

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202491344 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.09.09(51) Int. Cl. C01B 3/02 (2006.01)
B01J 19/28 (2006.01)
C01B 3/24 (2006.01)
C01B 3/32 (2006.01)(22) Дата подачи заявки
2022.12.07(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА И CO₂ ИЗ ПОДАВАЕМЫХ УГЛЕВОДОРОДА И ВОДЫ

(31) 20211480

(72) Изобретатель:

(32) 2021.12.08

Скомволд Оге (NO)

(33) NO

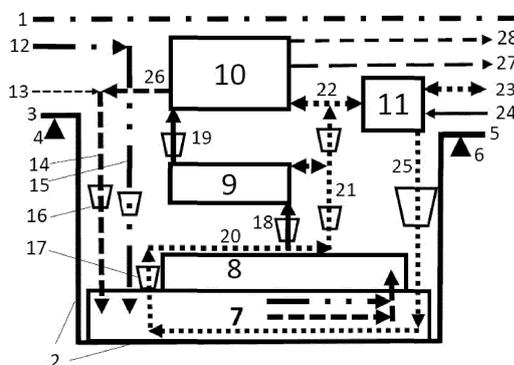
(86) PCT/NO2022/050284

(74) Представитель:

(87) WO 2023/106928 2023.06.15

Билык А.В., Поликарпов А.В.,
Соколова М.В., Путинцев А.И.,
Черкас Д.А., Игнатъев А.В., Дмитриев
А.В., Бельтюкова М.В. (RU)(71) Заявитель:
ХАЙПЕР ЭНЕРДЖИ ОСТРЭЛИЯ
ПТИ ЛТД (AU)

(57) Описано устройство, предназначенное для получения H₂ и CO₂ из подаваемых под высоким давлением углеводорода и воды. Устройство содержит средство для вращения ротационного устройства (2) с впуском (12) для углеводорода и впуском (13) для воды, а также с выпуском (27) для жидкого CO₂ и выпуском (28) для H₂. Ротационное устройство содержит полый цилиндрический испаритель (7), поддерживаемый внутри и на периферии ротационного устройства, причем испаритель (7) соединен с впуском (12) для углеводорода и впуском (13) для воды и снабжен теплообменником, в который поступает текучая среда (25) из теплового насоса НР (11) для опосредованного нагрева и испарения поступающих углеводорода и воды, реактор SMR (8) парового риформинга метана, соединенный с испарителем (7) и снабженный катализаторами для преобразования углеводорода и воды в синтез-газ, который содержит H₂, CO и CO₂ и вместе с избыточным водяным паром подается через теплообменник (20) SMR в реактор WGS (9) конверсии водяного газа, снабженный катализаторами для преобразования CO и воды в дополнительное количество H₂ и CO₂, сепаратор SEP (10), соединенный с WGS (9) и НР (11) и снабженный несколькими теплообменниками, которые конденсируют сначала жидкую оборотную воду (26), затем жидкий CO₂, подаваемый под давлением в канал (27) для выпуска CO₂, и, наконец, остаточный продукт H₂, холодный сжатый газ, подаваемый в канал (28) для выпуска H₂.



A1

202491344

202491344

A1

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА И CO₂ ИЗ ПОДАВАЕМЫХ УГЛЕВОДОРОДА И ВОДЫ

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к устройству для получения водорода (H₂) и диоксида углерода (CO₂) путем расщепления/риформинга добавленного углеводорода и воды.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Углеводород (HC) представляет собой соединение из нескольких атомов углерода и водорода (C_mH_n), которое может находиться в виде газа или жидкости и может представлять собой, например, метан (CH₄).

Существующие на сегодняшний день способы и устройства для получения водорода и CO₂ из подаваемых текучих углеводородов (HC) и воды в результате нагревательного каталитического процесса в основном предусматривают использование метана и каталитического реактора парового риформинга метана (Steam Methane Reforming, SMR) с получением в результате синтез-газа, содержащего H₂, CO и некоторого количества CO₂, который вместе с водяным паром подается в каталитический реактор конверсии водяного газа (Water gas Shift, WGS), преобразующий воду и CO в дополнительное количество H₂ и CO₂, которые вместе с небольшим количеством оставшейся воды являются основными продуктами эффективной реакции конверсии водяного газа при благоприятных условиях. Затем смесь направляется в газовый сепаратор (SEP), где остаточный пар может быть сконденсирован перед отделением H₂ и CO₂ друг от друга при прохождении через SEP, в котором на сегодняшний день обычно применяется система адсорбции с перепадом давления (Pressure Swing Adsorption, PSA) и/или аминовые текучие среды. Кроме того, как CO₂, так и H₂ подвергаются сжатию, причем CO₂ передается на использование или хранение (CCUS, Carbon Capture Utilization and Storage – технология захвата, использования и хранения углерода), а H₂ может быть дополнительно сжат до высокого давления или сжижен для облегчения работы с ним перед использованием.

