел первичного риформинга для получения потока синтез-газа и расположенный ниже по ходу потока узел очистки водорода для получения потока обогащенного водородом газа и потока отработавшего газа; причем первичный риформинг содержит: секцию сжигания, содержащую катализатор, подходящим образом для парового риформинга метана, и одну или несколько горелок для обеспечения тепла для указанного парового риформинга метана, с образованием таким образом указанного потока синтез-газа и потока отходящего газа, и секцию конвекции, содержащую первый набор теплообменников с образованием охлажденного потока отходящего газа;

указанный расположенный ниже по ходу потока узел очистки водорода оснащен выходом для отвода потока, обогащенного водородом, и выходом для отвода потока отработавшего газа;

причем способ включает:

- установку в секцию конвекции узла первичного риформинга второго набора теплообменников, где указанный второй набор теплообменников содержит один или несколько теплообменников, подходящим образом один теплообменник, расположенный

ниже по ходу потока от указанного первого набора теплообменников, с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа;

- установку точки разделения, такой как разделитель потока, для разделения части указанного потока, обогащенного водородом, на первый поток топливного газа;

- установку точки смешения, такой как узел или смесительный узел, для объединения по меньшей мере части указанного потока отработавшего газов с указанным первым потоком топливного газа, образуя с образованием образом второго потока топливного газа; и

- установку трубопровода, т.е. трубопровода, такого как труба, для подачи указанного первого топливного газа или указанного второго потока топливного газа к первому и/или второму набору теплообменников и далее к указанной одной или несколькими горелкам;

- необязательно, установку средств для уменьшения или блокирования подачи отдельного потока топливного газа, такого как поток природного газа или поток десульфурованного природного газа, к упомянутой одной или несколькими горелкам.

Таким образом, отсутствует импорт природного газа в качестве внешнего источника топлива для горелок. Поток обогащенного водородом газа или, соответственно, смесь топливного газа, состоящего из обогащенного водородом газа и отходящего газа PSA, не содержит серы, поэтому можно охладить топливный газ до более низкой температуры, чем в существующей установке первичного риформинга, например, установка парового риформинга без риска конденсации серной кислоты и, как следствие, проблем с коррозией. Дополнительный набор теплообменников, подходящим образом дополнительный теплообменник, такой как змеевик, установлен в секции конвекции установки риформинга, т.е. в секции топливных газов, подходящим образом после первого набора теплообменников существующей установки. Это позволяет извлекать больше топлива, тем самым дополнительно повышая энергоэффективность установки.

Согласно варианту осуществления согласно третьему аспекту согласно настоящему изобретению установка дополнительно содержит секцию конверсии и секцию удаления CO_2 , расположенную между узлом первичного риформинга и узлом очистки водорода, причем секция удаления CO_2 представляет собой узел химической абсорбции, где раствор растворителя требует регенерации путем нагревания, подходящим образом узел промывки растворителем, такой как узел аминной промывки,

способ модернизации дополнительно включает:

- установку дополнительной секции удаления CO_2 для получения указанного

охлажденного или далее охлажденного потока отходящего газа, т.е. установку узла удаления после захвата CO_2 .

Согласно конкретному варианту осуществления дополнительная секция удаления CO_2 представляет собой дополнительный узел химической абсорбции, где раствор растворителя требует регенерации путем нагревания, подходящим образом узел промывки растворителем, такой как узел аминной промывки;

способ модернизации дополнительно включает

- установку трубопровода для подачи раствора растворителя, например аминного раствора, из указанной секции удаления CO_2 , расположенного между узлом первичного риформинга и узлом очистки водорода, или из указанной дополнительной секции удаления CO_2 , предназначенной для приема указанного далее охлажденного потока отходящего газа, в теплообменник указанного второго набора теплообменников, с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа и предварительно нагретого раствор растворителя;

- необязательная установка трубопровода для подачи указанного предварительно нагретого раствора растворителя в узел отгонки CO_2 установки аминной промывки или дополнительной установки аминной промывки.

