

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202491200 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.09.30

(51) Int. Cl. C01B 3/38 (2006.01)
C01B 3/48 (2006.01)
C01B 3/50 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.11.14

(54) СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОЛУБОГО ВОДОРОДА

(31) 202111052313; 202211003488; PA 2022
00199

(72) Изобретатель:
Бансал Нитеш (IN), Сингх Адитья
(DE), Чияти Яссир И.З. (DK)

(32) 2021.11.15; 2022.01.21; 2022.03.11

(33) IN; IN; DK

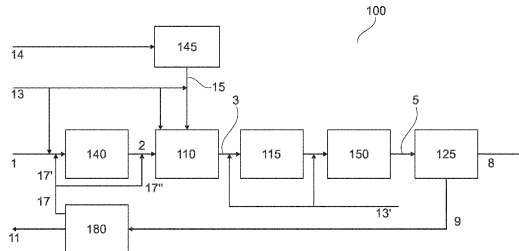
(86) PCT/EP2022/081812

(74) Представитель:
Беляева Е.Н., Беляев С.Б. (BY)

(87) WO 2023/084084 2023.05.19

(71) Заявитель:
ТОПСЕЭ А/С (DK)

(57) Предусмотрены установка и способ производства газа с высоким содержанием водорода, при этом указанный способ включает этапы парового риформинга углеводородного сырья в синтез-газ; конверсии синтез-газа и направления прошедшего конверсию газа в блок очистки водорода, в ходе чего из отходящего газа с высоким содержанием CO₂ из блока очистки водорода удаляют диоксид углерода, а отходящий газ с низким содержанием CO₂ и высоким содержанием водорода рециркулируют в процесс.



A1

202491200

202491200

A1

Способ и установка для производства голубого водорода

ОБЛАСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение относится к установке и способу производства водорода из углеводородного сырья и включает: риформинг, конверсию, удаление CO_2 и очистку водорода. В частности, настоящее изобретение касается установки и способа производства водорода из углеводородного сырья, в которых углеводородное сырье подвергают риформингу в установке риформинга для получения синтез-газа, в ходе чего синтез-газ проходит стадию конверсии, затем прошедший конверсию газ обрабатывают в блоке очистки водорода, таком как установка короткоциклового адсорбции (КЦА), в которой происходит удаление водородного продукта, а также потока отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , и в которой поток отходящих газов с высоким содержанием CO_2 проходит процесс удаления CO_2 , за счет чего создается поток с низким содержанием CO_2 , т.е. поток отходящих газов с низким содержанием CO_2 , который подают в установку риформинга; например, поток с низким содержанием CO_2 или его часть добавляют в качестве сырья и/или топлива в установку риформинга или в качестве топлива в пламенный нагреватель. Поток с низким содержанием CO_2 или его часть также можно добавлять на стадию конверсии и/или в блок очистки водорода. Поток с низким содержанием CO_2 или его часть также можно экспортировать, например, за пределы блока очистки водорода, более конкретно, за пределы установки.

ИЗВЕСТНЫЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Учитывая сегодняшний спрос и конкурентоспособность производства водорода, значительные усилия были приложены к разработке оптимизированного производства для водородных установок с целью повышения общей энергоэффективности и сокращения капитальных затрат. Потребность в более экономичном производстве водорода стимулировала разработку технологий и катализаторов для крупномасштабных установок по производству водорода для извлечения выгоды от экономии за счет масштаба.

Последние инновации компании Топсёэ в сфере технологий производства водорода и разработка нового поколения современных катализаторов обеспечивают высокорентабельное производство водорода и высокую надежность установок даже при использовании крупных однопоточных мощностей.

В заявке WO 2020221642 A1 заявителя раскрыты установка и способ производства водорода, которые включают автотермический риформинг (АТР) для получения синтетического газа (синтез-газа), конверсию водяного газа, удаление CO_2 из прошедшего конверсию газа и очистку водорода для получения газа с высоким содержанием водорода и потока отходящих газов. Поток отходящих газов рециркулируют, например, в АТР, и перед этим отходящий газ может быть передан на этап сжатия и мембранной сепарации. Например, при использовании блока мембранной сепарации CO_2 в потоке отходящих газов, пермеат представляет собой поток с более высоким содержанием водорода, который в дальнейшем передают в блок очистки водорода, например, в установку КЦА, тогда как ретентат представляет собой поток с низким содержанием водорода, который рециркулируют на сторону подачи КЦА или на сторону подачи секции конверсии.

Желательно было бы улучшить этот способ получения водорода.

WO 2016187125 A1 раскрывает способ дополнительного производства водорода на имеющейся установке по производству водорода из природного газа. Имеющаяся установка включает паровой риформинг, конверсию водяного газа и очистку водорода в установке короткоциклового адсорбции (КЦА), за счет чего получают первый поток H_2 и поток отходящих газов КЦА. Отходящий газ КЦА (первый отходящий поток) сжимают, сушат, и в установке низкотемпературного отделения CO_2 из потока удаляют CO_2 . Образуется оставшийся отходящий поток, который направляют во вторую установку КЦА, из которой отбирают второй поток H_2 , а также второй поток отходящих газов КЦА (второй отходящий поток), который подают в печь парового риформинга в качестве топливного газа.

US 2013156685 раскрывает способ снижения общей выработки CO_2 из установки по производству водорода, включая регенерацию CO_2 из отработанных газов печи риформинга (установка парового риформинга метана, ПРМ). С целью производства углеводородного сырья для подачи в печь риформинга проводят три этапа предварительного риформинга. Остаточный поток из установки КЦА после печи риформинга направляют в установку сепарации CO_2 , из которой получают поток с высоким содержанием H_2 , поток CO_2 и остаточный поток. Остаточный поток затем рециркулируют по ходу процесса перед печью риформинга или в качестве топлива в печь риформинга. В этой цитате, по крайней мере, ничего не говорится о: предоставлении конфигураций печей риформинга, отличных от обычных ПРМ или АТР, предоставлении одной установки предварительного риформинга (одностадийный предварительный риформинг) и предоставлении, по меньшей мере, пламенного нагревателя, выполненного с возможностью предварительного нагрева углеводородного сырья перед подачей в печь риформинга.

Было бы желательно также усовершенствовать эти способы и установки для получения водорода.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Поэтому целью настоящего изобретения является снижение потребления углеводородного сырья и топлива в установке и/или способе производства водорода, что позволит повысить энергоэффективность и в то же время увеличить объемы улавливания диоксида углерода и, следовательно, уменьшить выбросы CO_2 .

Другой целью настоящего изобретения является обеспечение лучшей интеграции системы удаления CO_2 в установку и/или способ производства водорода.

Эти и другие задачи решаются настоящим изобретением.

