

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) **044078**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.07.21

(51) Int. Cl. **B01D 53/04** (2006.01)
C01B 3/34 (2006.01)

(21) Номер заявки
202193333

(22) Дата подачи заявки
2020.05.07

(54) **ОЧИСТКА ВОДОРОДА**

(31) **РА 2019 00674**

(32) **2019.05.31**

(33) **DK**

(43) **2022.04.01**

(86) **PCT/EP2020/062731**

(87) **WO 2020/239384 2020.12.03**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ХАЛЬДОР ТОПСЕЭ А/С (DK)

(72) Изобретатель:
Мортенсен Петер Мельгаард (DK)

(74) Представитель:
Беляева Е.Н. (BY)

(56) **US-A1-2014186255**
WO-A1-2012155008
EP-A2-0411506
US-A1-2018036674
CA-A1-2643778
EP-A1-228177

(57) Изобретение относится к установке и способу очистки водорода, которые включают стадию короткоциклового адсорбции (КЦА) и рециркуляцию очищенных газообразных примесей.

044078
B1

044078
B1

044078
B1

Область техники

Изобретение относится к установке и способу очистки водорода, которые включают стадию короткоциклового адсорбции (КЦА) и рециркуляции очищенных газообразных примесей.

Уровень техники

Для производства водорода с использованием процесса парового риформинга необходим этап очистки. При паровом риформинге очистку осуществляют путем абсорбции при переменном давлении (АПД). Однако в ходе АПД также удерживается часть водорода, поэтому, как правило, с помощью этой технологии обеспечивается выход водорода 80-90%. Оставшийся водород теряется в отходящем газе низкого давления, который лучше всего использовать для обогрева на других этапах установки.

Желательно обеспечить большую эффективность технологии сепарации водорода, чем обеспечивается с использованием АПД, при этом такая технология могла бы помочь избежать конструкционной избыточности установок парового риформинга.

Краткое изложение сущности изобретения

Настоящим изобретением предоставляется установка получения газового потока с высоким содержанием H_2 из углеводородного сырья, при этом указанная установка включает:

секцию риформинга, выполненную с возможностью получения указанного углеводородного сырья и его риформинга в ходе, по меньшей мере, одного этапа риформинга, который осуществляют при первом давлении, с получением потока синтез-газа;

стадию удаления CO_2 , предусмотренную для получения потока синтез-газа из указанной секции риформинга и сепарации CO_2 от потока синтез-газа, с получением потока с высоким содержанием CO_2 и потока с низким содержанием CO_2 ;

стадию короткоциклового адсорбции (КЦА), при этом указанная стадия КЦА содержит адсорбционный материал и первый продувочный поток, давление которого равно или выше первого давления; и предусмотрена для поступления потока с низким содержанием CO_2 со стадии удаления CO_2 ;

при этом указанная стадия КЦА включает первое состояние (А) и второе состояние (В), причем:

в указанном первом состоянии (А), поток с низким содержанием CO_2 контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что:

по меньшей мере, часть газообразных примесей из указанного потока с низким содержанием CO_2 и

часть водорода из указанного потока с низким содержанием CO_2

адсорбируются на указанный адсорбционный материал, в результате чего получают поток с высоким содержанием H_2 ;

в указанном втором состоянии (В), первый продувочный поток контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что, по меньшей мере, часть адсорбированных газообразных примесей и, по меньшей мере, часть указанного адсорбированного водорода высвобождаются из указанного адсорбционного материала в первый продувочный поток; в результате чего получают первый рециркулируемый поток, содержащий указанный первый продувочный поток, водород и указанные газообразные примеси;

причем указанная установка выполнена с возможностью рециркуляции указанного первого рециркулируемого потока в секцию риформинга в качестве исходного потока для этапа риформинга.