Проблема современных SMR установок заключается в том, что к ним требуется подавать большое количество тепловой энергии, поскольку реакция является эндотермической, и часть данного тепла поступает от процесса WGS, который является

экзотермическим, что в целом обеспечивает подвод расчетной тепловой энергии, составляющей 17,5% от производимой водородом, при использовании газообразного метана. На практике до 50% тепла поступает с энергией, часто получаемой в результате сжигания некоторого количества добавленного метана. Большие потери обусловлены, главным образом, тепловым излучением, поскольку установки должны иметь большие размеры, чтобы поток, как правило, не превышал 25 см в секунду для исключения охлаждения в процессах SMR, которые являются высоко эндотермическими и не успевают подавать достаточное количество тепловой энергии. Это также приводит к колебаниям температуры, которые в процессе эксплуатации разрушают катализаторы, замену которых необходимо выполнять не реже одного раза в 2 года. Кроме того, выхлопные газы, образующиеся при горении, приводят к потере тепла, а также содержат значительное количество парниковых газов, таких как CO_2 и несгоревший метан, негативное влияние которых на климат в 25 раз выше, чем у CO_2 . Улавливание CO_2 из выхлопных газов является гораздо более энергоемким процессом из-за большого количества азота (N), содержащегося в подаваемом воздухе.

Для обеспечения разделения H_2 и CO_2 современные сепарационные установки имеют большие размеры, их стоимость составляет до 50% стоимости всей SMR установки, и, кроме того, они потребляют очень большое количество энергии в процессе эксплуатации.

Прежде всего, было бы целесообразно увеличить давление в установке и добавить большее количество воды, чем расходуется при расщеплении. Это привело бы к предпочтительному снижению парциального давления метана, и водяной пар тоже мог бы выступать в качестве носителя тепла непосредственно для процесса, происходящего в SMR, и прямого носителя тепла, отводимого от процесса, происходящего в WGS, что обеспечило бы более быстрый поток, стабильность температуры, улучшенную реакцию, а также возможность использования значительно меньших по размеру и более эффективных производственных средств, и, кроме того, при конденсации избыточного водяного пара отработавшие газы могут быть доведены до более высокого давления. Однако современные стационарные установки не способны рециркулировать достаточное количество тепла из дополнительно подаваемой воды и поэтому являются нерентабельными, в том числе потому, что обеспечение более высокого давления влечет за собой более высокие материальные затраты. Некоторая часть или все подводимое тепло может быть подано с помощью теплового насоса (heat pump, HP), холодная сторона которого может забирать тепло от продуктов и в результате снижать теплотери, а также обеспечивать разделение отработавших газов путем сжижения по меньшей мере CO_2 , но в современных

стационарных установках это потребовало бы использования мощных НР установок, которые содержат большое количество крупногабаритных компрессоров, турбин и теплообменников для обеспечения высоких и низких температур и которые нерентабельны при использовании существующих на сегодняшний день стационарных тепловых насосов.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Целью настоящего изобретения является создание компактного и экономичного устройства для получения водорода и CO_2 , которое адаптировано к высокой температуре и давлению. Устройство выполнено с возможностью вращения, причем для получения водорода и CO_2 , который сжижается перед выпуском, добавляют углеводород и воду, при этом устройство содержит любого вида испаритель, SMR, WGS, SEP и НР ротационного типа с каналами для подачи текучей среды внутрь и наружу, причем при постоянном вращении и высоком значении G насос НР будет обеспечивать для SMR необходимое тепло, которое он частично получает от продуктов после SMR, от WGS, SEP и из окружающей среды за пределами устройства, при этом газ в НР сначала сжимается с помощью компрессора, входящего в состав НР, и в основном под действием центробежной силы (G), которая воздействует на газ в НР таким образом, что он становится более горячим, направляясь наружу по каналу к испарителю, расположенному на периферии, где тепло опосредованно преобразует добавленную и повторно используемую избыточную воду в сухой водяной пар вместе с добавленным и нагретым углеводородом, после чего они направляются внутрь SMR, где тяжелый НР газ, выделив тепло для испарения, затем направляется внутрь и сразу же становится все холоднее и холоднее из-за понижения давления по направлению внутрь, при этом происходит эффективный отбор непрямого тепла и охлаждение продуктов. Высокое значение G существенно улучшает массообмен и контакт между текучими средами и SMR, WGS, SEP и теплообменниками ротационного устройства, делая его значительно более эффективным и компактным по сравнению с современными стационарными установками.