Соответственно, в первом аспекте предложена установка (100) для производства потока (8) с высоким содержанием H_2 из углеводородного сырья (1), при этом указанная установка содержит:

- установку (110) риформинга, при этом указанная установка (110) риформинга выполнена с возможностью приема углеводородного сырья (1, 2) и его конверсии в поток синтез-газа (3);

- секцию (115, 150) конверсии, при этом указанная секция (115, 150) конверсии соответственно включает установку высоко- или среднетемпературной конверсии (115), причем указанная секция конверсии выполнена с возможностью приема потока синтез-газа (3) из установки (110) парового риформинга и его конверсию, предпочтительно на этапе высоко- или среднетемпературной конверсии, за счет чего получают поток (5) прошедшего конверсию синтез-газа;

- блок (125) очистки водорода, выполненный с возможностью приема указанного потока (5) прошедшего конверсию синтез-газа и его разделения на поток H_2 высокой чистоты в качестве указанного водородного продукта (8) и поток (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 ;

- секцию (180) удаления CO_2 для удаления CO_2 из потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 в поток (11) продукта CO_2 и поток (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 , и причем указанная установка выполнена с возможностью рециркуляции указанного потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 или их части, по меньшей мере, на сторону подачи сырья установки (110) риформинга;

при этом установка дополнительно содержит:

- по меньшей мере, один пламенный нагреватель, выполненный с возможностью предварительного нагрева указанного углеводородного сырья (1, 2) перед его подачей в установку (110) риформинга, например, АТР, причем указанная установка (100) выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 из указанного блока (125) очистки водорода или, по меньшей мере, части указанного потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 в качестве топлива для указанного пламенного нагревателя.

Во втором аспекте изобретения, как изложено далее по тексту документа, также предусмотрен способ получения потока с высоким содержанием H_2 из углеводородного сырья с использованием установки, описание которой приводится в настоящем документе.

Дополнительная информация об изобретении изложена в представленном ниже описании, фигурах, аспектах и зависимых пунктах формулы изобретения.

При использовании по тексту настоящего документа термин "первый аспект изобретения" означает установку (систему) согласно изобретению; термин "второй аспект изобретения" означает способ согласно изобретению.

При использовании по тексту настоящего документа термин "содержащий" включает также "содержащий только", то есть "состоящий из".

При использовании по тексту настоящего документа термин "целесообразно" означает "необязательно", т.е. вариант осуществления изобретения, используемый в некоторых случаях.

При использовании по тексту настоящего документа термин "по меньшей мере, часть" означает, по меньшей мере, долю, например, по меньшей мере, часть определенного потока. Соответственно, термин "по меньшей мере, часть" или "по меньшей мере, доля" данного потока означает весь поток или его часть.

При использовании по тексту настоящего документа термин "настоящее изобретение" или просто "изобретение" может использоваться взаимозаменяемо с термином "настоящая заявка" или просто "заявка".

Другие определения предусмотрены в связи с одним или несколькими приведенными ниже вариантами осуществления.

В частном варианте осуществления установка выполнена с возможностью непосредственной рециркуляции указанного потока отходящих газов с низким содержанием CO_2 или его части, по меньшей мере, на сторону подачи сырья установки риформинга. В другом частном варианте установка выполнена с возможностью непосредственной подачи: по меньшей мере, части потока отходящих газов с высоким содержанием CO_2 из указанного блока очистки водорода или, по меньшей мере, части указанного потока отходящих газов с низким содержанием CO_2 в качестве топлива для указанного пламенного нагревателя.

При использовании по тексту настоящего документа термин "непосредственно" означает, что нет никаких промежуточных этапов или блоков, изменяющих состав потока. Например, как показано на приложенной к документу

фигуре, установка 100 выполнена с возможностью непосредственной рециркуляции указанного потока 17, 17', 17'' отходящих газов с низким содержанием CO_2 или его части, по меньшей мере, на сторону подачи сырья установки 110 риформинга.

В одном из вариантов осуществления установка риформинга представляет собой установку автотермического риформинга (АТР); установку риформинга с частичным окислением (PO_x); установку риформинга с конвекционным нагревом, такую как установка риформинга с теплообменным реактором (ТОР) или установка риформинга с газовым нагревом (РГН); установку парового риформинга метана (ПРМ), такую как установка парового риформинга метана с электрическим нагревом (э-ПРМ); или их комбинации, такие как ПРМ в комбинации с (ТОР), или ПРМ в комбинации с АТР, или АТР в комбинации с ТОР.

Все перечисленные выше установки риформинга хорошо известны в данной области техники.

Например:

- в установке автотермического риформинга (АТР) происходит частичное окисление углеводородного сырья кислородом и водяным паром с последующим каталитическим риформингом; при автотермическом риформинге (АТР), который в настоящем документе также включает термин частичное каталитическое окисление (ЧКО), природный газ или другие углеводороды реагируют с водяным паром и окислителем (воздухом, обогащенным воздухом или кислородом) в присутствии катализатора на основе никеля или благородных металлов;

- при некаталитическом частичном окислении (PO_x) природного газа легкие углеводороды, тяжелые углеводороды или твердое сырье, такое как уголь (что также называется газификацией), вступает в реакцию с окислителем (воздухом, обогащенным воздухом или кислородом), и на выходе из реактора достигается температура до 1400°C ;

- конвекционная установка риформинга может содержать одну или несколько труб байонетного риформинга, например, установку риформинга конвекционного типа, т.е. байонетный риформер Топсёэ, в котором тепло для риформинга передают посредством конвекции вместе с излучением;

- термин ПРМ включает обычный ПРМ и э-ПРМ; в обычном ПРМ, также называемом трубчатый риформером, тепло для риформинга передают главным

образом за счет излучения в лучистой печи; в установке парового риформинга метана с электрическим нагревом (э-ПРМ) для выработки тепла для каталитического риформинга используют электрическое сопротивление. В частности, при применении э-ПРМ можно использовать электроэнергию из экологически чистых источников, например, вырабатываемую ветровыми, гидроэнергетическими и солнечными источниками, за счет чего еще больше минимизируются выбросы углекислого газа.

Для получения дополнительной информации об этих риформерах сведения предоставлены в настоящем документе по прямой ссылке на патенты и/или литературу заявителя. Например, обзор трубчатого и автотермического риформинга представлен в “Tubular reforming and autothermal reforming of natural gas – an overview of available processes”, Ib Dybkjær, Fuel Processing Technology 42 (1995) 85-107, EP 0535505 для описания установки риформинга конвекционного типа, или, например, EP 2526045 для описания TOP, или, например, EP 0983963 с описанием процесса объединения АТР и TOP. Описание АТР и/или ПРМ (трубчатого риформера) для крупномасштабного производства водорода представлено, например, в статье “Large-scale Hydrogen Production”, Jens R. Rostrup-Nielsen and Thomas Rostrup-Nielsen”, CATTECH, том 6, стр. 150–159 (2002). Описание э-ПРМ, который представляет собой более современную технологию, приводится по ссылке, например, на WO 2019/228797 A1.