Настоящим изобретением также предоставляется способ получения газового потока с высоким содержанием H_2 из углеводородного сырья. Данный способ включает общие этапы:

i) предоставления установки в соответствии с описанием в настоящем документе;

ii) подачи углеводородного сырья в секцию риформинга и риформинг углеводородного сырья в ходе, по меньшей мере, одного этапа риформинга, который осуществляют при первом давлении, с получением потока синтез-газа;

iii) подачи потока синтез-газа из указанной секции риформинга на стадию удаления CO_2 и сепарации CO_2 от потока синтез-газа, с получением потока с высоким содержанием CO_2 и потока с низким содержанием CO_2 ;

iv) подачи потока с низким содержанием CO_2 со стадии удаления CO_2 на стадию короткоциклового адсорбции (КЦА), которая содержит адсорбционный материал и первый продувочный поток, давление которого равно или выше первого давления; при этом указанная стадия КЦА включает первое состояние (А) и второе состояние (В), причем:

в указанном первом состоянии, поток с низким содержанием CO_2 контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что:

по меньшей мере, часть газообразных примесей из указанного потока с низким содержанием CO_2 и

часть водорода из указанного потока с низким содержанием CO_2

адсорбируются на указанный адсорбционный материал, в результате чего получают поток с высоким содержанием H_2 ;

в указанном втором состоянии, первый продувочный поток контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что, по меньшей мере, часть адсорбированных газообразных примесей и, по меньшей мере, часть указанного адсорбированного водорода высвобождаются из указанного адсорбционного материала в первый продувочный поток; в результате чего получают первый рециркулируемый поток, содержащий указанный первый продувочный поток, водород и указанные газообразные примеси;

и

v) рециркуляции указанного первого рециркулируемого потока в секцию риформинга в качестве исходного потока для этапа риформинга.

Подробное описание изобретения приведено ниже в разделах "Подробное описание изобретения", "Чертежи" и "Формула изобретения".

Описание чертежей

На фигуре приведено схематичное изображение установки для получения водорода в соответствии с настоящим изобретением.

Подробное описание изобретения

Когда секция, блок или стадия "выполнены с возможностью получения" определенного газа из другой секции, блока или стадии, как правило, такой газ поступает непосредственно в такую секцию, блок или на такую стадию. Тем не менее, при определенных обстоятельствах может присутствовать промежуточная секция, блок или стадия, через которые может проходить определенный газ.

Частные варианты осуществления изобретения.

Ниже по тексту аббревиатура об.% означает объемный процент газа.

Настоящим изобретением предоставляется установка получения водорода, т.е. установка для получения газового потока с высоким содержанием H_2 из углеводородного сырья. Термин "с высоким содержанием H_2 " означает, что содержание H_2 составляет приблизительно 95 об.% или более.

Углеводородное сырье, как правило, выбрано из природного газа, городского газа, нефти или биогаза, предпочтительно углеводородное сырье представляет собой природный газ. Углеводородное сырье характеризуется тем, что более половины (т.е. более 50%) углеводородного сырья составляют углеводороды, например, метан, этан, пропан, бутан, и другие подобные углеводороды. Кроме того, помимо прочего, могут присутствовать азот, аргон и диоксид углерода. Обратите внимание, что внутри секции риформинга углеводородное сырье будет смешиваться с потоками, содержащими водород, пар, диоксид углерода и/или кислород, для способствования реакции риформинга.

В целом, установка включает:

- секцию риформинга;
- стадию удаления CO_2 ; и
- стадию короткоциклового адсорбции (КЦА).

Секция риформинга выполнена с возможностью поступления указанного углеводородного сырья и его риформинга в ходе, по меньшей мере, одного этапа риформинга с получением потока синтез-газа. Риформинг углеводородов с получением синтез-газа является известным процессом, и нет необходимости приводить его подробное описание.

Обычно, как показано на фигуре, секция риформинга включает один или более блоков первичного риформинга и, при необходимости, один или более блоков предварительного риформинга, в которые подают углеводородное сырье по ходу процесса перед указанными блоками риформинга. Если блоки предварительного риформинга отсутствуют, углеводородное сырье поступает в установку первичного риформинга. Если блоки предварительного риформинга присутствуют, углеводородное сырье поступает в блоки предварительного риформинга. Один или более блоков первичного риформинга могут быть выбраны из автотермического реактора (АТР), реактора парового риформинга метана (ПРМ), реактора конвекционного риформинга и/или реактора риформинга по технологии каталитического окисления (СА-ТОХ).