Таким образом, можно улавливать около 90% углекислого газа, образующегося на установке, и в то же время обеспечивать высокую степень интеграции установки или способа.

Как и в случае с первым или вторым аспектом настоящего изобретения, способ модернизации обеспечивает введение нового потока топливного газа, т.е. отличного от углеводородного сырья, например, природного газа, в существующую водородную установку. Новый поток топливного газа, представляющий собой смесь отходящих газов PSA и водорода (обогащенного водородом газа) из PSA, не содержит серы, так что теперь можно охладить топливный газ до более низкой температуры без риска конденсации серной кислоты и, как следствие, проблемы с коррозией. Это позволяет добавить дополнительный змеевик предварительного нагрева в секцию топливных газов (конвекционная секция установки первичного риформинга) для увеличения производительности, тем самым повышая энергоэффективность установки.

Этот режим может использоваться не только для предварительного нагрева DMW/BFW, но также и для предварительного нагрева аминного раствора, поступающего в узел отгонки CO_2 секции удаления CO_2 , как например, узел удаления после захвата углерода, т.е. дополнительную секцию удаления CO_2 , выполненную с возможностью

приема указанного далее охлажденного или далее охлажденного потока отходящего газа. Также целесообразно использовать ребойлер CO_2 в узле отгонки CO_2 , например, в установке удаления углерода после улавливания. Таким образом, теперь также можно предусмотреть мощность для установки последующего удаления углерода или для секции удаления CO_2 , расположенной между установкой первичного риформинга и установкой очистки водорода, вместо того, чтобы прибегать к использованию низкого технологического пара (LP пар), вырабатываемого на предприятии/процессе или подаваемого в качестве импортируемого пара. Для ребойлера CO_2 обычно используется пар низкого давления. Следовательно, настоящее изобретение позволяет также осуществлять предварительный нагрев, например, аминного раствора в секции удаления CO_2 . Тем самым достигается, по меньшей мере, снижение потребления энергии и снижение потребления пара.

Любой из вариантов осуществления согласно первому аспекту изобретения (установка) или второму аспекту изобретения (способ) и связанные с этим преимущества могут быть использованы в связи с третьим аспектом изобретения (способ модернизации существующей водородной установки), или.

Краткое описание чертежей

На фиг.1 показана схема установки или способа согласно предшествующему уровню техники.

На фиг.2 показана схема установки или способа согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

На фиг.1 показана схема 100 способа или установки для получения водорода согласно предшествующему уровню техники. Углеводородное сырье, в данном случае десульфурованный природный газ 1, подвергается предварительному риформингу в установке предварительного риформинга 2, в результате чего образуется углеводородное сырье 3, имеющее более высокое содержание метана. Углеводородное сырье 3 предварительно нагревается (поток 3') в теплообменнике 6, предпочтительно змеевике, расположенном в конвекционной секции 4^{iv} установки первичного риформинга 4, в данном случае установки парового риформинга метана (SMR). SMR 4 содержит секцию сжигания 4', имеющую одну или несколько трубок 4'', заполненных катализатором (здесь для иллюстрации они изображены как единственную трубку, заполненную

катализатором), и одну или несколько горелок 4", расположенных в ней. SMR 4 также содержит указанную конвекционную секцию 4^{iv}, то есть секцию топливного газа, в которой расположен первый набор теплообменников (змеевиков) 6, 8, 10 вдоль пути движения топливного газа, генерируемого горелками, как показано стрелками. В целях иллюстрации первый набор теплообменников показан состоящим только из трех змеевиков. В верхней части конвекционной секции, например, там, где расположен змеевик 6, температура самая высокая, например, около 1000°C, тогда как в нижней части конвекционной секции, например, там, где расположен змеевик 10, температура самая низкая, например, около 120°C. Таким образом, охлажденный топливный газ 15 отводится в нижней части конвекционной секции.