В одном из вариантов осуществления катализатор в установке риформинга представляет собой катализатор риформинга, например, катализатор на основе никеля. В одном из вариантов осуществления катализатор реакции конверсии водяного газа (т.е. в секции конверсии) представляет собой любой катализатор, который активен для реакций конверсии водяного газа. Указанные два катализатора могут быть одинаковыми или разными. Примерами катализаторов риформинга являются Ni/MgAl₂O₄, Ni/Al₂O₃, Ni/CaAl₂O₄, Ru/MgAl₂O₄, Rh/MgAl₂O₄, Ir/MgAl₂O₄, Mo₂C, W₂C, CeO₂, Ni/ZrO₂, Ni/MgAl₂O₃, Ni/CaAl₂O₃, Ru/MgAl₂O₃ или Rh/MgAl₂O₃, благородный металл на носителе Al₂O₃, но также возможны и другие катализаторы, которые подходят для риформинга. В качестве каталитически активного материала могут использоваться Ni, Ru, Rh, Ir или их комбинации, в то время как керамическое покрытие может быть представлено Al₂O₃, ZrO₂, MgAl₂O₃, CaAl₂O₃ или их комбинациями, а также может смешиваться

с оксидами Y, Ti, La или Ce. Максимальная температура реактора может составлять 850 - 1300 °С. Давление исходного газа может составлять 15 - 180 бар, предпочтительно порядка 25 бар. Катализатор парового риформинга также называют катализатором парового риформинга метана или катализатором риформинга метана.

В частном варианте осуществления установка риформинга представляет собой установку автотермического риформинга (АТР). АТР позволяет использовать установку и способ при низком соотношении пара к углероду, за счет чего уменьшается размер оборудования. Например, соотношение пара к углероду в синтез-газе, который подают из АТР в секцию конверсии, составляет менее 2,0, предпочтительно 0,3 - 1,0.

При использовании по тексту настоящего документа термин "сторона подачи сырья" означает сторону впуска или просто точку впуска. Например, под стороной подачи сырья установки риформинга, например АТР, подразумевается сторона впуска установки АТР.

При использовании по тексту настоящего документа термин поток продукта CO₂ означает поток, содержащий 95 об.% или более, например 99,5%, диоксида углерода.

Поток отходящих газов с низким содержанием CO₂ означает поток, содержащий, например: 85 мол.% H₂, 7 мол.% CH₄, 7 мол.% CO и 1 мол.% N₂+Ar. Следовательно, поток отходящих газов с низким содержанием CO₂ имеет высокое содержание водорода, т.е. содержит более 80 мол.% H₂ и по существу не содержит диоксида углерода.

В одном из вариантов осуществления в установке (100) по ходу процесса перед указанным блоком (125) очистки водорода отсутствует секция удаления CO₂, выполненная с возможностью приема потока (5) прошедшего конверсию газа из указанной секции конверсии. Соответственно, установка выполнена с возможностью непосредственного предоставления, то есть непосредственной подачи указанного потока (5) прошедшего конверсию синтез-газа в указанный блок (125) очистки водорода,

Было обнаружено, что выгодно рециркулировать и таким образом подавать отходящий газ с низким содержанием CO₂ и высоким содержанием водорода

обратно в установку парового риформинга, избегая при этом использования установки для удаления CO_2 между секцией конверсии и блоком очистки водорода. Это приводит к более значительным объемам риформинга с преобразованием метана в водород, а также конверсии CO в CO_2 . Преимущества этой установки и способа также включают снижение потребления углеводородного сырья, например, потребления природного газа для такого же необходимого производства водорода при одновременном увеличении объемов улавливания CO_2 и, следовательно, снижении выбросов CO_2 .

Кроме того, удаление CO_2 осуществляют в значительно меньшем потоке технологического газа (поток отходящих газов с высоким содержанием CO_2) по сравнению с потоком прошедшего конверсию синтез-газа.

Продукт CO_2 с этапа удаления CO_2 может быть передан на хранение или же может использоваться для других целей, что обеспечивает снижение выбросов CO_2 в атмосферу.

Таким образом обеспечивается улучшение способа, не в последнюю очередь за счет более эффективной интеграции процесса удаления CO_2 , благодаря чему обеспечивается более качественный способ получения голубого водорода, в рамках которого диоксид углерода удаляют с одновременным образованием водородного продукта.

Термин "голубой водород" означает, что водород производится из углеводородного сырья, такого как природный газ, при этом поддерживается улавливание углерода и его хранение или использование.

В одном из вариантов осуществления секция (180) удаления CO_2 выбрана из: установки промывки амином или мембраны CO_2 , т.е. установки мембранной сепарации CO_2 , КЦА CO_2 или установки криогенного разделения.

В частности, при использовании CO_2 в установке мембранной сепарации пермеат представляет собой поток с более высоким содержанием водорода, который в дальнейшем может быть направлен в блок очистки водорода, например в установку КЦА, тогда как ретентат представляет собой поток с низким содержанием водорода, который рециркулируют на сторону подачи сырья АТР или на сторону подачи сырья секции конверсии, или же на сторону подачи сырья, т.е. на сторону впуска системы мембранной сепарации.

Секция удаления CO₂ также может представлять собой установку или процесс "Бенфилд", включающую абсорбер для проведения этапа абсорбции газа и регенератор для проведения этапа регенерации карбоната. Секция удаления CO₂ также может быть выполнена в форме КЦА CO₂, что также хорошо известно специалистам в данной области.

В одном из вариантов осуществления установка (100) дополнительно содержит одну установку (140) предварительного риформинга, расположенную по ходу процесса перед установкой (110) риформинга, при этом указанная установка (140) предварительного риформинга выполнена с возможностью предварительного риформинга указанного углеводородного сырья (1) перед его подачей в установку (110) парового риформинга, и причем указанная установка (100) выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части потока (17, 17') отходящих газов с низким содержанием CO₂ на сторону подачи сырья установки (140) предварительного риформинга; и/или

- указанная установка (100) выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части потока отходящих газов с низким содержанием CO₂ (17) на сторону подачи сырья секции конверсии; и/или

указанная установка выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части указанного потока отходящих газов с низким содержанием CO₂ на сторону подачи сырья блока (125) очистки водорода.

В настоящем документе термины "установка предварительного риформинга", "блок предварительного риформинга" и "предварительный риформер" используются взаимозаменяемо.

В одном из вариантов осуществления установка предварительного риформинга представляет собой адиабатическую установку предварительного риформинга.

За счет использования одной установки предварительного риформинга, такой как адиабатическая установка предварительного риформинга, обеспечивается упрощение установки и способа. Сопутствующие капитальные затраты (CapEx) и операционные расходы (OpEx) на поставку дополнительных установок предварительного риформинга и сопутствующих теплообменных установок исключаются.

В настоящем документе под стороной подачи сырья секции конверсии понимается сторона впуска установки высоко- или среднетемпературной конверсии или сторона впуска любой последующей установки конверсии, расположенной далее по ходу процесса в указанной секции конверсии, например, установка среднетемпературной конверсии, расположенная по ходу процесса после установки высокотемпературной конверсии.