Стадия удаления CO_2 предназначена для подачи потока синтез-газа из указанной секции риформинга и сепарации CO_2 от потока синтез-газа, с получением потока с высоким содержанием CO_2 и потока с низким содержанием CO_2 . Содержание CO_2 в потоке с низким содержанием CO_2 как правило, будет менее 2%, в то время как поток с высоким содержанием CO_2 может содержать более 90% CO_2 . Под стадией удаления CO_2 подразумевается блок, в котором осуществляют такой процесс для удаления CO_2 из технологического газа, например, химическую абсорбцию. При химической абсорбции газ, содержащий CO_2 , проходит над растворителем, который вступает в реакцию с CO_2 и таким образом связывает его. Большинство химических растворителей представляют собой амины, классифицируемые как первичные амины, например, моноэтаноламин (МЕА) и дигликольамин (DGA), вторичные амины, такие как диэтаноламин (DEA) и диизопропаноламин (DIPA), или третичные амины, такие как триэтаноламин (TEA) и метилдиэтилоламин (MDEA), но также могут быть использованы аммиак и жидкие карбонаты щелочных металлов, такие как K_2CO_3 и $NaCO_3$.

Стадия короткоциклового адсорбции (КЦА) содержит адсорбционный материал и первый продувочный поток. Адсорбционный материал может быть выбран из цеолита, активированного угля, металлоорганической каркасной структуры, или их смесей. Как правило, адсорбционный материал находится на стадии КЦА в виде адсорбционного слоя. Под стадией короткоциклового адсорбции подразумевается установка для адсорбции определенных соединений. В таком типе установки устанавливается динамическое равновесие между адсорбцией и десорбцией молекул газа на адсорбционном материале. Адсорбция молекул газа может быть вызвана стерическими, кинетическими или равновесными эффектами. Точный механизм будет зависеть от свойств используемого адсорбента, а равновесное насыщение будет зависеть

от температуры и давления. Как правило, адсорбирующий материал подвергают обработке в газовой смеси до почти полного насыщения наиболее тяжелыми соединениями, что потребует регенерации впоследствии. Регенерация может выполняться путем изменения давления или температуры или путем продувки другим потоком. На практике это означает, что используют процесс, по меньшей мере, с двумя блоками. Вначале в одном блоке осуществляют насыщение адсорбента при высоком давлении или низкой температуре, а затем происходит смена блока, и осуществляют десорбцию адсорбированных молекул путем уменьшения давления или увеличения температуры, или продувки другим потоком.

Стадия КЦА предназначена для подачи потока с низким содержанием CO_2 с указанной стадии удаления CO_2 . Стадия КЦА включает первое состояние (А) и второе состояние (В), при этом происходит чередование первого (А) и второго (В) состояний. Смена состояний может включать открытие или закрытие каналов, через которые потоки подают на стадию КЦА. В одном аспекте смена состояний включает изменение температуры стадии КЦА, то есть стадия КЦА представляет собой стадию адсорбции при переменной температуре (АПТ). В этом аспекте, следовательно, температура стадии КЦА во втором состоянии (В) выше, чем в указанном первом состоянии (А).

Соответственно, стадия КЦА выполнена с возможностью чередования первого (А) и второго (В) состояний. Для повышения эффективности и уменьшения вариаций производительности на стадии КЦА может происходить несколько параллельных реакций адсорбции, находящихся на разных стадиях (А, В) в определенный момент времени.

В первом состоянии (А), поток с низким содержанием CO_2 контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что:

по меньшей мере, часть газообразных примесей (предпочтительно все газообразные примеси) из указанного потока с низким содержанием CO_2 и

часть водорода из указанного потока с низким содержанием CO_2 адсорбируются на указанный адсорбционный материал. Поскольку адсорбируется только часть водорода из потока с низким содержанием CO_2 , неадсорбированное количество H_2 остается на стадии КЦА, в результате чего получают поток с высоким содержанием H_2 .

Газообразными примесями, как правило, является один или более из следующих газов: CO_2 , CO , Ar , H_2O , N_2 и CH_4 .