Это достигается с помощью устройства, выполненного в соответствии с прилагаемым описанием и формулой изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Ниже приведено подробное описание изобретения со ссылкой на прилагаемый чертеж, при этом дополнительные свойства и преимущества изобретения приведены в нижеследующем подробном описании.

Фиг.1 изображает принципиальную схему варианта выполнения изобретения, на

которой показан разрез по оси вращения и одна половина ротационного устройства; другая половина является зеркальным отображением указанной половины конструкции, расположенной вдоль одной стороны продольной оси вращения и содержащей ротационное устройство, опирающееся на подшипники и выполненное с возможностью вращения, с впусками, выпусками, каналами, а также содержащее различные теплообменники, испарители, SMR, WGS, SEP и HP с текучими средами, находящимися в каналах подачи и реакции, которые совместно образуют симметричную цилиндрическую конфигурацию вокруг оси вращения. Показанные на чертеже стрелки, направленные вниз, обозначают текучую среду, которая находится в каналах, направленных наружу к периферии, и сжимается в результате увеличения значения G , а стрелки, направленные вверх, обозначают текучую среду в каналах, проходящих внутрь, которая при уменьшении значения G подвергается декомпрессии по направлению к оси вращения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

На Фиг. 1 и в соответствии с кратким описанием чертежа показан продольный разрез вдоль оси 1 вращения с одной стороны ротационного устройства 2, имеющего цилиндрическую форму и сторону впуска, на которой расположен полый входной вал 3, опирающийся на подшипник 4 входного вала, и, аналогичным образом, на стороне выпуска расположен полый выходной вал 5 с подшипником 6 выходного вала, что обеспечивает возможность вращения ротационного устройства 2. Устройство содержит и поддерживает в направлении от периферии испаритель 7, SMR 8, WGS 9 и тепловой насос HP 11, причем на стороне впуска, внутри полого входного вала 3 расположен канал 12 для впуска углеводорода (НС), который образован в осевой трубе, проходящей вокруг оси 1 вращения и закрепленной с помощью средств, обеспечивающих уплотнение внутреннего объема ротационного устройства 2 относительно внутреннего конца трубы, и далее соединяется с несколькими радиальными каналами 15 для НС, которые ответвляются наружу и доходят до одной осевой стороны испарителя 7, в который направляется НС. Испаритель 7 по форме напоминает полый цилиндр, поддерживаемый вдоль внутренней стороны периферической части труб ротационного устройства 2. Канал 13 подвода технической воды для процесса расщепления ведет в пространство в осевой трубе, расположенной вокруг канала 12 для впуска НС, и зафиксирован средствами, которые обеспечивают уплотнение внутри ротационного устройства 2 по направлению к внутреннему концу с внешней стороны трубы, аксиально снаружи внутреннего конца канала 12 для впуска НС, и далее соединяется с каналом 26 для оборотной воды, и они вместе ответвляются наружу внутри нескольких