Из SMR 4 первый поток синтез-газа, здесь первый поток синтез-газа 5 отбирается и подается в секцию конверсии водяного газа 12, содержащую реактор высокотемпературной конверсии (не показан) и, необязательно, реактор низко- или среднетемпературной конверсии (не показан), тем самым генерируя второй поток 7 синтез-газа, обогащенный водородом. Этот второй поток 7 синтез-газа затем подается в секцию 14 удаления/улавливания CO₂, из которой отводится обогащенный CO₂ газ 17 и генерируется третий поток 9 синтез-газа, обедненный CO₂. Этот третий поток синтез-газа 9, наконец, подается в установку очистки водорода, предпочтительно установку PSA 16, тем самым генерируя обогащенный водородом поток 11 в качестве конечного продукта и поток отходящих газов PSA 13. Поток отходящих газов PSA 13 содержит некоторое количество метана и поэтому предварительно нагревается в змеевике 10 первого набора теплообменников конвекционной секции 4^{iv} SMR 4, или отходящий газ PSA 13 сначала объединяется с обессеренным природным газом 1' перед предварительным нагревом. Десульфуризированный природный газ 1' обычно представляет собой поток, который отводится от потока 1 десульфуризированного природного газа, подаваемого в установку предварительного риформинга 2. Десульфуризированный природный газ также может быть добавлен непосредственно в горелки 4ⁱⁱⁱ. Холодный воздух 19 подается воздуходувкой (не показан) и предварительно нагревается в змеевике 8 первого набора теплообменников, тем самым направляя предварительно нагретый воздух 19' вместе с предварительно нагретыми отходящими газами PSA и смесью обессеренного природного газа 13', 13", не содержащий серы, к горелкам 4ⁱⁱⁱ

На фиг.2 проиллюстрирован вариант осуществления согласно изобретению. Ссылочные позиции, как на фиг. 1, применимы, однако установка 200 для получения водорода, показанная на фиг. 2, теперь показывает секцию конвекции 4^{iv} SMR 4,

дополнительно содержащую второй набор теплообменников, в данном случае змеевик 14^{iv}. Отходящий газ PSA 13 теперь объединяется в точке смешения, такой как узел, т.е. соединение, причем часть 11' разделяется в точке разделения, такой как разделитель потока, в потоке 11 обогащенного водородом газа, образуя тем самым второй поток 21 топливного газа, который не содержит серы. Затем поток 21 топливного газа предварительно нагревается в змеевике 10 первого набора теплообменников с образованием предварительно нагретого потока 21', 21'' топливного газа и направляется в горелки 4'' вместе с предварительно нагретым воздухом для сжигания 19'. Никакого внешнего импорта природного газа в качестве топлива не требуется, а также не требуется поставлять большее количество природного газа для десульфурации, как в предшествующем уровне техники (фиг. 1).

На фиг.2 также показана секция 14 удаления/улавливания CO₂ в качестве установки аминной промывки. Установка аминной промывки 14 включает абсорбер CO₂ 14' и узел отгонки (десорбер) CO₂ 14'' с сопутствующим ребойлером CO₂ 14''', который приводится в движение, например, паром низкого давления 25 или вторым синтез-газом 7' из секции конверсии водяного газа 12 и который был охлажден (не показано). Следует понимать, что если охлажденный синтез-газ 7' используется для обеспечения тепла в ребойлере CO₂ 14''', то дополнительно охлажденный таким образом синтез-газ после подачи тепла в ребойлер CO₂ подходящим образом подается в ребойлер CO₂, подходящим образом заполненный CO₂-поглотителем 14' вместо того, как показано на чертеже, где второй поток синтез-газа 7 подается непосредственно в CO₂- поглотитель 14'. Из верхней части абсорбера CO₂ 14' генерируется третий поток 9 синтез-газа, обедненный CO₂, а снизу раствор амина (обогащенный амином раствор) 23 отводится и предварительно нагревается во втором наборе теплообменников секции конвекции 4^{iv} SMR 4, здесь в теплообменнике (змеевике) 14^{iv} и который, например, предусмотрен после последнего (самого нижнего) змеевика 10 первого набора теплообменников. Предварительно нагретый таким образом раствор амина 23' затем подается в узел отгонки CO₂ 14'', где CO₂ десорбируется из амина, в то время как амин из узла отгонки нагревается в CO₂-ребойлере 14'', чтобы удалить CO₂ из амина. Таким образом, обеспечивается более высокая интеграция установки или способа за счет обеспечения через змеевик 14^{iv} требуемой мощности в установке аминной промывки 14. Узел отгонки CO₂ обычно снабжен теплообменником подачи/выхода (не показан) для предварительного нагрева его кубового потока аминного раствора 23'. Согласно изобретению подходящим образом полученная дополнительная мощность также может быть использована за счет установки ниже по ходу потока от теплообменника