Второе состояние (В) представляет собой состояние продувки, при котором примеси на адсорбционном материале будут удалены продувкой. В указанном втором состоянии (В) стадии КЦА, первый продувочный поток контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что, по меньшей мере, часть адсорбированных газообразных примесей (предпочтительно все газообразные примеси) и, по меньшей мере, часть указанного адсорбированного водорода (предпочтительно весь водород) высвобождаются из указанного адсорбционного материала в первый продувочный поток. Таким образом, получают первый рециркулируемый поток, который содержит первый продувочный поток, водород и указанные газообразные примеси в смеси. Как показано на фигуре, установка выполнена с возможностью подачи первого рециркулируемого потока в секцию риформинга. Установка может быть выполнена с возможностью подачи первого рециркулируемого потока по ходу процесса перед одним или более блоками предварительного риформинга, при их наличии.

Стадия КЦА может содержать второй продувочный поток и третье состояние (С). В указанном третьем состоянии, второй продувочный поток предназначен для продувки путем контактирования с адсорбционным материалом после продувки первым рециркулируемым продувочным потоком таким образом, что, по меньшей мере, часть газообразных примесей высвобождается из указанного адсорбционного материала; в результате чего получают второй рециркулируемый поток, который рециркулируется по ходу процесса перед этапом риформинга указанной секции риформинга. Таким образом, осуществляют продувку адсорбционного материала предпочтительной газовой фазой перед возвратом в состояние А, следовательно, предотвращается загрязнение потока с высоким содержанием H_2 первым продувочным потоком, используемым в состоянии В. Второй продувочный поток может предпочтительно представлять собой водород. В частном варианте осуществления давление второго продувочного потока равно или выше первого давления.

В одном предпочтительном аспекте первый продувочный поток представляет собой поток перегретого пара. Пар является особенно предпочтительным продувочным потоком, поскольку он требуется в качестве совместно подаваемого углеводородного сырья в секцию риформинга и, следовательно, поток, в котором объединены первый продувочный поток и водород и газообразные примеси, может рециркулироваться в секцию риформинга. Как показано на фигуре, в рециркулируемый поток может быть добавлено дополнительное количество пара, чтобы точно обеспечить необходимое количество пара, добавляемого в секцию риформинга. Еще одним преимуществом использования пара является простота его удаления впоследствии из потока с высоким содержанием H_2 путем конденсации. Поток перегретого пара может обеспечивать, по меньшей мере, частичное повышение температуры на стадии КЦА при переходе от первого состояния (А) во второе состояние (В). Перегретый пар может быть получен в других установках на предприятии, например, в других блоках, например, в котле-утилизаторе избыточного тепла и/или в пароперегревателе в топочных нагревателях/ в секции отходящего тепла.

В альтернативном аспекте первый продувочный поток представляет собой фракцию углеводородного сырья в виде природного газа. В результате этого поток, в котором объединены первый продувочный поток и водород и газообразные примеси, может рециркулироваться в секцию риформинга.

В еще одном аспекте первый и/или второй продувочные потоки представляют собой поток(и) водорода. Таким образом, предотвращается загрязнение потока с высоким содержанием H_2 первым продувочным потоком, используемым в состоянии В.

В предпочтительной конфигурации пар используют в качестве первого продувочного потока, без второго продувочного потока. В альтернативной предпочтительной конфигурации в качестве первого продувочного потока используют природный газ, а в качестве второго продувочного потока - водород.

Установка может дополнительно содержать секцию сдвига, в которую подают указанный поток синтез-газа, между указанной секцией риформинга и указанной стадией удаления CO_2 . Секция сдвига предназначена для регулирования содержания компонентов в потоке синтез-газа; в частности, отношения H/CO , в зависимости от целевого результата и/или типа углеводородного сырья.

Обратите внимание, что для повышения эффективности процесса могут применяться соответствующие теплообменники/этапы регулирования температуры и этапы удаления воды. Подробная информация не приводится, поскольку специалист в области химических процессов сможет легко адаптировать такие устройства для процесса.

