

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202392986** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.03.15

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

(22) Дата подачи заявки
2022.05.23

(54) СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕЗ-ГАЗА И ОБРАЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНДЕНСАТА

(31) **РА202100545**

(72) Изобретатель:

(32) **2021.05.25**

Даль Пер Юуль (DK)

(33) **DK**

(74) Представитель:

(86) **РСТ/ЕР2022/063905**

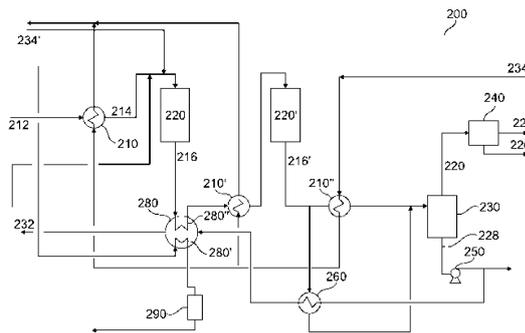
Беляева Е.Н. (BY)

(87) **WO 2022/248406 2022.12.01**

(71) Заявитель:

ТОПСЕЭ А/С (DK)

(57) Способ и установка для производства синтез-газа путем каталитического парового риформинга углеводородного сырья в установке парового риформинга, дополнительно содержащая первую и вторую установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода, причем воду удаляют из синтез-газа в виде технологического конденсата, причем питательную воду котла вводят в процесс, и указанный процесс или установка производит по меньшей мере два отдельных потока пара: чистый пар, который образуется по меньшей мере из части указанной питательной воды котла путем охлаждения синтез-газа, и технологический пар, который образуется путем испарения по меньшей мере части технологического конденсата в котле технологического конденсата (котле ТК) с использованием синтез-газа, при необходимости, вместе с чистым паром и/или отработанным газом из установки парового риформинга. Технологический пар и чистый пар, за исключением пара из котла ТК, добавляют в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, а также при необходимости во вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода.



202392986
A1

202392986
A1

Способ и установка для производств синтез-газа и образования технологического конденсата

Настоящее изобретение относится к способу и установке для производства синтез-газа и/или водородного продукта при производстве технологического пара, происходящего из технологического конденсата, который образуется во время способа и может потребляться внутри способа или установки, а также чистого пара, который используется в качестве отводимого пара и образуется из питательной воды котла путем охлаждения синтез-газа. Способ/установка включает установку парового риформинга и первую и вторую установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода, а технологический пар и чистый пар добавляют в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, а также, при необходимости, во вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Технологический пар и чистый пар соответствующим образом смешивают и добавляют к первому сдвигу для регулирования мольного соотношения пар/сухой газ для газа, поступающего в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода.

В способах и установках для производства синтез-газа (синтетического газа), т.е. газа с высоким содержанием водорода и окиси углерода, синтез-газ может далее использоваться для производства ценных промежуточных или конечных продуктов, например, водорода. Синтез-газ обычно получают путем так называемого каталитического парового риформинга метана и/или автотермического риформинга. В результате парового риформинга метана синтез-газ (синтетический газ) содержит воду, которую обычно необходимо удалить. Удаление воды, как правило, выполняют в сепараторе с образованием потока технологического конденсата (ТК) и обедненного водой потока синтез-газа. Также в рамках способа питательную воду котла (ПВК) используют для косвенного охлаждения получаемого синтез-газа с помощью так называемых установок предварительного нагрева с использованием ПВК.

Таким образом, ПВК преобразуют в насыщенный пар, также называемый чистым паром. Этот чистый пар обычно не содержит примесей, то есть загрязнений, образующихся в ходе процесса, таких как диоксид углерода, метанол,

аммиак и уксусная кислота, и поэтому этот чистый пар может использоваться в качестве отводимого пара, поскольку клиенты обычно требуют, чтобы пар был высокого качества. С другой стороны, подобные примеси, хотя и в небольших количествах, но все же присутствуют в технологическом конденсате, в связи с чем образующийся из этого потока пар не пригоден для использования в качестве отводимого.

Обычно технологический конденсат отгоняют паром в колонне отгонки ТК. Отпарной технологический конденсат смешивают с ПВК и используют для производства и отводимого пара. Отпарной технологический конденсат по-прежнему содержит небольшое количество примесей, которые могут помешать производству чистого пара.

В US 2005/0288381 A1 раскрыт способ рециркуляции конденсата технологического потока из системы парового риформинга. Технологический пар вырабатывается в котле ТК путем теплообмена с частью чистого пара, вырабатываемого в отдельной системе производства пара. Затем технологический пар и другая часть чистого пара объединяются и используются для формирования потока углеводородов/пара, который используют в качестве сырья для парового риформинга.

В EP 3235785 A1 раскрыт способ, в рамках которого технологический конденсат испаряется с образованием технологического пара за счет использования части образующегося чистого пара. Для производства чистого пара используют синтез-газ и отработанный газ процесса парового риформинга.

EP 3235784 A1 сходен с EP 3235785 A1 и раскрывает способ, в рамках которого технологический пар образуется путем испарения технологического конденсата с использованием чистого пара в качестве теплообменной среды.

В GB 2006814 A раскрыт способ, в котором технологический пар образуется за счет прохождения технологического конденсата в циркуляционный нагреватель с использованием чистого пара в качестве теплообменной среды.

В US 9556026 раскрыт способ, в рамках которого технологический пар образуется путем теплообмена с синтез-газом водного конденсата в последовательно расположенных теплообменниках и последующей подачи предварительно нагретого таким образом водяного конденсата в паровой барабан

для получения технологического пара с использованием в качестве теплообменной среды отработанного газа из установки парового риформинга метана.

В US 10919761 раскрыт способ, в рамках которого синтез-газ парового риформинга (сырой синтез-газ) на стадии многоступенчатой конверсии водяного газа преобразуют газовую смесь с высоким содержанием водорода. Свежий пар добавляют к сырому синтез-газу в качестве компонента для реакции конверсии водяного газа, а при охлаждении прошедшего конверсию синтез-газа образуется водный конденсат.

В заявке заявителя WO 201818162576 раскрыт способ, в рамках которого технологический конденсат отпаривается потоком отпарного пара, который затем рециркулируется в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода.

EP 3138810 A1 сходна с вышеуказанной заявкой US 95566026 B1. Обе описывают способы производства синтез-газа путем каталитического парового риформинга в установке парового риформинга метана (ПРМ). Согласно любому из этих источников, существует два разных паропровода: технологический паропровод от технологического конденсата, который охлаждают через несколько теплообменников синтез-газом (синтетическим газом) из установки конверсии, находящейся в потоке после ПРМ, и там, где технологический пар заканчивается в технологическом паровом барабане; отдельный паропровод «чистого» пара образуется из питательной воды котла (ПВК) при ее прохождении через несколько теплообменников, в том числе за счет охлаждения синтез-газа из установки конверсии, и где «чистый» пар попадает в отдельный паровой барабан «чистого» пара. Объединенный пар из барабана технологического пара и барабана чистого пара смешивают с углеводородным сырьем при поступлении в ПРМ. Эти источники, по-видимому, исключают использование колонны отгонки технологического конденсата (колонна отгонки ТК). В этих источниках не затрагивается проблема примесей, таких как метанол, в технологическом паре, и, кроме того, в них, по меньшей мере, ничего не говорится о наличии общего котла ТК для охлаждения синтез-газа из установки конверсии и испарения ПВК, а также о добавлении технологического пара и чистого пара в установку конверсии. В этих источниках отсутствует какая-либо информация относительно наличия таких

возможностей, тем более что при работе с ПРМ нет необходимости добавлять пар далее в ходе потока.