Рециркуляция потока отходящих газов с низким содержанием CO_2 , например, в АТР обеспечивает преимущество, которое заключается в уменьшении потока в установку предварительного риформинга, за счет чего происходит уменьшение ее размера. Более конкретно, рециркуляция отходящих газов с низким содержанием CO_2 увеличивает объем извлечения водорода, за счет чего снижается потребление сырья. Благодаря этому находящееся ранее в потоке оборудование может быть уменьшено в размерах.

Рециркуляция потока отходящих газов с низким содержанием CO_2 в секцию конверсии обеспечивает преимущество, которое заключается в возможности уменьшения размера как АТР, так и установки предварительного риформинга. Этот вариант рециркуляции предпочтительно сочетается со вторым этапом очистки H_2 в отходящем газе, предпочтительно по ходу процесса перед секцией удаления CO_2 , для снижения парциального давления H_2 .

В одном из вариантов осуществления установка не предусматривает, то есть не включает установку парового риформинга метана (ПРМ) по ходу процесса перед АТР. Следовательно, секция риформинга, т.е. установка риформинга в ней, включает в себя установку АТР и, при необходимости, также установку предварительного риформинга, но при этом отсутствует установка парового риформинга метана (ПРМ), т.е., например, обычная установка ПРМ (также обычно называемая лучевой печью или трубчатым риформером) не используется. Соответственно, в варианте осуществления установка риформинга представляет собой установку АТР, по ходу процесса перед которой расположена указанная одна установка предварительного риформинга. АТР вместе с установкой предварительного риформинга, т.е. автономной АТР, представляет собой простое и энергоэффективное решение для секции риформинга.

Это обеспечивает значительные преимущества с точки зрения энергопотребления и размера установки, поскольку теперь, помимо прочего, можно работать при молярном соотношении пара к углероду значительно ниже 1, за счет чего значительно уменьшается количество пара, переносимого в установке/способе, более подробная информация о чем также изложена выше.

Соответственно, установка дополнительно содержит блок гидрогенизации и установку абсорбции серы, расположенную по ходу процесса перед указанной установкой предварительного риформинга, при этом указанная установка выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части потока отходящих газов с низким содержанием CO_2 на сторону подачи сырья блока гидрогенизации.

В одном из вариантов осуществления установка дополнительно содержит:

- компрессор, т.е. компрессор рециркуляции отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , выполненный с возможностью сжатия указанного потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , при этом указанный компрессор расположен по ходу процесса перед указанной секцией (180) удаления CO_2 и при этом, при необходимости, компрессор расположен по ходу процесса после указанной секции (180) удаления CO_2 для рециркуляции указанного потока (17, 17', 17'') газа с низким содержанием CO_2 на сторону подачи сырья установки (140) риформинга и/или на сторону подачи сырья секции конверсии, и/или на сторону подачи сырья установки (140) предварительного риформинга, и/или на сторону подачи сырья блока (125) очистки водорода.

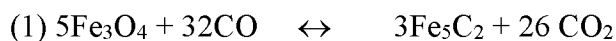
Изобретение также позволяет снизить энергопотребление рециркуляционного компрессора отходящих газов с высоким содержанием CO_2 путем добавления отходящих газов с низким содержанием CO_2 обратно в секцию риформинга, например, в установку предварительного риформинга и/или АТР.

По меньшей мере, часть сжатой части потока отходящих газов с низким содержанием CO_2 используют в способе, в результате чего эти газы непосредственно становятся частью углеводородного сырья или технологического газа, обрабатываемого, например, в установке предварительного риформинга или АТР, или в секции конверсии.

Соответственно, установка высокотемпературной конверсии содержит промотированный катализатор высокотемпературной конверсии на основе оксида

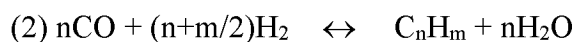
цинка-алюминия, предпочтительно расположенный внутри указанного блока ВТК в виде одного или более слоев катализатора, и предпочтительно, катализатор ВТ-конверсии на основе промотированного оксида цинка-алюминия включает в его активной форме мольное соотношение Zn/Al в диапазоне 0,5 - 1,0, и содержание щелочного металла в диапазоне 0,4 - 8,0 мас.%, а также содержание меди в диапазоне 0 - 10% из расчета на массу окисленного катализатора.

В традиционной водородной установке стандартное использование катализатора высокотемпературной конверсии на основе железа требует соотношения пара к углероду около 3,0, чтобы избежать образования карбида железа.



Образование карбида железа ослабляет гранулы катализатора и может привести к его распаду и увеличению перепада давления.

Карбид железа будет катализировать образование побочных продуктов Фишера-Тропша.



Реакции Фишера-Тропша потребляют водород, в результате чего эффективность секции конверсии снижается.

Тем не менее, согласно настоящему изобретению используют не содержащий Fe катализатор, такой как промотированный катализатор на основе оксида цинка и алюминия. Например, катализатор высокотемпературной конверсии SK-501 Flex™ компании Топсёэ, который обеспечивает работу секции риформинга и секции высокотемпературной конверсии при понижении соотношения пара к углероду до 0,3.

Таким образом, настоящая установка и/или способ, работающие при понижении соотношения пара к углероду до 0,3, отличаются от современных традиционных водородных установок, которые основаны на секциях риформинга и/или конверсии, работающих при соотношении пара к углероду около 1,5 или выше. В предпочтительных вариантах осуществления способа катализатор на основе оксида цинка-алюминия в его активной форме включает смесь цинк-алюминиевой шпинели и оксида цинка в комбинации с щелочным металлом,

выбранным из группы, состоящей из Na, K, Rb, Cs и их смесей, и, при необходимости, в комбинации с Cu. Указанный выше катализатор может иметь молярное соотношение Zn/Al в диапазоне 0,5 - 1,0, содержание щелочного металла в диапазоне 0,4 - 8,0 мас.% и содержание меди в диапазоне 0 - 10% из расчета на массу окисленного катализатора.

Катализатор высокотемпературной конверсии, используемый по настоящему способу, не ограничен жесткими требованиями к соотношению пара к углероду, что позволяет снизить соотношение пара к углероду как в секции конверсии, так и в секции риформинга.

Опять же, достигается значительное снижение количества пара, переносимого в установке и/или способе, за счет чего уменьшается размер установки и энергопотребление. Более конкретно, соотношение пара к углероду на уровне ниже 2,0 имеет несколько преимуществ. Уменьшение соотношения пара к углероду в целом приводит к снижению расхода сырья и пара через секцию риформинга и последующие секции охлаждения и очистки водорода. Низкое соотношение пара к углероду в секции риформинга и секции конверсии также обеспечивает более высокий выход синтез-газа по сравнению с высоким соотношением пара к углероду. Уменьшение массового расхода через эти секции означает меньшие размеры оборудования и трубопроводов. Уменьшение массового расхода также приводит к снижению выработки низкотемпературных калорий, которые зачастую невозможно использовать. Это означает, что существует потенциал снижения как CapEx (капитальных затрат), так и OpEx (операционных расходов).