радиальных каналов 14 для воды и проходят в испаритель 7, причем вода направляется в тот же конец, в который направляется текущий НС. Как радиальные каналы 15 для НС, так и радиальные каналы 14 для воды снабжены на чертеже символом 16, показанным на стрелках/линиях направления текущей среды наружу и обозначающим сжатие вследствие увеличения центробежной силы, которая сжимает и нагревает газ. Это относится ко всем радиальным каналам, направленным наружу. В испарителе 7 НС смешивается с водой, причем и то, и другое может быть в виде газа или жидкости, и за счет тепла из НР 11 и канала 25 для нагретой текущей среды опосредованно нагревается от периферии, превращаясь в сухую газовую смесь с соответствующим количеством тепла и избыточный водяной пар для теплопередачи и направляется в несколько каналов/отверстий внутрь к одному концу SMR 8 на его внешней периферии, обращенной к внутренней периферии испарителя 7, что также обеспечивает дополнительное тепло, подаваемое внутрь и вдоль по внешней периферии в SMR 8 для поддержания в нем стабильной температуры. Поскольку при эндотермическом каталитическом расщеплении газовая смесь преобразуется в синтез-газ (водород, СО и некоторое количество СО₂) и избыточный водяной пар, который не расходуется, они проходят через SMR 8 и выводятся на его другой конец на внутренней периферии, где синтез-газ передает непрямо тепло охлаждающей среде насоса НР 11 в SMR теплообменнике 20, которая после испарителя 7 охлаждается внутрь вследствие более низкого давления, что обозначено на чертеже символом расширения на канале 17 для охлаждающей текущей среды. То же самое относится ко всем другим внутренним каналам 18, 19 и 21 с различными текучими средами. После отдачи тепла охлаждающей текущей среде в SMR теплообменнике 20 синтез-газ и избыточный водяной пар передаются далее по нескольким SMR каналам 18 для синтез-газа, которые ответвляются внутрь к одному концу WGS 9, содержащему соответствующие катализаторы, при этом в экзотермическом/тепловыделяющем процессе происходит преобразование остатков СО и водяного пара в большее количество Н₂ и СО₂, которые являются конечными продуктами и вместе с избыточным водяным паром переносятся внутрь в несколько WGS каналов 19 для синтез-газа, разветвляющихся внутрь к осевому концу SEP (сепаратора) 10, где хладагент, подаваемый из канала 21 для охлаждающей текущей среды, сначала направляется в SEP 10 и отводит тепло к НР 11 через канал 22 для охлаждающей текущей среды для SEP, показанный двусторонней стрелкой ввода/вывода и соединенный с каналом 21 для охлаждающей текущей среды, проходящим от периферии, иллюстрируя подачу холода в SEP 10 и отвод из него тепла в НР 11. При охлаждении продуктов в SEP 10 весь избыточный водяной пар сначала конденсируется в жидкую воду, которая отводится для рециркуляции

через канал 26 для оборотной воды. При конденсации водяного пара парциальное давление остаточного газа значительно возрастает, и CO_2 конденсируется и становится жидким, а при дальнейшем охлаждении сжижается практически весь CO_2 и выпускается под давлением через канал 27 для выпуска CO_2 , который может быть аналогичен описанному каналу 13 для впуска воды. Оставшийся в сепараторе SEP 10 после прохождения ряда теплообменников поступает внутрь, таким образом, H_2 является относительно чистым и холодным и выводится под высоким давлением через канал 28 для выпуска H_2 , который может быть аналогичен описанному каналу 12 для впуска H_2 . Все тепло будет быстро передаваться внутрь к текучим средам при высокой конвекции и высоком значении G . Это обеспечит хороший и быстрый контакт между текучими средами и теплообменниками, которые при высоком значении G быстро передают тепло внутрь и холод наружу, а затем в реакторы с катализаторами, такие как SMR 8 и WGS 9, где массообмен является высоким и при наличии избыточного водяного пара поддерживается относительно стабильная температура реакций, которые, таким образом, могут проводиться максимально быстро с увеличением при этом конверсии продуктов, поступающих в SMR 8 и WGS 9, в новые продукты, поступающие внутрь к SEP 10. При высоком значении G теплу трудно перемещаться наружу в текучей среде, и, таким образом, оно действует как изолятор, что может быть использовано в ротационном устройстве, если это необходимо, например, более холодная текучая среда снаружи испарителя 7, имеющего форму полого цилиндра, в виде ламинарного потока проходит внутри через тепло при высоком значении G , что обеспечивает поддержание внешней периферийной трубы в относительно холодном состоянии и сохранение ее прочности, необходимой для обеспечения опоры.

Как показано на Фиг. 1, ротационное устройство 2 и его компоненты 7, 8, 9, 10, 11, а также теплообменники (не показаны) могут быть выполнены с осевыми трубами, отличающимися размером, материалом и радиусом и расположенными внутри друг друга или в некоторых случаях друг за другом. Трубы отцентрированы вокруг оси 1 вращения, охватывая ее, и в этом случае трубы, расположенные внутри, будут практически свободно омываться текучими средами, находящимися снаружи, и поэтому трубы внутри ротора могут быть относительно тонкими и могут улучшать теплообмен там, где это необходимо. Самая внешняя, самая большая и самая массивная труба будет образовывать периферию ротационного устройства 2 и может соответствовать периферии нагревательной текучей среды в испарителе 7. Следующая во внутреннем направлении труба представляет собой трубу для теплообмена между нагревательной текучей средой и испарителем 7, в которой смесь из подаваемых воды и углеводорода нагревается до состояния горячего сухого газа,