Целью настоящего изобретения является предотвращение загрязнения чистого пара, используемого для отвода пара, полученного из питательной воды котла, примесями из потока технологического конденсата, образующимися во время процесса.

Другая цель настоящего изобретения состоит в том, чтобы обеспечить достаточное количество пара для конверсии водяного газа, в то же время сохраняя систему, транспортирующую вырабатываемый из ПВК чистый пар, отделенной от системы, транспортирующей технологический конденсат, в частности испаренный технологический конденсат, поскольку технологический конденсат содержит примеси, такие как метанол, которые нежелательны на некоторых установках, куда подается чистый пар.

Еще одной целью настоящего изобретения является возможность оптимально контролировать или регулировать молярное соотношение пар/сухой газ в газе, поступающем в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, т.е. в синтез-газе, поступающем в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода.

Эти и другие задачи решаются настоящим изобретением.

Соответственно, в первом аспекте изобретение представляет собой способ производства синтез-газа путем каталитического парового риформинга углеводородного сырья в установке парового риформинга, при этом указанная установка риформинга, при необходимости, генерирует отработанный газ, причем воду удаляют из синтез-газа в виде технологического конденсата, причем в процесс вводят питательную воду котла, и причем указанный процесс производит, по меньшей мере, два отдельных потока пара: i) поток чистого пара, который образуется, по меньшей мере, из части указанной питательной воды котла (ПВК) путем охлаждения синтез-газа, и ii) поток технологического пара, который образуется путем испарения, по меньшей мере, части технологического конденсата за счет охлаждения синтез-газа;

причем этап ii) выполняют в котле технологического конденсата (котел ТК);

причем указанная установка парового риформинга производит сырой синтез-газ, и указанный синтез-газ представляет собой технологический газ, полученный путем пропускания указанного сырого синтез-газа через стадию каталитической конверсии водяного газа (КВГ), включающую использование одной или более установок конверсии водяного газа;

причем указанный один или более блоков конверсии водяного газа содержат первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как установка конверсии с высокой или средней температурой (установка конверсии ВТ или СТ), а затем вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как средне- или низкотемпературная установка конверсии (установка конверсии СТ или НТ) и, при необходимости, третью установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как низкотемпературная установка конверсии (установка конверсии НТ), причем указанное охлаждение синтез-газа на этапе ii) представляет собой охлаждение потока синтез-газа, выходящего из упомянутой первой или второй установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода, например, из установки конверсии НТ или СТ;

причем, по меньшей мере, часть потока технологического пара и, по меньшей мере, часть указанного потока чистого пара добавляют в указанную первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, например, посредством добавления к сырому синтез-газу; и

причем на этапе i) указанный поток чистого пара, который образуется, по меньшей мере, из части указанной питательной воды котла (ПВК), включает:

i-1) чистый пар, вырабатываемый, по меньшей мере, частично за счет охлаждения синтез-газа в одном или более теплообменниках или котлах, например, в установке предварительного нагрева ПВК и в котле-утилизаторе (КУ), перед прохождением указанного сырого синтез-газа через стадию каталитической конверсии водяного газа (КВГ); и/или

i-2) чистый пар, вырабатываемый при охлаждении указанного отработанного газа в одном или более теплообменниках и котлах, таких как установка предварительного нагрева ПВК и котел-утилизатор (КУ), например, путем охлаждения указанного синтез-газа на этапе ii), т.е. в указанном котле ТК.

Согласно изобретению может быть предусмотрен одиночный или общий котел ТК для охлаждения синтез-газа из установки конверсии и для испарения

ПВК, а также дальнейшее добавление технологического пара и чистого пара в установку конверсии, как показано на Фигуре в приложении.

В варианте осуществления согласно первому аспекту изобретения на этапе i-1) и/или i-2) указанный поток чистого пара состоит из чистого пара, вырабатываемого в одном или более котлах, за исключением котла для охлаждения синтез-газа из первой установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода, таком как указанный котел ТК. Соответственно, поток чистого пара, который образуется, по меньшей мере, из части указанной питательной воды котла (ПВК) путем охлаждения синтез-газа, не включает чистый пар после его использования для создания потока технологического пара, т.е. чистый пар после прохождения через указанный котел ТК.

Хотя чистый пар после использования в указанном котле ТК, то есть после кипячения в нем ПВК, может быть частью чистого пара, который добавляют в установку(и) конверсии, иногда может быть желательно не включать такой чистый пар из котла ТК, вместо чего нужно просто собрать и удалить его.

Следовательно, технологический пар, а также чистый пар, образующийся в любой точке способа/установки, за исключением котла ТК на этапе ii), добавляют в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Было обнаружено, что таким образом можно увеличить количество пара, необходимого для конверсии КВГ, по сравнению с известным уровнем техники, в то же время увеличивая гибкость, управляемость и производительность установки, что более подробно разъясняется ниже.

В более общем смысле, чистый пар из установок предварительного нагрева ПВК и котлов-утилизаторов, при необходимости, включающий чистый пар из котла ТК между первой и второй установками конверсии окиси углерода в двуокись углерода, подают в общую паровую систему, которая включает сеть, т.е. трубопроводную сеть, выполненную с возможностью транспортировки чистого пара, вырабатываемого в указанных котлах-утилизаторах, а также с возможностью транспортировки указанного потока чистого пара, используемого во время производства указанного потока технологического пара. Трубопроводная сеть также включает емкости для конденсата и/или конденсатоприёмники для сбора чистого потока.

Из сети часть содержащегося здесь чистого пара может направляться в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, а также, при необходимости, во вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Эта сеть содержится отдельно от системы, транспортирующей испаренный технологический конденсат, т.е. технологический пар, поскольку технологический конденсат содержит примеси, такие как метанол, что нежелательно на некоторых агрегатах установки, к которой пар подается из паровой системы трубопроводной сети. Примеси, такие как метанол, метилформиат или амины, например, монометиламин, диметиламин, триметиламин, удаляются при контакте с катализатором конверсии водяного газа. Чистый пар и технологический пар не объединяются, за исключением случаев, когда они добавляют вместе в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода и, при необходимости, вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода и/или на стадию каталитического риформинга.

В варианте осуществления согласно первому аспекту изобретения, по меньшей мере, часть потока технологического пара и, по меньшей мере, часть потока чистого пара добавляют в указанную вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Сопутствующим преимуществом этого является повышение гибкости способа и установки, поскольку пар добавляют на различных этапах стадии конверсии КВГ.

В варианте осуществления согласно первому аспекту изобретения поток технологического пара и поток чистого пара добавляют вместе, например, путем объединения потоков перед добавлением в указанную первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода и, при необходимости, во вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Сопутствующим преимуществом этого является возможность оптимизировать конструкцию трубопровода.

Таким образом, изобретение включает:

- добавление, по меньшей мере, части испаренного технологического конденсата, т.е. технологического пара, смешанного с чистым паром, что позволяет регулировать соотношение пар/сухой газ на входе в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, т.е. неочищенный синтез-газ, поступающий в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода;

- испарение технологического конденсата в котле ТК осуществляется за счет охлаждения синтез-газа на выходе из первой установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода и конденсации чистого пара

Чистый пар используют для управления оптимальным молярным соотношением пар/сухой газ на входе синтез-газа в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода.