Поскольку требования к соотношению пара к углероду на этапе высокотемпературной конверсии в рамках настоящего способа значительно снижены по сравнению с известными технологиями, с помощью настоящего изобретения можно снизить соотношение пара к углероду на начальном этапе, например, до 0,6 или сделать его максимально низким в зависимости от возможных решений по конверсии, которые разбираются ниже. Преимущество низкого соотношения пара к углероду для АТР и в целом процесса заключается в том, что на начальном этапе требуется меньшее по размеру оборудование, что связано с более низким общим массовым потоком через установку.

Необходимо понимать, что термин "начальный этап" означает секцию риформинга. Также следует понимать, что секция риформинга представляет собой секцию установки, которая включает все блоки до установки риформинга включительно, например, АТР, или установку предварительного риформинга и АТР, или гидрогенизатор и поглотитель серы, а также и установку предварительного риформинга и АТР.

Предпочтительно установка также может содержать воздухоразделительную установку (ВРУ), выполненную с возможностью приема воздушного потока и производства потока кислорода, который затем подают через трубопровод в АТР.

Установка предпочтительно содержит также трубопроводы для подачи пара к углеводородному сырью, к кислородсодержащему потоку и к АТР, а также, при необходимости, к точке впуска секции риформинга, например, к основному углеводородному сырью и к точке впуска в секцию конверсии, в частности, к установке ВТК и/или к дополнительным установкам конверсии после установки ВТК согласно описанию, которое будет представлено ниже.

Согласно настоящему изобретению установка также включает, по меньшей мере, один пламенный нагреватель, выполненный с возможностью предварительного нагрева указанного углеводородного сырья (1, 2) перед его подачей в установку (110) риформинга, например, АТР, причем указанная установка (100) выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 из указанного блока (125) очистки водорода или, по меньшей мере, части указанного потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 в качестве топлива для указанного пламенного нагревателя.

Это обеспечивает низкий уровень выбросов углерода из отработанных газов, образующихся при сжигании на пламенных нагревателях. В пламенном нагревателе целесообразно использовать отдельный топливный газ и/или водородный топливный газ вместе с воздухом для горения. Потребление топливного газа, такого как природный газ, обычно используемого для сжигания, значительно снижается или полностью исключается. Помимо предварительного нагрева углеводородного газа, подаваемого в установку предварительного

риформинга и, например, АТР, пламенный нагреватель также может использоваться, например, для перегрева пара.

Соответственно, указанный поток (17, 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 смешивают с углеводородным сырьем (2) перед передачей на сторону подачи сырья установки (110) парового риформинга, например АТР; или указанный поток (17, 17') отходящих газов с низким содержанием CO_2 смешивают с углеводородным сырьем (1) перед передачей на сторону подачи сырья установки (140) предварительного риформинга.

Таким образом, следует понимать, что отходящий газ с низким содержанием CO_2 , может быть направлен непосредственно, например, в АТР и/или может смешиваться с углеводородным сырьем перед поступлением в АТР. Также целесообразно, поток отходящих газов с низким содержанием CO_2 перед передачей на сторону подачи сырья установки предварительного риформинга смешивают с углеводородным сырьем.

В еще одном варианте осуществления блок очистки водорода выбран из установки короткоцикловой адсорбции (КЦА), водородной мембраны или установки криогенного разделения.

В еще одном варианте осуществления установка не содержит второй (дополнительный) блок очистки водорода, такой как вторая установка КЦА, расположенная по ходу процесса после указанной секции удаления CO_2 . Следовательно, дальнейшее обогащение отходящих газов с низким содержанием CO_2 до отдельного продукта H_2 не требуется, поскольку отходящий газ с низким содержанием CO_2 может уже иметь необходимые характеристики для рециркуляции, по меньшей мере, на стороне подачи сырья в установку риформинга. Следовательно, отходящий газ с низким содержанием CO_2 непосредственно рециркулируют, по меньшей мере, на сторону подачи сырья установки риформинга. Иными словами, согласно этому варианту осуществления установка выполнена с возможностью прямой рециркуляции указанного потока отходящих газов с низким содержанием CO_2 или его части, по меньшей мере, на сторону подачи сырья установки риформинга, т.е. предусмотрен трубопровод для непосредственной рециркуляции указанного потока отходящих газов с низким содержанием CO_2 или его части, по меньшей мере, на сторону подачи сырья установки (110) риформинга.

В еще одном варианте осуществления секция конверсии содержит один или несколько дополнительных последовательно соединенных блоков высокотемпературной конверсии.

В еще одном варианте осуществления указанная секция конверсии дополнительно содержит один или несколько дополнительных блоков конверсии после блока высокотемпературной конверсии. В частном варианте осуществления один или несколько дополнительных блоков конверсии представляют собой один или несколько блоков среднетемпературной конверсии и/или один или несколько блоков низкотемпературной конверсии.

Предоставление дополнительных блоков или этапов конверсии повышает гибкость установки и/или способа во время работы при низких соотношениях пара к углероду. Низкое соотношение пара к углероду может привести к более низкой, чем оптимальная, конверсии. Это означает, что в некоторых вариантах осуществления может быть выгодно предусмотреть один или несколько дополнительных этапов конверсии. Один или несколько дополнительных этапов конверсии могут включать среднетемпературную (СТ) и/или низкотемпературную (НТ) и/или высокотемпературную конверсию. В целом, чем больше СО преобразуется на этапах конверсии, тем больше получается H_2 , и тем меньше оборудования необходимо на начальном этапе.

Это также видно и из реакции экзотермической конверсии: $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2 + \text{тепло}$

Как уже указывалось выше, пар, при необходимости, может добавляться до и после этапа высокотемпературной конверсии, например, перед одним или несколькими последующими этапами СТ или НТ и/или ВТ конверсии, что позволяет максимально повысить производительность указанных следующих этапов ВТ, СТ и/или НТ конверсии.

Наличие двух или более последовательных этапов высокотемпературной конверсии (например, этапа высокотемпературной конверсии, включающей два или более последовательно соединенных реактора конверсии, например, с возможностью охлаждения и/или добавления пара между ними) может быть выгодным, поскольку это может обеспечить повышенную степень конверсии при высокой температуре, что приводит к возможности уменьшения необходимого

объема катализатора конверсии и, следовательно, к появлению возможности снижения капитальных затрат. Кроме того, высокая температура снижает образование метанола, который является типичным побочным продуктом этапа конверсии.

Предпочтительно этапы СТ и НТ конверсии можно проводить на промотированных катализаторах из меди/цинка/оксида алюминия. Например, в качестве типа катализатора низкотемпературной конверсии может быть выбран ЛК-821-2, который характеризуется высокой активностью, прочностью и устойчивостью к отравлению серой. Может быть установлен верхний слой специального катализатора для улавливания возможного хлора в газе и предотвращения попадания капель жидкости на катализатор конверсии.

Стадию СТ конверсии можно проводить при температурах 190 - 360°C.

Стадию НТ конверсии можно проводить при температурах $T_{\text{росы}} + 15 - 290^\circ\text{C}$, например, 200 - 280°C. Например, температура на входе в систему низкотемпературной конверсии составляет от $T_{\text{росы}} + 15 - 250^\circ\text{C}$, например, 190 - 210°C.