который удерживается на месте следующей теплообменной трубой, внутри которой он тоже отдает тепло и которая также является внешней периферийной трубой для SMR 8, образующей пространство со следующей трубой, расположенной в пределах ее внутреннего радиуса. Газовая смесь из испарителя 7 подается по нескольким каналам/отверстиям к одному концу отсека SMR 8 на его периферии. SMR содержит катализаторы, которые преобразуют часть водяного пара и HC в H_2 , CO и некоторое количество CO_2 . Осевая труба внутри SMR 8 может быть теплоизолирована, и внутри данной трубы может быть расположен SMR теплообменник 20, состоящий из двух полых цилиндрических отсеков, между которыми расположена теплообменная труба, причем в самой внешней полости образован осевой канал для синтез-газа с горячей текучей средой, проходящий от другого конца SMR 8, расположенного на внутренней периферии, через множество каналов/отверстий в канал для синтез-газа SMR теплообменника 20, а самый внутренний отсек представляет собой камеру для холодной текучей среды, выведенной по нескольким радиальным каналам 17 для охлаждающей текучей среды от конца испарителя 7, при этом охлаждающая текучая среда, поступающая внутрь при меньшем значении G и меньшем давлении, охлаждается по пути в свою камеру в SMR теплообменнике 20, предназначенную для холодной текучей среды, которая через трубу теплообменника отбирает тепло от синтез-газа, находящегося снаружи. Внутри SMR теплообменника 20 может быть расположена изолирующая труба, образующая внешнюю периферию WGS 9 и образующая пространство для него с теплообменной трубой внутри, которая отводит тепло внутрь от WGS 9, причем весь синтез-газ и избыточный водяной пар поступают из множества радиальных SMR каналов 18 для синтез-газа, проходящих от осевого канала для синтез-газа в один конец SMR теплообменника 20 и в один конец WGS 9, при этом проходящая через него в осевом направлении текучая среда преобразуется с помощью соответствующих катализаторов в большее количество H_2 и CO_2 , которые вместе с другим синтез-газом и избыточным водяным паром передаются от внутренней периферийной трубы, расположенной на другом конце, внутрь в несколько радиальных WGS каналов или отверстий 19 для синтез-газа, внутрь в SEP 10, содержащий ряд теплообменников, состоящих из нескольких осевых труб, между которыми внутрь по направлению к оси вращения образовано пространство, причем каждое второе пространство предназначено для продуктов, а остальные – для охлаждающей текучей среды, которая должна в них находиться, поскольку отбирает тепло внутрь из пространства теплообменника для продуктов, при этом сначала конденсируется избыточная вода, которая отводится в жидком виде в канал 26 для оборотной воды, затем сразу же конденсируется CO_2 и после

дальнейшего охлаждения под давлением в жидком и холодном виде в канал 27 для выпуска CO_2 , и, наконец, холодный, чистый газообразный H_2 под давлением выводится в канал 28 для выпуска H_2 . Может быть предусмотрено несколько теплообменников, аналогичных упомянутым выше и установленных радиальным образом внутри SMR 8 и WGS 9, при этом данные теплообменники нагревают воду и углеводород на их пути наружу к испарителю 7, и/или данные теплообменники нагревают холодную текучую среду на пути внутрь и/или после того, как она сначала направляется из испарителя 7 непосредственно в SEP 10 для создания там самой низкой температуры, а затем снова наружу в один или более теплообменников для отбора тепла в процессе переноса и внутрь в HP 11, который поддерживается трубой и внутри также может быть выполнен со статорами, приведенными в соответствие с ротором осевого компрессора, если таковой используется. Либо цилиндрическая труба и по меньшей мере один центробежный компрессор и лопаточный диффузор снаружи по своей периферии соединен с каналами 25 для нагревательной текучей среды.

Вышеупомянутые осевые трубы вокруг оси вращения поддерживаются и уплотняются с помощью расположенных на концах средств относительно дисков (не показаны), которые дополнительно отцентрированы и поддерживаются ротационным устройством 2, при этом все каналы уплотнены и зафиксированы относительно друга друг с использованием соответствующих средств. Данные диски могут иметь проходящие через них осевые каналы, а также радиальные каналы, расположенные внутри дисков или между ними, предназначенные для переноса всей текучей среды внутри ротационного устройства по соответствующим осевым трубчатым каналам и соединенные со всеми впусками и выпусками, при этом в местах крепления всех каналов снаружи/внутри предусмотрены уплотнения и крепежные элементы.