Оптимальное молярное соотношение пар/сухой газ составляет от 0,3 до 0,8. Фактическое соотношение зависит от необходимой степени конверсии СО и от потребности в рамках общего энергопотребления.

В данной области хорошо известен способ производства пара путем охлаждения отходящего газа из первой установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Этот пар обычно смешивают в общей паровой системе, где он составляет менее 35% от общего объема производимого пара. Общая паровая система подает необходимый пар для способа/установки. Пар можно получать из внешнего источника или отправлять во внешний источник, для чего необходимо, чтобы качество пара соответствовало согласованным стандартам.

Некоторая часть пара, добавленного в процесс/установку, в конечном итоге конденсируется и образует поток технологического конденсата. Чтобы уменьшить потребление сырой воды и свести к минимуму количество сточных вод, технологический конденсат повторно используют в качестве сырьевой жидкой воды для выработки пара. Однако пар, вырабатываемый из технологического конденсата, не может экспортироваться, поскольку его качество не соответствует согласованным стандартам, но при этом его можно добавить в процесс. Поэтому важно отделять пар, образующийся из технологического конденсата, от чистого пара, который получают из питательной воды котла. Это разделение обеспечивается за счет отсутствия смешивания пара, образующегося из технологического конденсата, т.е. технологического пара, с общей паровой системой, содержащей чистый пар.

В процессе пар расходуется при каталитическом паровом риформинге углеводородов или как часть реакции конверсии $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Это означает, что пар из испаряющегося технологического конденсата, т.е. технологический пар, не может представлять собой весь объем пара, необходимого

для подачи в определенную точку смешения в рамках процесса. Часть пара, добавленного на стадию каталитического парового риформинга, будет использоваться для реакции риформинга $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$, и, следовательно, в результате получают молярный поток технологического конденсата, который меньше молярного потока пара, поступающего в точку смешения в рамках процесса, например, перед каталитическим паровым риформингом. Когда на стадию каталитического парового риформинга добавляют совсем не большое количество пара, например, когда установка парового риформинга для производства сырого синтез-газа представлена установкой автотермического риформинга, работающей отдельно или в сочетании с установкой ПРМ, возникает необходимость добавления большего количества пара в сырой синтез-газ, т.е. в точке до первой установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Необходимый оптимальный молярный расход пара для этой дополнительной точки смешения в этих случаях будет больше, чем полученный молярный расход технологического конденсата.

Согласно описанию выше, хорошо известный способ повторного использования технологического конденсата для производства пара заключается в отправке его в колонну отгонки технологического конденсата, где он отгоняется чистым паром. Полученный из колонны отгонки пар добавляют в точки смешения на входе в установку каталитического парового риформинга и/или на вход в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода вместе с дополнительным необходимым чистым паром. Отпаренный конденсат после дальнейшей очистки используют в качестве подпиточной воды для питательной воды котла.

Таким образом, настоящее изобретение описывает более простой способ, при котором технологический конденсат направляется в испаритель, т.е. в котел ТК, где практически весь технологический конденсат испаряется, т.е. за исключением необходимого продувочного потока, объем которого составляет минимум 1%. Выпаренный технологический конденсат, т.е. технологический пар, можно добавлять в процесс аналогично пару из колонны отгонки в рамках описанной выше известной процедуры.

Например, котел ТК расположен между первой и второй установками конверсии окиси углерода в двуокись углерода согласно описанию в настоящей

заявке. Отдельный котел, такой как котел-утилизатор, также целесообразно предусмотреть в любом месте способа/установки, где происходит производство чистого пара, например, путем охлаждения с помощью этого котла синтез-газа, выходящего из процесса каталитического парового риформинга, т.е. путем охлаждения неочищенного синтез-газа сразу же после выхода из установки парового риформинга и перед дальнейшим охлаждением сырого синтез-газа в установке предварительного нагрева ПВК; или, например, также путем охлаждения отработанного газа из установки парового риформинга. Чистый пар также можно использовать для испарения технологического конденсата, что также описано в настоящей заявке.

В соответствии с настоящим изобретением технологический конденсат может испаряться в котле ТК за счет сочетания охлаждения синтез-газа из первой установки и конденсации чистого пара. Соответственно, полученный выпаренный конденсат, т.е. технологический пар, добавляют в точке смешивания перед первой установкой конверсии окиси углерода в двуокись углерода и оптимальным добавлением пара, обеспечивая молярное соотношение пара к сухому газу в полученном синтез-газе на уровне между 0,3 и 0,8. Таким образом, это соотношение регулируется путем добавления дополнительного чистого пара, который вырабатывается отдельно, например, путем охлаждения сырого синтез-газа (синтез-газа каталитического парового риформинга) и/или путем охлаждения отработанного газа из установки парового риформинга.

Котел ТК можно разместить в любом месте процесса, где происходит производство чистого пара. Соответственно, испарение технологического конденсата в котле ТК происходит путем охлаждения синтез-газа из первой установки, при необходимости, путем охлаждения сырого синтез-газа после каталитического парового риформинга или охлаждения отработанного газа после каталитического парового риформинга, поскольку это приводит к наименьшему производству чистого пара и, следовательно, необходимо наименьшее количество оборудования для его производства.

Соответственно, в варианте осуществления согласно первому аспекту изобретения этап ii) также включает охлаждение, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара.

Тепла, которое имеется в распоряжении после процесса конверсии, не всегда может быть достаточно для испарения всего технологического конденсата. Как показано на Фигуре в приложении, охлаждающий чистый пар используют в качестве источника тепла для испарения остальной субстанции с помощью теплообменного блока 280', например, нагревательного змеевика, в котле 280 ТК.

Следует понимать, что охлаждение синтез-газа предусматривает охлаждение части синтез-газа. Также следует понимать, что охлаждение указанного отработанного газа предусматривает охлаждение части указанного отработанного газа.

Таким образом, изобретением предусмотрены две отдельные технологические линии или системы: одна для производства чистого пара, подходящего для использования в качестве отводимого или для предоставления пара для нужд процесса, в частности, для конверсии водяного газа, и отдельная система для производства технологического пара, в которой, например, чистый пар используют в качестве теплоносителя для образования технологического пара. Чистый пар и технологический пар не объединяются, поскольку технологический конденсат содержит примеси, за исключением случаев, когда они добавляют вместе в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, при необходимости, во вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода и/или на стадию каталитического парового риформинга согласно более подробному описанию выше,

Согласно описанию выше, технологический пар может генерироваться за счет использования чистого пара и синтез-газа или, например, также за счет использования синтез-газа, чистого пара и отработанного газа, или, например, также за счет использования синтез-газа и отработанного газа в качестве теплообменной среды/среды для испарения технологического конденсата, что обеспечивает возможность производства технологического пара.

Изобретение позволяет генерировать технологический пар в рамках одного этапа, т.е. этапа ii).