Уменьшение соотношения пара к углероду приводит к снижению точки росы технологического газа, а это означает, что может быть снижена и температура на входе в этапы СТ и/или НТ конверсии. Более низкая температура на входе может означать меньшее проскальзывание СО на выходе из реакторов конверсии, что также выгодно для установки и/или способа.

Во втором аспекте изобретения также предусмотрен способ получения водородного продукта (8) из углеводородного сырья (1, 2), при этом указанный способ включает следующие этапы:

предоставление установки (100) согласно любому из предыдущих вариантов осуществления первого аспекта изобретения;

подачу углеводородного сырья (2) в установку риформинга, например АТР (110), и его конверсию в поток синтез-газа (3);

подачу потока синтез-газа (3) из установки (110) риформинга в секцию конверсии и его конверсию на этапе (115) конверсии, предпочтительно на этапе (115) высоко- и среднетемпературной конверсии, что позволяет получить поток (5) прошедшего конверсию синтез-газа;

подачу потока (5) прошедшего конверсию газа из секции конверсии в блок (125) очистки водорода и его разделение на поток H_2 высокой чистоты в качестве указанного водородного продукта (8) и поток (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 ; и

при этом способ дополнительно включает:

- при необходимости, обеспечение этапа сжатия указанного потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , т.е. этапа сжатия отходящих газов с высоким содержанием CO_2 ; и этап удаления CO_2 в секции (180) удаления CO_2 , который обеспечивает этап удаления CO_2 из сжатого таким образом, при необходимости, потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 в поток отходящих газов с высоким содержанием CO_2 в виде потока (11) продукта CO_2 и потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 , при этом указанный необязательный этап сжатия указанного потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 осуществляют перед указанной секцией (180) удаления CO_2 , и

- подачу указанного потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 или его части, при необходимости, через дополнительный этап сжатия, на сторону подачи сырья установки (110) парового риформинга, и/или сторону подачи сырья секции конверсии, и/или сторону подачи сырья блока (125) очистки водорода, и/или сторону подачи сырья необязательной установки (140) предварительного риформинга, расположенной по ходу процесса перед упомянутой установкой (110) риформинга, и/или в качестве топлива для, по меньшей мере, одного пламенного нагревателя, выполненного с возможностью предварительного нагрева указанного углеводородного сырья (1, 2) перед его подачей в установку (110) риформинга.

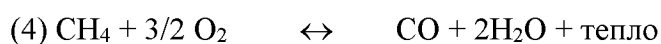
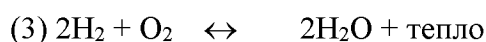
Как уже указывалось ранее в связи с первым аспектом изобретения, настоящая установка и/или способ могут работать при соотношении пара к углероду вплоть до 0,3. Низкое соотношение пара к углероду в секции риформинга и секции конверсии (т.е., при необходимости, включая любой пар, добавляемый в секцию конверсии) обеспечивает более высокий выход синтез-газа по сравнению с высоким соотношением пара к углероду.

В еще одном варианте осуществления согласно второму аспекту изобретения температура на этапе высокотемпературной конверсии находится в

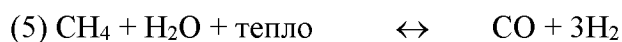
диапазоне 300 - 600°C, например 360 - 470°C, или, например, 345 - 550°C. Это означает, что согласно настоящему способу можно проводить реакцию высокотемпературной конверсии с сырьем с гораздо более низким соотношением пара к углероду, чем это возможно при использовании известных способов. Например, температура на входе в систему высокотемпературной конверсии может составлять 300 - 400°C, например 350 - 380°C.

Например, при работе с АТР углеродное сырье для АТР смешивают с кислородом и дополнительным паром в АТР, и происходит объединение, по меньшей мере, двух типов реакций. Этими двумя реакциями являются горение и паровой риформинг.

Зона горения:



Термическая и каталитическая зона:



Горение метана до монооксида углерода и воды (реакция (4)) представляет собой крайне экзотермический процесс. Избыток метана может присутствовать на выходе из зоны горения после преобразования всего кислорода.

Термическая зона является частью камеры сгорания, в которой происходит дальнейшая конверсия углеводородов посредством гомогенных газофазных реакций, в основном реакций (5) и (6). Эндотермическая паровая конверсия метана (5) потребляет большую часть тепла, выделяющегося в зоне горения.

После камеры сгорания может находиться неподвижный слой катализатора, который представляет собой каталитическую зону, где происходит конечная конверсия углеводородов посредством гетерогенных каталитических реакций. На выходе из каталитической зоны синтез-газ предпочтительно находится в состоянии близком к равновесию по реакциям (5) и (6).

Благодаря настоящему изобретению можно запустить установку и/или способ без дополнительного добавления пара между этапом(ами) риформинга и этапом высокотемпературной конверсии.

Соответственно, объемная скорость в АТР является низкой, например, менее $20000 \text{ Нм}^3 \text{ С/м}^3/\text{ч}$, предпочтительно менее $12000 \text{ Нм}^3 \text{ С/м}^3/\text{ч}$ и наиболее предпочтительно менее $7000 \text{ Нм}^3 \text{ С/м}^3/\text{ч}$. Объемная скорость определяется как объемный поток углерода на объем катализатора и соответственно не зависит от конверсии в зоне катализатора.

Любой из вариантов осуществления первого аспекта (установки) изобретения можно использовать в комбинации с любым из вариантов осуществления второго аспекта (способа) изобретения или наоборот. Любые из сопутствующих преимуществ вариантов осуществления согласно первому аспекту изобретения могут использоваться в связи с вариантами осуществления согласно второму аспекту изобретения.

К преимуществам настоящего применения можно отнести следующее:

- сокращение потребления углеводородного сырья, например, природного газа, для производства того же необходимого водорода при одновременном увеличении объемов улавливания CO_2 и, следовательно, уменьшении выбросов CO_2 ;

- поскольку часть отходящих газов с низким содержанием CO_2 также используется в качестве топлива для пламенного нагревателя, имеют место низкие выбросы углерода из отходящих газов, образующегося в пламенном нагревателе;

- потребление энергии в компрессоре рециркуляции отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , предназначенном для сжатия указанного потока отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , снижается за счет добавления обратно в установку риформинга отходящих газов с низким содержанием CO_2 .

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ФИГУРЫ

Единственная фигура (Фиг. 1) содержит иллюстрацию компоновки водородного способа и установки на основе АТР в соответствии с вариантом осуществления изобретения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

На Фигуре 1 показана установка 100, в которой углеводородное сырье 1, т.е. основное углеводородное сырье 1, такое как природный газ, подают в секцию риформинга, включающую установку 140 предварительного риформинга и установку риформинга, в качестве которой здесь показана установка 110

автотермического риформинга. Секция риформинга также может содержать гидрогенизатор и абсорбер серы (не показан) перед установкой 140 предварительного риформинга. Углеводородный пар 1 смешивают с паром 13. Полученное углеводородное сырье 2 подают в АТР 110, как и кислород 15 и пар 13. Поток кислорода 15 вырабатывается с помощью воздухоразделительной установки (ВРУ) 145, в которую подают воздух 14. В АТР 110 углеводородное сырье 2 преобразуется в поток синтез-газа 3, который затем поступает в секцию 115, 150 конверсии.