змеевика предварительного нагревателя амина (не показан). Таким образом, в более общем смысле изобретение обеспечивает возможность предварительного нагрева аминного раствора в секции удаления CO_2 . Точка разделения расположена для разделения части упомянутого обогащенного водородом потока 11 на первый поток 11' топливного газа; точка смешения расположена для приема и объединения по меньшей мере части указанного потока 13 отработавшего газа с указанным первым потоком 11' топливного газа и для подачи второго потока 21 топливного газа. Расположены одна или более горелок 4''' для приема предварительно нагретого воздуха для сжигания 19' и предварительно нагретого первого потока топливного газа (не показан) или предварительно нагретого второго потока топливного газа 21', 21''. Установка 200 устроена таким образом, чтобы принимать только указанный первый поток 11' топливного газа или второй поток 21' топливного газа в качестве топлива для указанной одной или более горелок 4'''. Таким образом, в установке 200 отсутствуют средства, такие как трубопровод, для подачи отдельного потока топливного газа, такого как поток природного газа или поток обессеренного природного газа, к одной или более горелкам. Соответственно, способ не включает подачу отдельного потока топливного газа, такого как поток природного газа или поток десульфурированного природного газа, к одной или более горелкам.

Аналогичным образом, повышенная энергоэффективность достигается за счет обеспечения дополнительной мощности секции конвекции для обеспечения последующего улавливания CO_2 , т.е. за счет обеспечения, например, дополнительной установки аминной промывки для удаления CO_2 из далее охлажденного потока отходящего газа 15.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка (200) для получения водорода (11), содержащая:

- узел первичного риформинга (4), выполненный с возможностью приема углеводородного сырья (1, 3, 3'), такого как природный газ, и содержащий:

секцию сжигания (4'), содержащую катализатор (4''), подходящий для парового риформинга метана, и одну или несколько горелок (4''') для обеспечения тепла для указанного парового риформинга метана, с получением таким образом первого потока синтез-газа (5) и потока отходящего газа (15), и

секцию конвекции (4^{IV}), содержащую первый набор теплообменников (6, 8, 10) с получением таким образом охлажденного потока отходящего газа (15);

- расположенный ниже по ходу потока узел очистки водорода (16), выполненный с возможностью приема по меньшей мере части указанного первого потока синтез-газа (5), с получением таким образом потока, обогащенного водородом, такого как указанный водород (11), и поток отработавшего газа (13), причем указанный расположенный ниже по ходу потока узел очистки водорода (16), оснащенный выходом для отвода указанного потока, обогащенного водородом, (11) и выходом для отвода указанного потока отработавшего газа (13); точку разделения, выполненную с возможностью разделения части указанного потока, обогащенного водородом, (11) на первый поток топливного газа (11'); точку смешения, выполненную с возможностью получения и объединения по меньшей мере части указанного потока отработавшего газа (13) с указанным первым потоком топливного газа (11'), и с получением второго потока топливного газа (21) в результате объединения указанного потока отработавшего газа (13) с указанным первым потоком топливного газа (11');

где указанные одна или несколько горелок (4''') выполнены с возможностью получения предварительно нагретого потока воздуха для сжигания (19') и предварительно нагретого первого потока топливного газа или предварительно нагретого второго потока топливного газа (21', 21'').