Этап ii) проводят в котле технологического конденсата (котле ТК), предпочтительно с установленным в нем одним или несколькими теплообменниками для охлаждения синтез-газа, чистого пара и/или отработанного

газа. Соответственно, используют один котел ТК, в котором охлаждение синтез-газа выполняют одновременно с охлаждением чистого пара и/или отработанного газа. Это более простой и гораздо более эффективный подход по сравнению, например, с использованием отдельных установок для обеспечения тепла или испарения технологического конденсата с применением синтез-газа и последующим использованием дополнительных установок для окончательного испарения технологического конденсата и образования за счет этого технологического пара. Это также гораздо более простой и эффективный подход по сравнению с использованием отдельных паровых барабанов на каждом паропроводе: один для сбора чистого пара, а другой для сбора технологического пара, что, например, описано в упомянутых выше документах EP 3138810 A1 и US 95566026 B1.

Использование чистого пара или отработанного газа и синтез-газа предпочтительно осуществляют путем косвенного теплообмена, т.е. без прямого контакта, такого как смешивание, с технологическим конденсатом.

В частности, за счет комбинированного использования чистого пара и синтез-газа при выработке технологического пара, т.е. в одном котле ТК, достигается более эффективное использование котла ТК, поскольку в качестве теплоносителя с котлом ТК можно использовать как чистый пар, так и синтез-газ. За счет этого также обеспечивается возможность уменьшения размеров котла ТК.

В одном из вариантов осуществления установка парового риформинга представляет собой обычную установку парового риформинга метана (ПРМ), например, трубчатую установку риформинга. В еще одном варианте осуществления установка потокового риформинга представляет собой риформер с электрическим нагревом (э-ПРМ). В еще одном варианте установка парового риформинга представляет собой установку автотермического риформинга (АТР).

В частности, в варианте осуществления согласно первому аспекту изобретения установка парового риформинга представляет собой установку автотермического риформинга (АТР); или сочетание обычной установки парового риформинга метана (ПРМ), например, трубчатой установки риформинга, и установки АТР; или риформер с электрическим нагревом (э-ПРМ); или сочетание установки э-ПРМ и установки АТР, из которой получают указанный сырой синтез-газ.

Использование установки парового риформинга, которая представлена сочетанием обычной установки парового риформинга метана (ПРМ), например, трубчатой установки риформинга, и установки АТР, особенно хорошо подходит для производства водорода в больших масштабах. Использование э-ПРМ обеспечивает более устойчивый вариант, поскольку э-ПРМ питается от электроэнергии, вырабатываемой из возобновляемых источников, таких как ветровая, солнечная и гидроэнергетика. В результате возникают и другие преимущества, такие как уменьшение размера участка благодаря тому, что э-ПРМ является более компактным реактором.

Также может быть выгодно использовать процесс, в котором установка парового риформинга представлена установкой АТР, поскольку в отличие от ПРМ установка АТР не производит отработанных газов. Кроме того, АТР позволяет работать с гораздо более низким молярным соотношением пара к углероду, за счет чего в процессе переносятся меньшие объемы воды и, таким образом, помимо прочего, уменьшается размер оборудования далее в технологическом потоке.

Для получения дополнительной информации об этих риформерах по прямой ссылке в настоящем документе на патенты и/или литературу заявителя представлены подробные сведения. Например, обзор трубчатого и автотермического риформинга представлен в документе «Трубчатый риформинг и автотермический риформинг природного газа – обзор доступных процессов», Иб Дибкьер, Технология переработки топлива 42 (1995) 85-107. Описание э-ПРМ, который является более новой технологией, ссылка, в частности, приводится на патент заявителя WO 2019/228797 A1.

Что касается каталитического парового риформинга, при котором в качестве парового риформера выступает установка АТР, конверсия водяного газа предпочтительно представляет собой использование установки конверсии ВТ, за которой следует установка конверсии СТ или НТ. Что касается каталитического парового риформинга, при котором в качестве установки парового риформинга выступает традиционная установка ПРМ, предпочтительной является конверсия СТ.

Конверсия водяного газа позволяет обогащать синтез-газ водородом, что хорошо известно специалистам в данной области. Температура синтез-газа, выходящего из первой установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода,

например, установки конверсии СТ, находится в диапазоне 330-350°C, тогда как температура синтез-газа, выходящего из последующей второй установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода, находится в диапазоне 200-250°C, и, следовательно, первый вариант больше подходит в качестве теплоносителя для испарения технологического конденсата. В частности, что касается АТР, температура на выходе из процесса конверсии ВТ составляет 430-460°C, тогда как температура на выходе из процесса конверсии ВТ ниже по технологическому потоку составляет 320-340°C. В данном случае котел ТК может размещаться после установки конверсии ВТ и МТ.

В одном из вариантов осуществления согласно первому аспекту изобретения технологический конденсат предварительно нагревается, предпочтительно путем косвенного теплообмена, с применением:

- чистого пара, используемого на указанном этапе ii), или его конденсата;

и/или

- части синтез-газа, выводимого после указанной стадии конверсии КВГ, предпочтительно после второй или третьей установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода и предпочтительно также перед дальнейшим охлаждением синтез-газа в одном или более теплообменниках, т.е. установках предварительного нагрева КВГ, используемых для образования потока чистого пара.

Таким образом, поток синтез-газа предпочтительно из второй (и последней) установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода (конверсия НТ) разделяется на поток синтез-газа, из которого удаляется вода для получения указанного потока технологического конденсата, и обводной поток, который предназначен для предварительного нагрева технологического конденсата, предпочтительно путем косвенного теплообмена, например, в предварительном нагревателе технологического конденсата. Предварительно нагретый таким образом технологический конденсат затем пропускают через указанный котел ТК для выработки технологического пара. Этот вариант осуществления особенно хорошо подходит при проведении этапа ii), на котором технологический пар образуется путем охлаждения синтез-газа и чистого пара.

Эти варианты осуществления позволяют простым и эффективным способом снизить тепловую нагрузку котла ТК и за счет этого уменьшить его размеры.

В одном из вариантов осуществления согласно первому аспекту изобретения часть потока чистого пара используют, т.е. отводят в качестве отводимого пара. Следовательно, часть чистого пара используют для производства технологического пара, а другую часть используют для отвода потребителям, поскольку он не загрязнен.

В одном из вариантов осуществления согласно первому аспекту изобретения поток технологического пара, например, его часть, смешивают с углеводородным сырьем перед входом в установку парового риформинга. Технологический пар, при необходимости, объединяют с чистым паром при смешивании с углеводородным сырьем.

В одном из вариантов осуществления согласно первому аспекту изобретения синтез-газ преобразуют в поток водородного продукта, при этом технологический конденсат образуется в сепараторе технологического конденсата, в котором сепаратор технологического конденсата также генерирует обедненный водой поток синтез-газа, по меньшей мере, часть которого пропускают через стадию очистки водорода, предпочтительно в установке короткоциклового адсорбции (установка КЦА), с образованием указанного потока водородного продукта и потока отходящего газа.

Таким образом обеспечивается высокорентабельный способ и установка для производства водорода, которые выгодно объединяют технологический пар и чистый пар без необходимости колонны отгонки технологического конденсата для образования технологического пара для использования в процессе.

В одном из вариантов осуществления согласно первому аспекту изобретения поток чистого пара после использования для создания потока технологического пара в котле ТК конденсируется и смешивают с питательной водой котла (ПВК), которую вводят в процесс.

За счет этого достигается высокая термическая эффективность способа/установки, поскольку поток ПВК пополняется конденсированной водой из потока чистого пара.