Секция конверсии, например, включает установку 115 высокотемпературной конверсии (ВТК), куда также перед потоком может быть добавлен дополнительный или добавочный пар 13'. Дополнительные установки конверсии, такие как установка 150 низкотемпературной конверсии (НТК), также могут быть включены в секцию конверсии. Следует понимать, что секция конверсии может включать любую из установок, т.е. ВТК, СТК и НТК или их сочетания. Дополнительный или добавочный пар 13' также может добавляться по ходу процесса после установки 115 ВТК, но перед установкой 150 низкотемпературной конверсии. Из секции конверсии поток 5 прошедшего конверсию газа далее подают, например, напрямую в блок 125 очистки водорода, например, в установку КЦА, откуда получают поток H_2 высокой степени чистоты, который представлен водородным продуктом 8, а также поток 9 отходящих газов с высоким содержанием CO_2 . Этот поток 9 рециркуляции отходящих газов с высоким содержанием CO_2 проводят через компрессор рециркуляции (не показан) в секцию 180 удаления CO_2 , из которой генерируется поток 11 продуктов CO_2 , а также поток 17, 17', 17'' отходящих газов с низким содержанием CO_2 . Установка 100 выполнена с возможностью рециркуляции, например, прямой рециркуляции, потока 17, 17', 17'' отходящих газов с низким содержанием CO_2 или его части на сторону подачи сырья установки 140 предварительного риформинга или на сторону подачи сырья установки риформинга, в данном случае АТР 110, или в секцию конверсии (не показана). Установка 100 дополнительно содержит, по меньшей мере, один пламенный нагреватель (не показан), выполненный с возможностью предварительного нагрева углеводородного сырья 1, 2 перед его подачей в установку 140 предварительного риформинга или установку 110 риформинга, а установка (100) выполнена с возможностью подачи, например,

непосредственной подачи, по меньшей мере, части потока 9 отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , из указанного блока 125 очистки водорода или, по меньшей мере, части указанного потока 17, 17', 17'' с низким содержанием CO_2 в качестве топлива для пламенного нагревателя.

ПРИМЕР

В способе и установке 100 для удаления диоксида углерода из синтез-газа 5 с высоким содержанием CO_2 , отходящий газ 17 с низким содержанием CO_2 образуется после удаления CO_2 в виде потока 11 продукта CO_2 в секции 180 удаления CO_2 . Состав отходящих газов с низким содержанием CO_2 может быть следующим: водород 85 мол.%, метан 7 мол.%, CO 7 мол.%, азот + аргон 1 мол.%. Отходящий газ 17 с низким содержанием CO_2 возвращается непосредственно в установку 110 риформинга, в данном случае конкретно представленную в виде АТР, и далее в расположенную ранее по ходу процесса установку 140 предварительного риформинга. Это обеспечивает более интенсивный риформинг метана в водород, а также к конверсии CO в CO_2 на установках 115, 150 конверсии. Преимущества этого включают сокращение потребления углеводородного сырья, например, природного газа, для производства того же необходимого водорода при одновременном увеличении объемов улавливания CO_2 и, следовательно, уменьшении выбросов CO_2 . Часть отходящих газов с низким содержанием CO_2 также используется в качестве топлива для пламенного нагревателя. Это приводит к снижению выбросов углекислого газа из отработанных газов, образующихся в пламенном нагревателе. Кроме того, потребление энергии в компрессоре, т.е. компрессоре рециркуляции отходящих газов с высоким содержанием CO_2 (не показан на прилагаемой фигуре), предназначенном для сжатия указанного потока 9 отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , снижается за счет добавления отходящих газов с низким содержанием CO_2 обратно в установку 110 риформинга, здесь это АТР.

Формула изобретения

1. Установка (100) для производства водородного продукта (8) из углеводородного сырья (1), при этом указанная установка содержит:

- установку (110) риформинга, при этом указанная установка (110) риформинга выполнена с возможностью приема углеводородного сырья (1, 2) и его конверсии в поток синтез-газа (3);

- секцию (115, 150) конверсии, выполненную с возможностью приема потока синтетического газа (3) из установки (110) парового риформинга и его конверсии, в результате чего получают поток (5) прошедшего конверсию синтез-газа;

- блок (125) очистки водорода, выполненный с возможностью приема указанного потока (5) прошедшего конверсию синтез-газа и его разделения на поток H_2 высокой чистоты в качестве указанного водородного продукта (8) и поток (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 ;

- секцию (180) удаления CO_2 для удаления CO_2 из потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 в поток (11) продукта CO_2 и поток (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 , и причем указанная установка выполнена с возможностью рециркуляции указанного потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 или их части, по меньшей мере, на сторону подачи сырья установки (110) риформинга;

- причем установка дополнительно содержит, по меньшей мере, один пламенный нагреватель, выполненный с возможностью предварительного нагрева указанного углеводородного сырья (1, 2) перед его подачей в установку (110) риформинга, и причем указанная установка (100) выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 из указанного блока (125) очистки водорода или, по меньшей мере, части указанного потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 в качестве топлива для указанного пламенного нагревателя.

2. Установка по пункту 1, отличающаяся тем, что:

- указанная секция (115, 150) конверсии содержит установку (115) высоко- или среднетемпературной конверсии.

3. Установка по любому из пп. 1 - 2, **отличающаяся тем**, что установка риформинга представляет собой установку автотермического риформинга (АТР); установку риформинга с частичным окислением (PO_x); установку риформинга с конвекционным нагревом, такую как установка риформинга с теплообменным реактором (ТОР) или установка риформинга с газовым нагревом (РГН); установку парового риформинга метана (ПРМ), такую как установка парового риформинга метана с электрическим нагревом (э-ПРМ); или их комбинации, такие как ПРМ в комбинации с (ТОР), или ПРМ в комбинации с АТР, или АТР в комбинации с ТОР.

4. Установка по любому из пп. 1 - 3, **отличающаяся тем**, что указанная установка выполнена с возможностью непосредственной подачи потока (5) прошедшего конверсию синтез-газа в указанный блок (125) очистки водорода.

5. Установка по любому из пп. 1 - 4, **отличающаяся тем**, что секция (180) удаления CO_2 выбрана из установки промывки амином или мембраны CO_2 , т.е. установки мембранной сепарации CO_2 , КЦА CO_2 или установки криогенного разделения.