2. Установка (200) по п. 1, где установка (200) выполнена с возможностью получения только указанного первого потока топливного газа (11') или второго потока топливного газа (21, 21', 21'') в качестве топлива для указанной одной или нескольких горелок (4''').

3. Установка по любому из пп. 1-2, где:

- указанный узел первичного риформинга (4) представляет собой паровую установку риформинга метана с горением (SMR), причем указанная секция сжигания (4') выполнена с

возможностью размещения множества трубок, заполненных катализатором, (4''), подходящих для парового риформинга метана, с образованием таким образом первого потока синтез-газа (5) и указанного потока отходящего газа; причем указанная секция конвекции (4^{IV}) расположена ниже по ходу потока от секции сжигания (4') и выполнена с возможностью получения указанного потока отходящего газа и размещения указанного первого набора теплообменников (6, 8, 10), подходящим образом множества теплообменников, расположенных последовательно, с образованием таким образом указанного охлажденного потока отходящего газа (15); причем узел первичного риформинга (4) оснащен выходом для отвода указанного первого потока синтез-газа (5) и выходом для отвода указанного охлажденного потока отходящего газа (15).

4. Установка по любому из пп. 1-3, где первый набор теплообменников (6, 8, 10) содержит:

- теплообменник (8), выполненный с возможностью получения воздуха для сжигания (19), для образования указанного предварительно нагретого воздуха для сжигания (19');

- теплообменник (10), выполненный с возможностью получения по меньшей мере части указанного первого (11') или второго потока топливного газа (21), для создания указанного предварительно нагретого первого потока топливного газа или указанного предварительно нагретого второго потока топливного газа (21', 21'').

5. Установка по любому из пп. 1-4, дополнительно содержащая:

- секцию конверсии (12), выполненную с возможностью приема по меньшей мере части указанного первого потока синтез-газа (5), с образованием таким образом второго потока синтез-газа (7);

- секцию удаления CO₂ (14), где секция удаления CO₂ (14) представляет собой узел химической абсорбции, где раствор растворителя требует регенерации путем нагревания, подходящим образом узел промывки растворителем, такой как узел аминной промывки, выполненный с возможностью получения указанного второго потока синтез-газа (7), и содержит CO₂-поглотителя (14') при добавлении раствора растворителя (23), подходящим образом амминного раствора, и CO₂-стриппер (14'') для регенерации раствора растворителя (23), например, амминного раствора, с образованием таким образом третьего потока синтез-газа (9) и первого CO₂-обогащенного потока (17);

- узел очистки указанного водорода (16), выполненный с возможностью получения по меньшей мере части из указанного первого (5), второго (7) или третьего (9) потока синтез-газа, с образованием таким образом указанного потока, обогащенного водородом, (11) и

указанного потока отработавшего газа (13).

6. Установка по любому из пп. 1-5, где указанная секция конвекции (4^{IV}) содержит второй набор теплообменников (14^{IV}), где указанный второй набор теплообменников (14^{IV}) выполнен с возможностью:

i) получения части из: указанного первого ($11'$) или второго поток топливного газа (21), с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа (15), и предварительно нагретого первого потока топливного газа или предварительно нагретого второго потока топливного газа; или

ii) получения раствора растворителя (23), например, аминного раствора, из CO_2 -поглотителя ($14'$) указанного узла промывки растворителем, например, указанного узла аминной промывки, с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа (15) и предварительно нагретого раствора растворителя ($23'$), например, предварительно нагретого аминного раствора; или

iii) получения кипящей питающей воды (BFW) и/или деминерализованной воды (DMW), которая применяется в указанной установке (200) для получения водорода (11), с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа (15), а также потока и/или предварительно нагретой DMW; или

iv) получения углеводородного сырья (1), с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа (15), а также а предварительно нагретого углеводородного сырья.