В еще одном общем варианте осуществления первого аспекта (способа) изобретения предложен способ получения синтез-газа путем каталитического парового риформинга углеводородного сырья в установке парового риформинга, в

котором воду удаляют из синтез-газа в виде технологического конденсата, при этом в процесс вводят питательную воду котла, и при этом указанный процесс производит, по меньшей мере, два отдельных потока пара: i) поток чистого пара, который образуется, по меньшей мере, из части указанной питательной воды котла (ПВК) путем охлаждения синтез-газа, и ii) поток технологического пара, который образуется путем испарения, по меньшей мере, части технологического конденсата путем охлаждения синтез-газа;

причем этап ii) выполняют в котле технологического конденсата (котел ТК);

причем указанная установка парового риформинга производит сырой синтез-газ, и указанный синтез-газ представляет собой технологический газ, полученный путем пропускания указанного сырого синтез-газа через стадию каталитической конверсии водяного газа (КВГ), включающую использование одной или более установок конверсии водяного газа;

причем указанная одна или более установок конверсии водяного газа включает первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как установку конверсии высокой или средней температуры (установка конверсии ВТ или СТ), а затем вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как средне- или низкотемпературная установка конверсии (установка конверсии СТ или НТ), причем указанное охлаждение синтез-газа на указанном этапе ii) представляет собой охлаждение потока синтез-газа, выходящего из указанных первой или второй установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода, например, из указанной установки конверсии ВТ или СТ;

причем, по меньшей мере, часть потока технологического пара и, по меньшей мере, часть указанного потока чистого пара добавляют в указанную первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода.

В одном из вариантов осуществления этого еще одного общего варианта осуществления изобретения указанная установка риформинга, при необходимости, производящая отработанный газ, и на этапе i) указанный поток чистого пара, который образуется, по меньшей мере, из части указанной питательной воды котла (ПВК), включает:

i-1) чистый пар, полученный, по меньшей мере, частично за счет охлаждения синтез-газа в одном или более теплообменниках или котлах, и/или

i-2) чистый пар, образующийся при охлаждении указанного отработанного газа в одном или более теплообменниках и котлах.

В одном из вариантов осуществления этого еще одного общего варианта осуществления указанная одна или более установок конверсии водяного газа содержит: третью установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как низкотемпературная установка конверсии (установка конверсии НТ).

Следует понимать, что любой из вариантов осуществления и связанные с ними преимущества, изложенные ранее в связи с первым аспектом изобретения, также могут применяться в связи с этим еще одним общим вариантом осуществления.

Во втором аспекте изобретение также охватывает установку, т.е. технологическую установку, для производства синтез-газа. Соответственно, предложена установка для производства синтез-газа, содержащая:

- установку парового риформинга для преобразования углеводородного сырья в указанный синтез-газ; при необходимости, установку парового риформинга, генерирующую отработанный газ, и установку парового риформинга, содержащую выпускное отверстие для отвода отработанного газа;

- сепаратор технологического конденсата для удаления воды из указанного синтез-газа, за счет чего образуется обедненный водой поток синтез-газа и поток технологического конденсата;

- паровую систему, содержащую один или более теплообменников и котлов ПВК для генерирования потока чистого пара путем непрямого охлаждения указанного синтез-газа в указанном одном или более теплообменниках и котлах, например, в установке предварительного нагрева ПВК и котле-утилизаторе (КУ), например, в установке предварительного нагрева ПВК и в котле-утилизаторе (КУ), расположенном между указанной установкой парового риформинга и последующей стадией каталитической конверсии водяного газа (КВГ);

- систему технологического конденсата (ТК), включающую котел технологического конденсата (котел ТК) для образования потока технологического пара, при этом указанный котел ТК содержит:

- теплообменную установку для испарения, по меньшей мере, части указанного потока технологического конденсата путем охлаждения синтез-газа; и, при необходимости:

теплообменную установку для испарения, по меньшей мере, части указанного потока технологического конденсата путем охлаждения, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара в качестве теплообменной среды и/или теплообменную установку для испарения, по меньшей мере, части указанного потока технологического конденсата посредством охлаждения указанного отработанного газа;

- стадию каталитической конверсии водяного газа (КВГ), включающую одну или более установок конверсии водяного газа для обогащения указанного синтез-газа водородом, причем указанная одна или более установок конверсии водяного газа включает первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как установка конверсии высокой или средней температуры (установка конверсии ВТ или СТ) и далее по ходу процесса вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как установка конверсии средней или низкой температуры (установку конверсии СТ или НТ), и, при необходимости, третью установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как установка конверсии средней или низкой температуры (установка конверсии НТ); при этом указанное охлаждение синтез-газа в котле ТК представляет собой охлаждение потока синтез-газа, выходящего из указанных первой или второй установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода, например, указанной установки конверсии ВТ или СТ;

- трубопровод для подачи, по меньшей мере, части указанного потока технологического пара и трубопровод для подачи, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара в первую из указанных одной или более установок конверсии водяного газа; при необходимости, трубопровод для подачи, по меньшей мере, части указанного потока технологического пара и трубопровод для подачи, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара во вторую из указанных одной или более установок конверсии водяного газа;

и причем указанный поток чистого пара представляет собой чистый пар, вырабатываемый в одном или более котлах, за исключением котла для охлаждения синтез-газа из первой установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такого как указанный котел ТК.

Следует понимать, что указанные первая и вторая установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода оснащены выпускным отверстием для

указанного потока синтез-газа, выходящего из установки, т.е. первой или второй установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода, и что предусмотрен трубопровод для направления синтез-газа к указанному котлу ТК.

Соответственно, котел ТК находится в прямом гидравлическом сообщении с указанным выпускным отверстием. Таким образом, отсутствует промежуточный этап или узел изменения состава синтез-газа при поступлении в котел ТК.

Соответственно, поток чистого пара, который образуется, по меньшей мере, из части указанной питательной воды котла (ПВК) путем охлаждения синтез-газа, не включает чистый пар после его использования для создания потока технологического пара, т.е. чистый пар после прохождения через указанный котел ТК. Технологический пар, а также чистый пар, образующийся в процессе/установке в любом другом месте, за исключением котла ПК, добавляют в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода.

Таким образом, можно использовать одиночный или общий котел ТК, как показано на Фигуре в приложении, который использует синтез-газ, при необходимости, вместе с чистым паром и/или отработанным газом, для испарения технологического конденсата и, таким образом, для образования указанного потока технологического пара. Кроме того, технологический пар, а также чистый пар, образующийся на установке в любом другом месте за исключением котла ТК, добавляют в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, при необходимости, во вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Таким образом, можно увеличить количество пара, необходимого для конверсии КВГ, по сравнению с известным уровнем техники, одновременно увеличивая при этом гибкость, управляемость и производительность установки.

В одном из вариантов осуществления согласно второму аспекту изобретения паровая система содержит сеть, т.е. трубопроводную сеть, выполненную с возможностью транспортировки чистого пара, образующегося в упомянутом одном или более теплообменниках и котлах ПВК, таких как котлы-утилизаторы (КУ), например, КУ непосредственно за установкой парового риформинга, причем трубопровод для направления, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара в первую и, при необходимости, во вторую из указанных одной или более установок конверсии водяного газа представляет собой трубопровод, выведенный из указанной сети. Трубопроводная сеть также включает

емкости для конденсата и/или конденсатоприёмники для сбора чистого потока. В конкретном варианте осуществления сеть содержит средства для транспортировки потока чистого пара, используемого во время образования указанного потока технологического пара в указанном котле ТК.