Настоящим изобретением также предоставляется способ получения газового потока с высоким содержанием H_2 из углеводородного сырья. Данный способ включает общие этапы:

- i) предоставления установки в соответствии с описанием в настоящем документе;
- ii) подачи углеводородного сырья в секцию риформинга и риформинг углеводородного сырья в ходе, по меньшей мере, одного этапа риформинга, который осуществляют при первом давлении, с получением потока синтез-газа;
- iii) подачи потока синтез-газа из указанной секции риформинга на стадию удаления CO_2 и сепарации CO_2 от потока синтез-газа, с получением потока с высоким содержанием CO_2 и потока с низким содержанием CO_2 ;
- iv) подачи потока с низким содержанием CO_2 со стадии удаления CO_2 на стадию короткоциклового адсорбции (КЦА), которая содержит адсорбционный материал и первый продувочный поток, давление которого равно или выше первого давления; при этом указанная стадия КЦА включает первое состояние (А) и второе состояние (В), причем:

в указанном первом состоянии, поток с низким содержанием CO_2 контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что:

по меньшей мере, часть газообразных примесей из указанного потока с низким содержанием CO_2 и часть водорода из указанного потока с низким содержанием CO_2

адсорбируются на указанный адсорбционный материал, в результате чего получают поток с высоким содержанием H_2 ;

в указанном втором состоянии, первый продувочный поток контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что, по меньшей мере, часть адсорбированных газообразных примесей и, по меньшей мере, часть указанного адсорбированного водорода высвобождаются из указанного адсорбционного материала в первый продувочный поток; в результате чего получают первый рециркулируемый поток, содержащий указанный первый продувочный поток, водород и указанные газообразные примеси;

и

v) рециркуляции указанного первого рециркулируемого потока в секцию риформинга в качестве исходного потока для этапа риформинга.

Соответственно, в указанном способе стадия КЦА первоначально находится в первом состоянии (А), а затем происходит чередование первого (А) и второго (В) состояний. Как указано выше, предпочтительно, чтобы температура стадии КЦА во втором состоянии (В) была выше, чем в указанном первом состоянии (А).

Все подробности, приведенные выше в отношении установки, также относятся к описанному в настоящем документе способу, с учётом внесения необходимых изменений в толкование.

Настоящее изобретение основано на признании того, что можно рециркулировать часть водорода, полученного на стадии короткоциклового адсорбции, и использовать его в качестве сырья на стадии риформинга с целью увеличения общего выхода водорода в установке. Помимо этого, настоящее изобретение основано на признании того, что можно получить первый продувочный поток на стадии короткоциклового адсорбции с давлением, равным или выше давления реакции риформинга, следовательно, рециркуляция потока с высоким содержанием водорода со стадии короткоциклового адсорбции на этап риформинга может осуществляться без необходимости использования компрессора.

В частности, первый продувочный поток может представлять собой фракцию углеводородного сырья, которое предназначено для подачи на этап риформинга, или часть перегретого пара, который предназначен для подачи на этап риформинга, и оба упомянутых потока могут быть получены с давлением, равным или выше давления этапа риформинга. Кроме того, первый продувочный поток может представлять собой поток водорода, который может, например, представлять собой поток высокого давления,

полученный в ходе отдельного процесса, или часть первого потока с высоким содержанием водорода, рециркулируемого со стадии КЦА, который получен при давлении, равном или выше давления этапа риформинга, или при давлении немного ниже, чем давление этапа риформинга, в этом случае требуется незначительная компрессия.

С помощью технологии по настоящему изобретению можно получить высокий выход H_2 , превышающий выход при использовании АПД на 85% и, возможно, на 95%. Таким образом, технология по настоящему изобретению обеспечивает более эффективный способ производства водорода. На основе общей схемы установки эта технология позволит построить больше установок контактного риформинга, поскольку повышенный выход означает, что для получения заданного количества H_2 нужно переработать меньше газа. Это также означает, что технология обеспечивает более низкое потребление природного газа и меньшие выбросы CO_2 по сравнению с современными стандартами.

Может быть достигнут более высокий выход H_2 по сравнению с использованием стадии адсорбции с переменным давлением. Это позволит строить более компактные установки парового риформинга, поскольку перепроизводство не будет проблемой.