6. Установка по любому из пп. 1 - 5, **отличающаяся тем**, что

- указанная установка (100) дополнительно содержит одну установку (140) предварительного риформинга, расположенную по ходу процесса перед установкой (110) риформинга, причем указанная установка (140) предварительного риформинга выполнена с возможностью предварительного риформинга указанного углеводородного сырья (1) перед его подачей в установку (110) риформинга, и причем указанная установка (100) выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части потока (17, 17') отходящих газов с низким содержанием CO_2 на сторону подачи сырья установки (140) предварительного риформинга; и/или

- указанная установка (100) выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части потока (17) отходящих газов с низким содержанием CO_2 на сторону подачи сырья секции конверсии; и/или

- указанная установка выполнена с возможностью подачи, по меньшей мере, части указанного потока отходящих газов с низким содержанием CO_2 на сторону подачи сырья блока (125) очистки водорода.

7. Установка по любому из пп. 1 - 6, дополнительно содержащая:

- компрессор, т.е. компрессор рециркуляции отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , выполненный с возможностью сжатия указанного потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , при этом указанный компрессор расположен по ходу процесса перед указанной секцией (180) удаления CO_2 и при этом, при необходимости, компрессор расположен по ходу процесса после указанной секции (180) удаления CO_2 для рециркуляции указанного потока (17, 17', 17'') газа с низким содержанием CO_2 или его части на сторону подачи сырья установки (140) риформинга и/или на сторону подачи сырья секции конверсии, и/или на сторону подачи сырья установки (140) предварительного риформинга, и/или на сторону подачи сырья блока (125) очистки водорода.

8. Установка по любому из пп. 6 - 7, **отличающаяся тем**, что установка (110) риформинга представляет собой АТР с указанной одной установкой (140) предварительного риформинга, расположенной ранее по ходу процесса.

9. Установка (100) по любому из пп. 1 - 8, **отличающаяся тем**, что блок (125) очистки водорода выбран из установки короткоцикловой адсорбции (КЦА), водородной мембраны или установки криогенного разделения.

10. Установка по любому из пп. 1 - 9, **отличающаяся тем**, что установка выполнена с возможностью непосредственной рециркуляции указанного потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 или его части, по меньшей мере, на сторону подачи сырья установки (110) риформинга.

11. Способ получения водородного продукта (8) из углеводородного сырья (1, 2), при этом указанный способ включает следующие этапы:

предоставление установки (100) по любому из предшествующих пунктов;

подачу углеводородного сырья (2) в установку риформинга и преобразование его в поток синтез-газа (3);

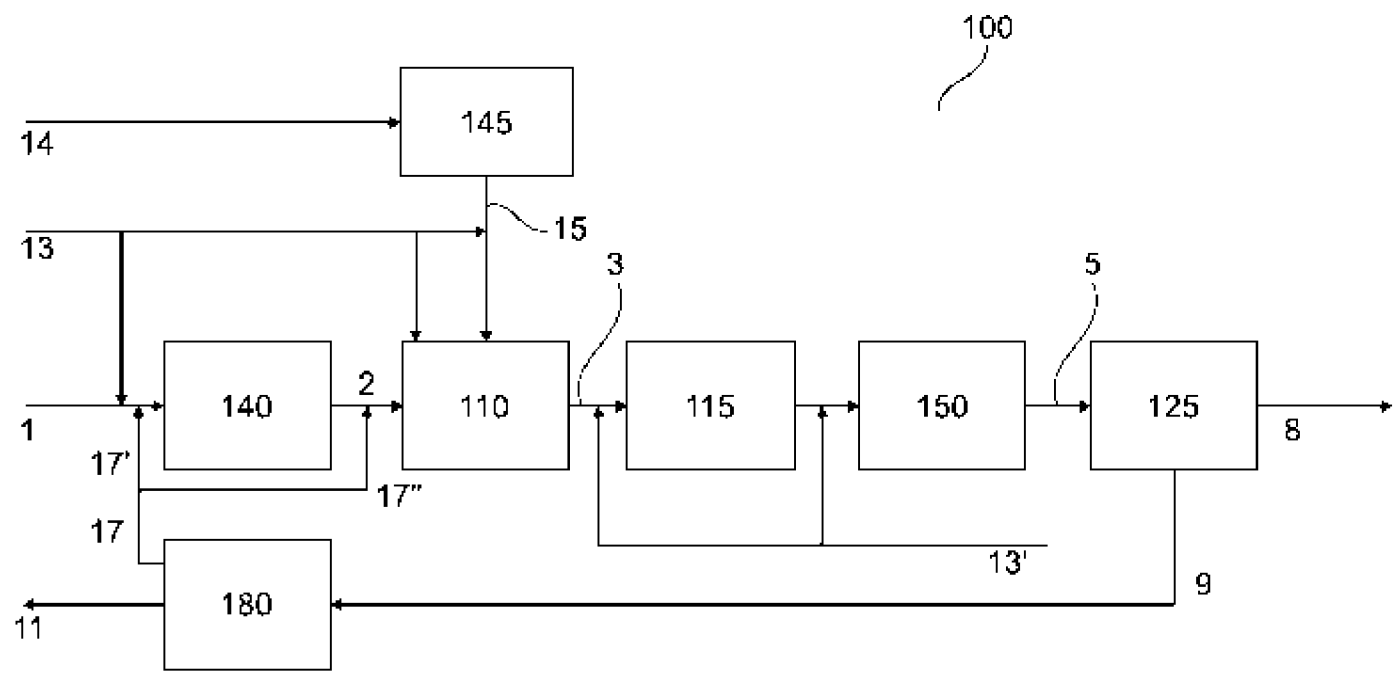
подачу потока синтез-газа (3) из установки (110) риформинга в секцию конверсии и его конверсию на этапе конверсии, предпочтительно на этапе (115) высоко- или среднетемпературной конверсии, что позволяет получить поток (5) прошедшего конверсию синтез-газа;

подачу потока (5) прошедшего конверсию газа из секции конверсии в блок (125) очистки водорода и разделение его на поток H_2 высокой чистоты в качестве указанного водородного продукта (8) и поток (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 ; и

при этом способ дополнительно включает:

- при необходимости, обеспечение этапа сжатия указанного потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 , т.е. этапа сжатия отходящих газов с высоким содержанием CO_2 ; и этап удаления CO_2 в секции (180) удаления CO_2 , который обеспечивает этап удаления CO_2 из сжатого таким образом, при необходимости, потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 в поток (11) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 в виде потока продукта CO_2 и потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 , при этом указанный необязательный этап сжатия указанного потока (9) отходящих газов с высоким содержанием CO_2 осуществляют перед указанной секцией (180) удаления CO_2 , и

- подачу указанного потока (17, 17', 17'') отходящих газов с низким содержанием CO_2 или его части, при необходимости, через дополнительный этап сжатия, на сторону подачи сырья установки (110) риформинга, и/или сторону подачи сырья секции конверсии, и/или сторону подачи сырья блока (125) очистки водорода, и/или сторону подачи сырья необязательной установки (140) предварительного риформинга, расположенной по ходу процесса перед упомянутой установкой (110) риформинга, и/или в качестве топлива для, по меньшей мере, одного пламенного нагревателя, выполненного с возможностью предварительного нагрева указанного углеводородного сырья (1, 2) перед его подачей в установку (110) риформинга.



Фиг. 1