Из сети часть содержащегося в ней чистого пара направляют в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода и, при необходимости, во вторую установку. Эта сеть содержится отдельно от системы, транспортирующей испаренный технологический конденсат, т.е. технологический пар, поскольку технологический конденсат содержит примеси, такие как метанол, что нежелательно на некоторых агрегатах установки, к которой пар подается из паровой системы трубопроводной сети. Примеси, такие как метанол, удаляют при контакте с катализатором конверсии водяного газа первой и второй установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Согласно описанию выше в связи с первым аспектом изобретения, чистый пар и технологический пар не объединяются, за исключением случаев, когда они добавляются вместе в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, при необходимости, во вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода и/или на этап каталитического риформинга, т.е. в установку парового риформинга.

В одном из вариантов осуществления согласно второму аспекту изобретения установка дополнительно включает: блок очистки водорода, предпочтительно установку КЦА, для производства водородного продукта, по меньшей мере, из части указанного обедненного водой потока синтез-газа, поток отходящего газа, например, поток отходящего газа КЦА.

Затем водородный продукт подают конечным потребителям, в то время как отходящий газ КЦА может использоваться, например, в установках парового риформинга, таких как пламенные нагреватели, используемые в них для производства синтез-газа.

Предпочтительно указанное не прямое охлаждение указанного синтез-газа с помощью указанного ПВК в одном или более теплообменниках, т.е. блоках предварительного нагрева ПВК, проводится выше по потоку, например, когда синтез-газ представляет собой неочищенный синтез-газ от парового риформинга, и/или после указанной одной или более установок конверсии водяного газа, например, в которых синтез-газ представляет собой технологический газ,

выходящий из первой и/или последней установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода.

В одном из вариантов осуществления согласно второму аспекту изобретения установка парового риформинга представляет собой установку автотермического риформинга (установка АТР); или сочетание обычной установки парового риформинга метана (ПРМ), например, трубчатой установки риформинга, и установки АТР; или установку риформинга с электрическим нагревом (э-ПРМ), или сочетание э-ПРМ и установки АТР. В частности, обнаружено, что сочетание установок ПРМ и АТР подходит для производства водорода в больших масштабах. Сочетание э-ПРМ и АТР обеспечивает дополнительное преимущество более компактной установки парового риформинга по сравнению с ПРМ, за счет чего значительно уменьшаются размеры участка и, что немаловажно, значительно снижаются выбросы углекислого газа, поскольку э-ПРМ удобна тем, что питается от электроэнергии из возобновляемых источников, такие как солнечная, ветровая и гидроэнергия.

Следует понимать, что термины «традиционный ПРМ» и «ПРМ» используются как взаимозаменяемые. Кроме того, термин «трубчатый риформер» для целей настоящей заявки означает частный случай ПРМ.

В одном из вариантов осуществления согласно второму аспекту изобретения установка дополнительно содержит:

- средство нагнетания напора технологического конденсата, такое как насос, для подачи указанного потока технологического конденсата в указанный котел технологического конденсата;

- емкость для конденсата и/или конденсатоприёмник для сбора конденсатного продукта из указанного потока чистого пара, используемого во время образования указанного потока технологического пара (путем использования части указанного потока чистого пара, выходящего из котла ТК), и, при необходимости, средство нагнетания напора, такое как насос для транспортировки и смешивания указанного конденсатного продукта (конденсированного чистого пара) с введенной в установку ПВК, т.е. с ПВК, поданной от стороннего источника.

В одном из вариантов осуществления согласно второму аспекту изобретения установка дополнительно содержит:

теплообменник для непрямого нагрева технологического конденсата, расположенный по ходу процесса перед указанным котлом технологического конденсата, при этом указанный непрямо́й нагрев предпочтительно осуществляют с использованием части синтез-газа, выводимой после указанной одной или более установок конверсии водяного газа, при этом установка предпочтительно также содержит средства для отделения указанной части синтез-газа.

Использование такого теплообменника обеспечивает улучшенную интеграцию тепла в процессе и установке и позволяет уменьшить размеры котла ТК.

Любой из вариантов осуществления первого аспекта изобретения может использоваться со вторым аспектом изобретения, и наоборот. Следует понимать, что любые преимущества, связанные с вариантами осуществления первого аспекта изобретения, могут использоваться со вторым аспектом изобретения, и наоборот.

К преимуществам изобретения относятся:

экономия колонны отгонки технологического конденсата, за счет чего упрощается способ/установка и тем самым также обеспечивается снижение капитальных затрат;

уменьшение объема работ по обработке для подготовки ПВК, а также уменьшение количества необходимого оборудования а, следовательно, и объема капиталовложений;

оптимальный контроль основного параметра процесса, а именно молярного соотношения сухого пара в сыром синтез-газе, перед входом в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода стадии конверсии КВГ, благодаря обеспечению того, что регулировка происходит за счет использования большого количества доступного чистого пара

На приложенной Фигуре показана схема процесса в соответствии с вариантом осуществления изобретения, в рамках которой чистый пар и синтез-газ используют для образования технологического пара в котле ТК, и технологический пар и чистый пар подают в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода.

Показана технологическая установка 200, в которой котел технологического конденсата, т.е. котел 280 ТК, расположенный между первой 220 и второй 220'

установками конверсии окиси углерода в двуокись углерода, включает: теплообменный блок 280' для испарения потока технологического конденсата с использованием чистого пара в качестве теплообменной среды, а также отдельный теплообменный блок 280" для испарения технологического конденсата путем охлаждения синтез-газа, т.е. с использованием синтез-газа в качестве теплообменной среды.

Углеводородное сырье (не показано) подвергают каталитическому риформингу в установке парового риформинга, такой как установка АТР (не показана), для производства сырого синтез-газа 212, который проходит через первый нагреватель питательной воды котла (ПВК) (теплообменный блок) 210, за счет чего образуется предварительно подогретый поток 214 (сырого) синтез-газа, который затем пропускают через стадию каталитической конверсии, включающую первую установку в виде установки 220 конверсии СТ и вторую установку в виде установки 220' конверсии НТ. Перед теплообменным блоком 210 также удобным образом выполнен котел-утилизатор (КУ) (не показан), который расположен по ходу процесса после установки парового риформинга для производства чистого пара.

Из первой установки 220 отводят синтез-газ 216, который затем используют в качестве теплообменной среды и тем самым охлаждают в теплообменном блоке 280", расположенном внутри котла 280 ТК. Охлажденный синтез-газ дополнительно охлаждают в нагревателе 210' перед поступлением в установку 220' конверсии НТ, за счет чего получают синтез-газ 216' с высоким содержанием водорода. Часть этого потока 216' отделяют и используют для предварительного нагрева через нагреватель или теплообменный блок 260 потока технологического конденсата 228, который с помощью насоса 250 подают под напором в котел 280 ТК.