7. Установка по п. 6, где:

указанный второй набор теплообменников содержит один или несколько теплообменников, подходящим образом один теплообменник (14^{IV}), расположенный ниже по ходу потока от указанного первого набора теплообменников (6, 8, 10).

8. Установка по любому из пп. 1-7, дополнительно содержащая дополнительную секцию удаления CO_2 (14), выполненную с возможностью получения указанного охлажденного потока отходящего газа (15) или указанного далее охлажденного потока отходящего газа (15), с образованием таким образом второго CO_2 -обогащенного потока и CO_2 -обедненного потока отходящего газа, и в которой дополнительная секция удаления CO_2 также содержит CO_2 -поглотитель при добавлении растворителя и CO_2 -стриппер для регенерации раствора растворителя.

9. Установка по любому из пп. 1-8, где узел очистки водорода представляет собой установку короткоциклового адсорбции (узел PSA).

10. Способ получения водорода, включающий:

- предоставление установки по любому из пп. 1-9;

- проведение стадии первичного риформинга углеводородного сырья (1, 2) путем подачи указанного углеводородного сырья (1), такого как природный газ, в узел первичного риформинга (4), включающего секцию сжигания (4'), содержащую катализатор (4''), подходящий для парового риформинга метана и одну или несколько горелок (4''') для обеспечения тепла для указанного парового риформинга метана, и проведения в присутствии пара указанного парового риформинга метана с образованием первого потока синтез-газа (5) и потока отходящего газа (15); причем указанный узел первичного риформинга (4) также включает секцию конвекции (4^{IV}), содержащую первый набор теплообменников (6, 8, 10), и охлаждение потока отходящего газа (15) в указанном первом наборе теплообменников (6, 8, 10) с образованием охлажденного потока отходящего газа (15);

- необязательно проведение конверсии водяного пара путем подачи первого синтез-газа (5) в секцию конверсии (12), выполненную с возможностью приема по меньшей мере части указанного первого потока синтез-газа (5), причем указанная секция конверсии (12) подходящим образом содержит высокотемпературную конверсию (HTS), с образованием второго потока синтез-газа (7);

- необязательно удаление CO₂ из второго синтез-газа (7) путем подачи первого (5) или второго (7) потока синтез-газа в секцию удаления CO₂ (14), причем секция удаления CO₂ (14) представляет собой узел химической абсорбции, где раствор растворителя (23) требует регенерации путем нагревания, подходящим образом узел промывки растворителем, такой как узел аминной промывки, выполненный с возможностью получения указанного первого (5) или второго (7) потока синтез-газа, и содержит CO₂-поглотитель (14') при добавлении раствора растворителя (23), например, амминного раствора, и регенерации раствора растворителя (23), например, амминного раствора, в CO₂-стриппере (14''), с образованием третьего потока синтез-газа (9), а также первого CO₂-обогащенного потока (17);

- подачу первого (5), или второго (7), или третьего (9) потока синтез-газа в узел очистки водорода (16), с образованием таким образом потока, обогащенного водородом, (11) и потока отработавшего газа (13);

где способ дополнительно включает:

- подачу в указанную одну или несколько горелок (4''') предварительно нагретого потока воздуха для сжигания (19');

- подачу в указанную одну или несколько горелок (4''') предварительно нагретого

первого потока топливного газа или предварительно нагретого второго потока топливного газа (21', 21''), где первый поток топливного газа (11') представляет собой часть указанного потока, обогащенного водородом, (11), и второй поток топливного газа (21) представляет собой поток газа в результате объединения по меньшей мере части указанного потока отработавшего газа (13) и указанного первого потока топливного газа (11').