Пример 1.

В табл. 1 приведена сводная информация по примерам в соответствии с изобретением. Определенное количество углеводородного сырья (101) подвергают риформингу в секции (200) риформинга с получением потока (201) синтез-газа. CO_2 удаляют из этого потока на стадии (300) удаления CO_2 с получением потока (304) с низким содержанием CO_2 и потока (303) с высоким содержанием CO_2 . Затем на стадии (400) КЦА осуществляют сепарацию потока (304) с низким содержанием CO_2 , с получением потока (409) с высоким содержанием H_2 . На стадии КЦА осуществляют продувку водяным паром (405), и 50% этого потока возвращают обратно в риформер, а вторую половину конденсируют в отходящий газ. Кроме того, в секцию риформинга добавляют водяной пар и немного водорода для способствования предварительному риформингу, а также для способствования риформингу в этой секции. Обратите внимание, что весь исходный поток, поступающий в риформер, представляет собой смесь углеводородного сырья (101), пара и водорода после предварительного риформинга.

Таблица 1

	Углеводородное сырье (101)	Общий исходный поток, поступающий в риформер	Продукт риформинга	Синтез-газ, поступающий на стадию удаления CO_2	Синтетический газ в КЦА (304)	Поток (409) с высоким содержанием H_2	Первый рециркулируемый поток (408)	Отходящий газ
Температура [°C]	40	650	920	40	40	45	410	30
Давление [бар и.д.]	29,0	26,0	24,5	23,4	23,4	22,7	29	0,7
Расход [н.м ³ /ч]	12784	52318	75775	66195	57143	37830	39752	9657
Состав [моль%]								
Диоксид углерода	0,1	4,3	3,9	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Азот	1,0	0,4	0,3	0,3	0,4	0,1	0,2	0,9
Метан	96,6	28,6	4,2	4,8	5,6	0,0	4,0	16,6
Этан	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Пропан	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
н-бутан	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Изобутан	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
н-гексан	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Водород	0,0	12,8	56,2	73,2	84,8	99,9	13,4	55,2
Моноксид углерода	0,0	0,2	14,7	8,0	9,2	0,0	6,6	27,3
Вода	0,0	53,7	20,7	0,3	0,0	0,0	75,7	0,0

Пример 2.

В табл. 2 приведена сводная информация по сравнительному примеру, в котором первый рециркулируемый поток 408 из блока КЦА не возвращается в секцию риформинга. Аналогично примеру 1, определенное количество углеводородного сырья (101) подвергают риформингу в секции (200) риформинга с получением потока (201) синтез-газа. CO_2 удаляют из этого потока на стадии (300) удаления CO_2 с получением потока (304) с низким содержанием CO_2 . Затем на стадии (400) КЦА осуществляют сепарацию с получением потока (409) с высоким содержанием H_2 . КЦА в этом случае представляет собой обычную стадию АПД, где отходящий газ получают напрямую. Кроме того, в секцию риформинга добавляют водяной пар и немного водорода для способствования предварительному риформингу, а также для способствования риформингу в этой секции. Обратите внимание, что весь исходный поток, поступающий в риформер, представляет собой смесь углеводородного сырья (101), пара и водорода после предварительного риформинга.

Таблица 2

	Углеводородное сырье (101)	Общий исходный поток, поступающий в риформер	Продукт риформинга	Синтез-газ, поступающий на стадию удаления CO ₂	Синтез-газ в КЦА (304)	Поток (409) с высоким содержанием N ₂	Охлаждающий газ
Температура [°C]	40,0	650,0	920,0	40,0	40,0	45,0	30,0
Давление [бар и.д.]	29,0	26,0	24,5	23,4	23,4	22,7	0,7
Расход [н.м ³ /ч]	12784	44442	65501	54494	46560	32103	14458
Состав [моль%]							
Диоксид углерода	0,1	1,5	4,2	14,2	0,0	0,0	0,0
Азот	1,0	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,6
Метан	96,6	28,0	2,9	3,5	4,1	0,0	13,2
Этан	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Пропан	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
н-бутан	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Изобутан	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
н-гексан	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Водород	0,0	5,4	55,1	75,5	88,3	99,9	62,6
Моноксид углерода	0,0	0,0	12,9	6,3	7,3	0,0	23,6
Вода	0,0	64,8	24,7	0,3	0,0	0,0	0,0