Другую часть потока 216' синтез-газа дополнительно охлаждают в нагревателе 210" ПВК с использованием импортного потока 234 ПВК, вводимого в процесс от стороннего источника. После использования в нагревателях 210", 210' и 210 ПВК, ПВК отводят на выработку пара. Охлажденный таким образом синтез-газ из нагревателя 210" ПВК затем объединяют с охлажденным синтез-газом из нагревателя 260 и подают в сепаратор 230 ТК. Из сепаратора 230 ТК отводят обедненный водой поток 220 синтез-газа, который в итоге поступает в блок 240

очистки водорода, такой как установка КЦА, с образованием потока 224 водородного продукта и потока 226 отходящих газов КЦА. Удаленную воду в сепараторе 230 ТК отводят в виде упомянутого потока 228 конденсата ТК, что происходит после прохождения через котел 280 ТК в технологический пар 232. Этот технологический пар 232 добавляют в первую установку 220 конверсии окиси углерода в двуокись углерода (установку конверсии СТ), как показано на Фигуре. При необходимости, часть технологического пара 232 также добавляют во вторую установку 220' конверсии окиси углерода в двуокись углерода (конверсия НТ), которая не показана. Чистый пар, вырабатываемый из ПВК из теплообменного блока 210 и находящегося ранее в потоке котла-утилизатора (не показан), также добавляют в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, как показано потоком 234', путем смешивания с технологическим паром 232, и, при необходимости, также во вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода. Чистый пар из котла 280 ТК, проходя через теплообменный блок 280', не добавляют в первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода или, при необходимости, во вторую установку. После использования для испарения технологического конденсата в теплообменном блоке 280' чистый пар собирают в котле 290 и выводят из него, как показано на Фигуре.

Формула изобретения

1. Способ производства синтез-газа путем каталитического парового риформинга углеводородного сырья в установке парового риформинга, при этом указанная установка риформинга при необходимости, генерирует отработанный газ, причем воду удаляют из синтез-газа в виде технологического конденсата, и причем в процесс вводят питательную воду котла, и причем указанный процесс производит, по меньшей мере, два отдельных потока пара: i) поток чистого пара, который образуется, по меньшей мере, из части указанной питательной воды котла (ПВК) путем охлаждения синтез-газа, и ii) поток технологического пара, который образуется путем испарения, по меньшей мере, части технологического конденсата за счет охлаждения синтез-газа;

причем этап ii) выполняют в котле технологического конденсата (котел ТК);

причем указанная установка парового риформинга производит сырой синтез-газ, и указанный синтез-газ представляет собой технологический газ, полученный путем пропускания указанного сырого синтез-газа через стадию каталитической конверсии водяного газа (КВГ), включающую использование одной или более установок конверсии водяного газа;

причем указанный один или более блоков конверсии водяного газа содержат первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как установка конверсии с высокой или средней температурой (установка конверсии ВТ или СТ), а затем вторую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как средне- или низкотемпературная установка конверсии (установка конверсии СТ или НТ) и, при необходимости, третью установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такую как низкотемпературная установка конверсии (установка конверсии НТ), причем указанное охлаждение синтез-газа на указанном этапе ii) представляет собой охлаждение потока синтез-газа, выходящего из упомянутых первой или второй установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода, например, из установки конверсии НТ или СТ;

причем, по меньшей мере, часть потока технологического пара и, по меньшей мере, часть указанного потока чистого пара добавляют в указанную первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода; и

причем на этапе i) указанный поток чистого пара, который генерируется, по меньшей мере, из части указанной питательной воды котла (ПВК), включает:

i-1) чистый пар, полученный, по меньшей мере, частично за счет охлаждения синтез-газа в одном или более теплообменниках или котлах, и/или

i-2) чистый пар, образующийся при охлаждении указанного отработанного газа в одном или более теплообменниках и котлах.

2. Способ по п. 1, **отличающийся тем**, что на этапе i-1) и/или i-2) указанный поток чистого пара состоит из чистого пара, вырабатываемого в одном или более котлах, за исключением котла для охлаждения синтез-газа из первой установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такой как указанный котел ТК.

3. Способ по любому из пп. 1 - 2 **отличающийся тем**, что, по меньшей мере, часть потока технологического пара и, по меньшей мере, часть указанного потока чистого пара добавляют в указанную первую установку конверсии окиси углерода в двуокись углерода.

4. Способ по любому из пп. 1 - 3, **отличающийся тем**, что поток технологического пара и поток чистого пара добавляют вместе.

5. Способ по любому из пп. 1 - 4, **отличающийся тем**, что этап ii) также включает охлаждение, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара.

6. Способ по любому из пп. 1 - 5, **отличающийся тем**, что установка парового риформинга представляет собой установку автотермического риформинга (АТР); или сочетание традиционной установки парового риформинга метана (ПРМ), например, трубчатой установки риформинга, и установки АТР; или установку риформинга с электрическим нагревом (э-ПРМ), или сочетание установки э-ПРМ и установки АТР, из которой получают указанный сырой синтез-газ.

7. Способ по любому из пп. 1 - 6, **отличающийся тем**, что технологический конденсат предварительно нагревают, предпочтительно путем непрямого теплообмена, с помощью:

- чистого пара, используемого на указанном этапе ii), или его конденсата;
и/или

- части синтез-газа, выводимого после указанной стадии конверсии КВГ, предпочтительно после второй или третьей установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода и предпочтительно также перед дальнейшим охлаждением синтез-газа в одном или более теплообменниках, т.е. установках предварительного нагрева КВГ, используемых для образования потока чистого пара.

8. Способ по любому из пп. 1 - 7, **отличающийся тем**, что часть потока чистого пара выводят в качестве отводимого пара.

9. Способ по любому из пп. 1 - 8, **отличающийся тем**, что поток технологического пара смешивают с углеводородным сырьем перед входом в установку парового риформинга; и при необходимости, причем технологический пар объединяют с чистым паром при смешивании с углеводородным сырьем.

10. Способ по любому из пп. 1 - 9, **отличающийся тем**, что синтез-газ преобразуют в поток водородного продукта, при этом технологический конденсат образуется в сепараторе технологического конденсата, в котором сепаратор технологического конденсата также генерирует обедненный водой поток синтез-газа, по меньшей мере, часть которого пропускают через стадию очистки водорода, предпочтительно в установке короткоциклового адсорбции (установка КЦА), с образованием указанного потока водородного продукта и потока отходящего газа.

11. Способ по любому из пп. 1 - 10, **отличающийся тем**, что поток чистого пара после использования для создания потока технологического пара в котле ТК конденсируют и смешивают с питательной водой котла (ПВК), которую вводят в процесс.