11. Способ по п. 10, где способ дополнительно включает только подачу указанного первого потока топливного газа (11') или второго потока топливного газа (21, 21', 21'') в качестве топлива к указанной одной или более горелкам (4''').

12. Способ по любому из пп. 10-11, где:

указанный предварительно нагретый поток воздуха для сжигания (19') или указанный предварительно нагретый первый или второй поток топливного газа (21', 21'') генерируется путем охлаждения отходящего газа в: теплообменнике указанного первого набора теплообменников (6, 8, 10), к которому подается поток воздуха для сжигания (19); или в теплообменнике первого набора теплообменников (6, 8, 10), в который подается первый (11') или второй (21) поток топливного газа.

13. Способ по п. 12, где отходящий газ (15) охлаждают до температуры ниже 100°C, например, до около 70°C.

14. Способ по любому из пп. 10-13, дополнительно включающий предоставление секции конвекции (4^{IV}) со вторым набором теплообменников, подходящим образом теплообменника (14^{IV}) ниже по ходу потока от указанного первого набора теплообменников (6, 8, 10), и:

i) предоставление части: указанного первого (11') или второго (21) потока топливного газа во второй набор теплообменников, с созданием далее охлажденного потока отходящего газа (15) и указанного предварительно нагретого первого или второго потока топливного газа, и подачу предварительно нагретого первого или второго потока топливного газа в указанную одну или несколько горелок (4''') узла первичного риформинга (4); или

ii) подачу раствора растворителя (23), например, аминного раствора, из

- CO₂-поглотителя (14') указанного узла промывки растворителем, например, узла аминной промывки, или

- дополнительной секции удаления CO₂, подходящим образом дополнительного узла промывки растворителем, расположенной ниже по ходу потока от указанной секции конвекции (4^{IV}) узла первичного риформинга (4),

во второй набор теплообменников, с созданием далее охлажденного потока

отходящего газа (15) и предварительно нагретого раствор растворителя (23'), например, предварительно нагретого аминного раствора; или

iii) подачу кипящей питающей воды (BFW) и/или деминерализованной воды (DMW), которую вводят в указанный способ получения водорода, и подачу BFW или DMW во второй набор теплообменников, с созданием далее охлажденного потока отходящего газа (15), а также предварительно нагретого пара и/или предварительно нагретой DMW, или

iv) подачу углеводородного сырья (1) во второй набор теплообменников, с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа (15), а также предварительно нагретого углеводородное сырье.

15. Способ модернизации установка (200) для получения водорода,

причем указанная установка (200) содержит узел первичного риформинга (4) для получения потока синтез-газа (5), и расположенный ниже по ходу потока узел очистки водорода (16) для получения потока газа, обогащенного водородом, (11), такого как указанный водород (11) и поток отработавшего газа (13); причем узел первичного риформинга (4) содержит секцию сжигания (4'), содержащую катализатор (4''), подходящий для парового риформинга метана и одну или несколько горелок (4''') для обеспечения тепла для указанного парового риформинга метана, с образованием таким образом указанного потока синтез-газа (5) и потока отходящего газа, и секцию конвекции (4^{IV}), содержащую первый набор теплообменников (6, 8, 10) с образованием охлажденного потока отходящего газа (15);

указанный расположенный ниже по ходу потока узел очистки водорода (16) оснащен выходом для отвода потока, обогащенного водородом, (11) и выходом для отвода потока отработавшего газа (13);

причем способ включает:

- установку в секции конвекции (4^{IV}) узла первичного риформинга (4) второго набора теплообменников, в которой указанный второй набор теплообменников содержит один или несколько теплообменников (14^{IV}), подходящим образом один теплообменник, расположенный ниже по ходу потока от указанного первого набора теплообменников (6, 8, 10), с образованием таким образом далее охлажденного потока отходящего газа (15);

- установку точки разделения, такой как разделитель потока, для разделения части указанного обогащенного водородом потока (11) на первый поток топливного газа (11');