Видно, что при использовании способа по изобретению, который описывается в примере 1, расход потока (409) с высоким содержанием N₂ увеличивается с 32103 н.м³/ч (базовый пример 2) до 39752 н.м³/ч (пример 1). Таким образом, при применении способа по изобретению выход водорода из определенного количества углеводородного сырья (101) увеличивается на 24%. Путем увеличения степени использования продувочного потока (405) (с 50%) в соответствии с примером 1 выход может увеличен еще больше. Использование 70% продувочного потока приведет к увеличению выхода потока с высоким содержанием N₂ (409) на 29%.

Прочие позиции на фигуре:

секция 90 предварительного нагрева;

газообразные продукты горения 220;

блок 80 гидродесульфуризации (ГДС) и адсорбции серы;

теплообменное устройство/котел-утилизатор избыточного тепла 209;

поток 201' синтез-газа, прошедший этап реакции сдвига;

секция 500 реакции сдвига.

Несмотря на то, что настоящее изобретение описано со ссылкой на несколько аспектов, примеров и вариантов осуществления, специалист может комбинировать указанные аспекты, примеры и варианты осуществления, не выходя за пределы объема изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка (100) для получения газового потока (409) с высоким содержанием N₂ из углеводородного сырья (101), при этом указанная установка (100) включает:

секцию (200) риформинга, выполненную с возможностью приема указанного углеводородного сырья (101) и его риформинга в ходе, по меньшей мере, одного этапа риформинга, который осуществляют при первом давлении, с получением потока (201) синтез-газа;

секцию (300) удаления CO₂, предусмотренную для приема потока (201) синтез-газа из указанной секции (200) риформинга и сепарации CO₂ от потока (201) синтез-газа, с получением потока (303) с высоким содержанием CO₂ и потока (304) с низким содержанием CO₂;

секцию (400) короткоциклового адсорбции (КЦА), при этом указанная секция (400) КЦА содержит адсорбционный материал и первый продувочный поток (405), давление которого равно или выше первого давления; и предусмотрена для поступления потока (304) с низким содержанием CO₂ со стадии (300) удаления CO₂;

причем указанная секция (400) КЦА выполнена с возможностью функционирования в первом режиме (А) и втором режиме (В), причем:

в указанном первом режиме (А) поток (304) с низким содержанием CO₂ контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что по меньшей мере, часть газообразных примесей из указанного потока (304) с низким содержанием CO₂ и часть водорода из указанного потока (304) с низким содержанием CO₂ адсорбируются на указанный адсорбционный материал, в результате чего получают поток (409) с высоким содержанием N₂;

в указанном втором режиме (В) первый продувочный поток (405) контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что, по меньшей мере, часть адсорбированных газообразных примесей и, по

меньшей мере, часть указанного адсорбированного водорода высвобождаются из указанного адсорбционного материала в первый продувочный поток (405); в результате чего получают первый рециркулируемый поток (408), содержащий указанный первый продувочный поток (405), водород и указанные газообразные примеси;

причем указанная установка (100) выполнена с возможностью рециркуляции указанного первого рециркулируемого потока (408) в секцию (200) риформинга в качестве исходного потока для этапа риформинга.

2. Установка (100) по п.1, отличающаяся тем, что секция (400) КЦА выполнена с возможностью чередования первого (А) и второго (В) режимов.

3. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что температура в секции КЦА во втором режиме (В) выше, чем в указанном первом режиме (А).

4. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что в секции (400) КЦА происходит несколько параллельных реакций адсорбции, находящихся на разных стадиях (А, В) в определенный момент времени.

5. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что секция (400) КЦА включает второй продувочный поток (406) и включает третий режим (С), при котором второй продувочный поток (406) предназначен для продувки адсорбционного материала после продувки первым рециркулируемым продувочным потоком (405) таким образом, что, по меньшей мере, часть газообразных примесей высвобождается из указанного адсорбционного материала; в результате чего получают второй рециркулируемый поток, который рециркулируется по ходу процесса перед этапом риформинга указанной секции (200) риформинга.

6. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что адсорбционный материал (301) выбран из цеолита, активированного угля или металлоорганической каркасной структуры, или их смесей.

7. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первый продувочный поток (405) представляет собой поток перегретого пара.

8. Установка (100) по п.7, отличающаяся тем, что поток перегретого пара предназначен для обеспечения, по меньшей мере, частичного повышения температуры в секции (400) КЦА при переходе от первого режима во второй режим.

9. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первый продувочный поток (405) представляет собой фракцию углеводородного сырья в виде природного газа.

10. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первый и/или второй продувочные потоки (405, 406) представляют собой поток(и) водорода.

11. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что указанная секция (200) риформинга включает один или более блоков (220) первичного риформинга и, при необходимости, один или более блоков (221) предварительного риформинга, в которые подают углеводородное сырье (101) по ходу процесса перед указанным(и) блоком(ами) (220) риформинга, и причем указанная установка (100) предназначена для подачи указанного первого рециркулируемого потока (408) по ходу процесса перед одним или более блоками (221) предварительного риформинга.

12. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что один или более блоков (220) первичного риформинга выбраны из автотермического реактора (АТР), реактора парового риформинга метана (ПРМ), реактора конвекционного риформинга и/или реактора риформинга по технологии каталитического окисления (САТОХ).

13. Установка (100) по любому из предшествующих пунктов, дополнительно включающая секцию (500) сдвига, в которую подают указанный поток (201) синтез-газа, между указанной секцией (200) риформинга и указанной секцией (300) удаления CO_2 .

14. Способ получения газового потока (405) с высоким содержанием H_2 из углеводородного сырья (101) в установке (100) по любому из предшествующих пунктов, при этом указанный способ включает:

i) подачу углеводородного сырья (101) в секцию (200) риформинга и риформинг углеводородного сырья в ходе, по меньшей мере, одного этапа риформинга, который осуществляют при первом давлении, с получением потока (201) синтез-газа;

ii) подачу потока (201) синтез-газа из указанной секции (200) риформинга в секцию (300) удаления CO_2 и сепарацию CO_2 от потока (201) синтез-газа, с получением потока (303) с высоким содержанием CO_2 и потока (304) с низким содержанием CO_2 ;

iii) подачу потока (304) с низким содержанием CO_2 с секции (300) удаления CO_2 в секцию (400) короткоциклового адсорбции (КЦА), содержащую адсорбционный материал и первый продувочный поток (405), давление которого равно или выше первого давления, причем указанная секция (400) КЦА выполнена с возможностью функционирования в первом режиме (А) и втором режиме (В), причем:

в указанном первом режиме поток (304) с низким содержанием CO_2 контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что, по меньшей мере, часть газообразных примесей из указанного потока (304) с низким содержанием CO_2 и часть водорода из указанного потока (304) с низким содержанием CO_2 адсорбируются на указанный адсорбционный материал, в результате чего получают поток (409) с высо-

ким содержанием H_2 ;

в указанном втором режиме первый продувочный поток (405) контактирует с адсорбционным материалом таким образом, что, по меньшей мере, часть адсорбированных газообразных примесей и, по меньшей мере, часть указанного адсорбированного водорода высвобождаются из указанного адсорбционного материала в первый продувочный поток (405); в результате чего получают первый рециркулируемый поток (408), содержащий указанный первый продувочный поток (405), водород и указанные газообразные примеси; и

iv) рециркуляцию указанного первого рециркулируемого потока в секцию (200) риформинга в качестве исходного потока для этапа риформинга.

15. Способ по п.14, отличающийся тем, что секция (400) КЦА первоначально находится в первом режиме (А), а затем происходит чередование первого (А) и второго (В) режимов.

16. Способ по любому из пп.14, 15, отличающийся тем, что температура в секции КЦА во втором режиме (В) выше, чем в указанном первом режиме (А).