12. Установка для получения синтез-газа, содержащая:

- установку парового риформинга для преобразования углеводородного сырья в указанный синтез-газ и, при необходимости, получения отработанного газа;

- сепаратор технологического конденсата для удаления воды из указанного синтез-газа, за счет чего образуется обедненный водой поток синтез-газа и поток технологического конденсата;

- паровую систему, содержащую один или более теплообменников и котлов с питательной водой котла (ПВК) для генерирования потока чистого пара путем

непрямого охлаждения указанного синтез-газа в указанном одном или более теплообменниках и котлах;

- систему технологического конденсата (ТК), включающую котел технологического конденсата (котел ТК) для образования потока технологического пара, при этом указанный котел ТК содержит:

теплообменную установку для испарения, по меньшей мере, части указанного потока технологического конденсата путем охлаждения синтез-газа; и, при необходимости:

теплообменную установку для испарения, по меньшей мере, части указанного потока технологического конденсата путем охлаждения, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара в качестве теплообменной среды и/или теплообменную установку для испарения, по меньшей мере, части указанного потока технологического конденсата посредством охлаждения указанного отработанного газа;

- стадию каталитической конверсии водяного газа (КВГ), включающую одну или более установок конверсии водяного газа для обогащения указанного синтез-газа водородом, причем указанная одна или более установок конверсии водяного газа включает установку конверсии водяного газа первого уровня, такую как установка конверсии высокой или средней температуры (установка конверсии ВТ или СТ) и после второй установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода установку конверсии средней или низкой температуры (установку конверсии СТ или НТ); причем указанное охлаждение синтез-газа в котле ТК представляет собой охлаждение потока синтез-газа, выходящего из указанных первой или второй установок конверсии окиси углерода в двуокись углерода;

- трубопровод для подачи, по меньшей мере, части указанного потока технологического пара и трубопровод для подачи, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара в первую из указанных одной или более установок конверсии водяного газа;

и причем указанный поток чистого пара представляет собой чистый пар, вырабатываемый в одном или более котлах, за исключением котла для охлаждения синтез-газа из первой установки конверсии окиси углерода в двуокись углерода, такого как указанный котел ТК.

13. Установка по п. 12, **отличающаяся тем**, что указанная установка парового риформинга содержит выпускное отверстие для отвода отработанного газа, образующегося в установке парового риформинга, и указанный котел ТК дополнительно содержит:

теплообменную установку для испарения, по меньшей мере, части указанного потока технологического конденсата путем охлаждения, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара в качестве теплообменной среды и/или теплообменную установку для испарения, по меньшей мере, части указанного потока технологического конденсата посредством охлаждения указанного отработанного газа.

14. Установка по любому из пп. 12 - 13, дополнительно содержащая: трубопровод для подачи, по меньшей мере, части указанного потока технологического пара и трубопровод для подачи, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара во вторую из указанных одной или более установок конверсии водяного газа.

15. Установка по любому из пп. 12 - 14, **отличающаяся тем**, что паровая система содержит сеть, т.е. трубопроводную сеть, выполненную с возможностью транспортировки чистого пара, образующегося в упомянутом одном или более теплообменниках и котлах, причем трубопровод для направления, по меньшей мере, части указанного потока чистого пара в первую и, при необходимости, во вторую из указанных одной или более установок конверсии водяного газа представляет собой трубопровод, выведенный из указанной сети.

16. Установка по любому из пп. 12 - 15, дополнительно содержащая блок очистки водорода для производства водородного продукта, по меньшей мере, из части указанного обедненного водой потока синтез-газа, поток отходящего газа.

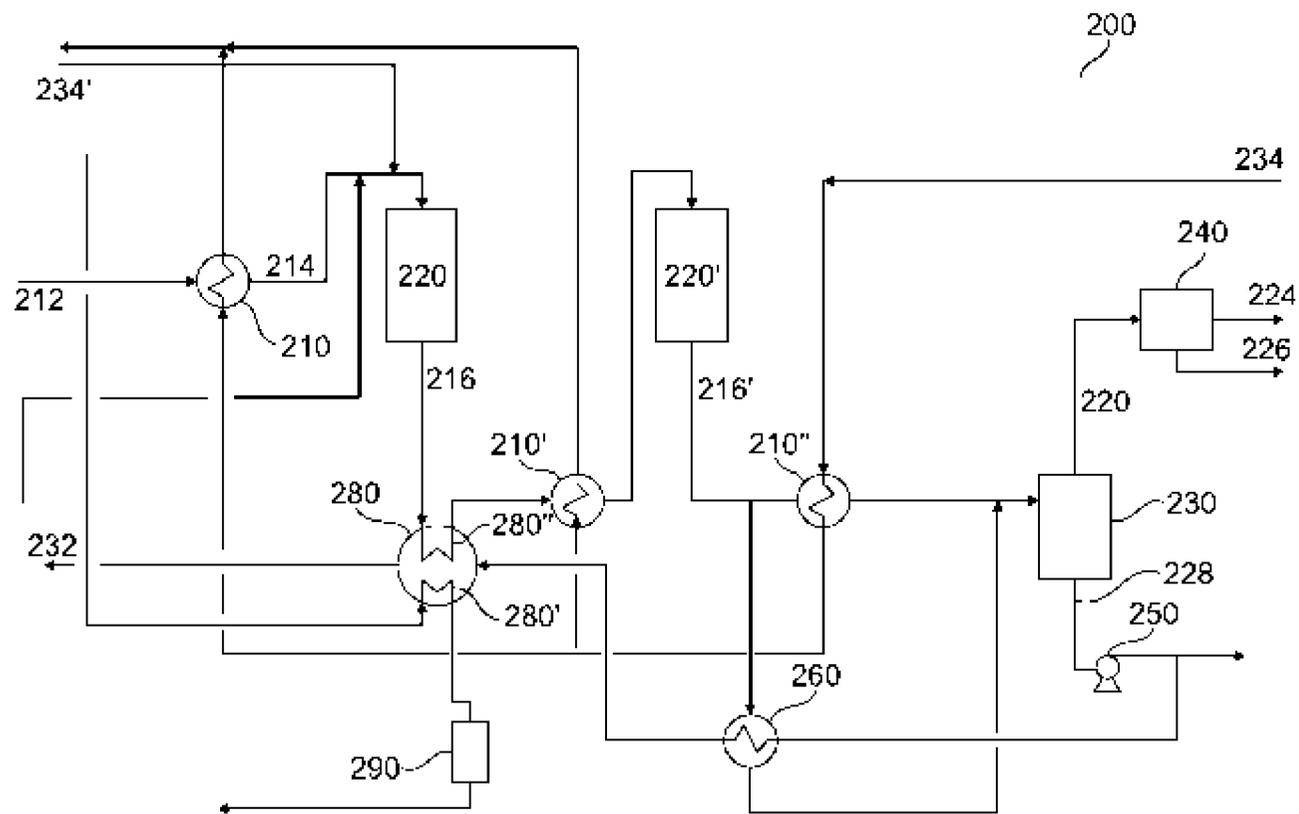
17. Установка по любому из пп. 12 - 16, **отличающаяся тем**, что установка парового риформинга представляет собой установку автотермического риформинга (АТР); или сочетание традиционной установки парового риформинга метана (ПРМ), например, трубчатой установки риформинга, и установки АТР; или установку риформинга с электрическим нагревом (э-ПРМ), или сочетание установки э-ПРМ и установки АТР.

18. Установка по любому из пп. 12 - 17, дополнительно содержащая:

- средство нагнетания напора технологического конденсата, такое как насос, для подачи указанного потока технологического конденсата в указанный котел технологического конденсата;

- емкость для конденсата и/или конденсатоприёмник для сбора конденсатного продукта из указанного потока чистого пара, используемого во время образования указанного потока технологического пара, и, при необходимости, средство нагнетания напора, такое как насос для транспортировки и смешивания указанного конденсатного продукта с введенной в установку ПВК.

19. Установка по любому из пп. 12 - 18, дополнительно содержащая теплообменник для непрямого нагрева технологического конденсата, расположенный по ходу процесса перед указанным котлом технологического конденсата, при этом указанный непрямо́й нагрев предпочтительно осуществляют с использованием части синтез-газа, выводимой после указанной одной или более установок конверсии водяного газа, при этом установка предпочтительно также содержит средства для отделения указанной части синтез-газа.



Фиг.