- установку точки смешения, такой как узел или узел смешения, для объединения по меньшей мере части указанного потока отработавшего газа (13) с указанным первым

потоком топливного газа (11'), с образованием таким образом второго потока топливного газа (21); и

- установку трубопровода для проведения указанного первого потока топливного газа (11') или указанного второго потока топливного газа (21) к первому (6, 8, 10) и/или второму набору теплообменников и далее к указанной одной или нескольким горелкам (4''');

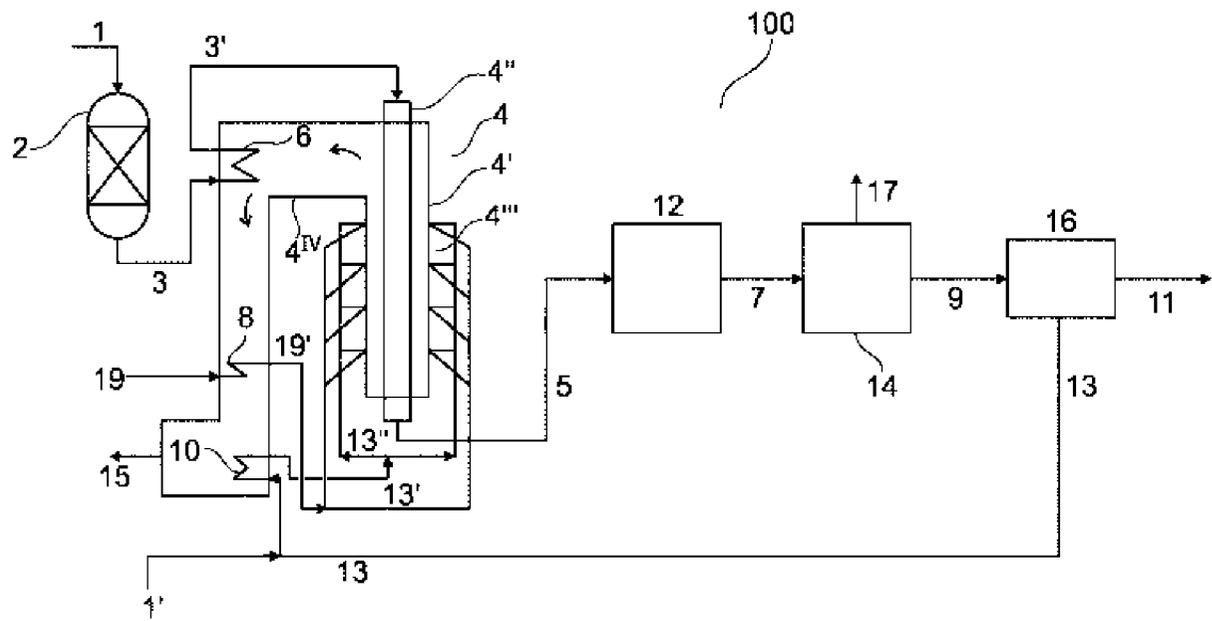
- необязательно установку средств для уменьшения или блокировки подачи отдельного потока топливного газа, такого как поток природного газа или поток десульфурованного природного газа, к упомянутой одной или нескольким горелкам (4''').

16. Способ по п. 15, где установка дополнительно содержит секцию конверсии (12) и секцию удаления CO_2 (14), расположенную между узлом первичного риформинга (4) и узлом очистки водорода (16), причем секция удаления CO_2 (14) представляет собой узел химической абсорбции, где раствор растворителя (23) требует регенерации путем нагревания, подходящим образом узел промывки растворителем, такой как узел аминной промывки,

причем способ модернизации дополнительно включает:

- установку дополнительной секции удаления CO_2 , предназначенной для приема указанного охлажденного или далее охлажденного потока отходящего газа (15).

Фиг. 1



Фиг. 2