На практике тепловой насос HP 11 расположен ближе к оси вращения, чем показано на принципиальной схеме, и содержит компрессор (не показан), который может представлять собой компрессор осевого и/или центробежного типа и вал которого отцентрирован вдоль оси 1 вращения ротационного устройства 2 и соединен с электродвигателем EL 24 (не показан) для обеспечения вращения, при этом вал может быть сбалансирован и установлен внутри ротационного устройства 2 по центру вокруг оси 1 вращения (не показано) при подключении к цепи насоса HP 11 изолированными проводами, соединенными с его токосъемными кольцами, изолированными на внешнем выходном валу 5, которые при контакте с соответствующими неподвижными щетками обеспечивают питание EL 24, а отдельный двигатель (не показан) присоединен к одному из валов 3, 5 для

соответствующего вращения ротационного устройства 2. Или же электрический двигатель EL 24 (не показан), расположенный в осевом направлении снаружи отдельных валов 3, 5 ротационного устройства 2, соединен с компрессором насоса НР 11 через магнитную муфту для обеспечения герметичности газа в компрессоре, при этом электрический двигатель обеспечивает вращение как компрессора, так и ротационного устройства 2 путем обеспечения возможности перемещения текучей среды из компрессора насоса НР к статорам и/или диффузорам, прикрепленным к ротационному устройству 2, с передачей ему заданного усилия вращения. С другой стороны, НР 11 также может быть расположен снаружи ротора и иметь канал 23 для впуска/выпуска охлаждающей текучей среды, либо НР меньшего размера расположен внутри ротора, а НР большего размера расположен снаружи ротора, и их каналы 23 для впуска/выпуска охлаждающей текучей среды соединены друг с другом.

Назначение специального НР 11 заключается в создании тепла и холода, для чего используется тяжелый газ, который не расходуется, обладает низкой теплоемкостью (C_p) и может представлять собой ксенон или специальную газовую смесь, а во время работы находится под давлением во всем герметичном контуре насоса НР 11, при этом текучая среда на пути наружу называется нагревательной текучей средой, а на пути внутрь и на всем пути к компрессору насоса НР 11 называется холодной текучей средой. Основное выделение тепла в НР контуре происходит после компрессора, после чего внутри разветвленных радиальных каналов 25 для нагретой текучей среды тяжелый газ сжимается под действием высокой центробежной силы (G) и отдает все больше и больше тепла наружу, которое в конечном итоге опосредованно выделяется с периферии в соответствующем количестве внутрь как испарителя 7, так и SMR 8 для осуществления процесса. Оно равно абсолютной разнице ($\Delta T = \frac{v^2 - v_0^2}{2c_p}$) температур в каналах 25 для теплой текучей среды, проходящей наружу, и в каналах 17, 20, 21, 22, 23 для охлаждающей текучей среды, проходящей внутрь обратно в НР 11, причем текучая среда снова превращается в охлаждающую текучую среду на ее пути внутрь из испарителя 7 по каналам для охлаждающей текучей среды. После того, как она отдает тепло по периферии до испарителя 7 и направляется внутрь, в его каналы 17, 21 для охлаждающей текучей среды, она сразу же становится гораздо холоднее, чем другие продукты, находящиеся на таком же радиальном расстоянии. Таким образом, холодная текучая среда получает значительное количество возвращаемого внутрь тепла. Чем больше тепла поступает далее по направлению к периферии, как в случае SMR теплообменника 20, тем меньше холода будет поступать в

центр, как в случае сепаратора 10, и это также обеспечит меньшую работу, необходимую для сжатия нагревательной текучей среды в НР 11, чтобы иметь возможность снова подавать более холодную охлаждающую текучую среду при более высоком значении G. однако охлаждающая текучая среда также может быть сначала направлена непосредственно в несколько радиальных каналов, которые разветвляются внутрь (не показаны) к сепаратору 10 для обеспечения в нем как можно более низкой температуры охлаждающей текучей среды и наилучшего разделения, прежде чем нагревательная текучая среда будет направлена наружу в SMR теплообменник 20 для получения тепла от находящихся там продуктов, или охлаждающая текучая среда направляется из SEP 10 и через SEP канал 22 охлаждения непосредственно в НР 11 или сначала за пределы ротора по каналу 23 для выпуска охлаждающей текучей среды и получает тепло опосредованно из окружающей среды, а затем в НР 11 по каналу 23 для впуска охлаждающей текучей среды, причем на принципиальной схеме каждый канал показан общей стрелкой, обозначающей выпуск/впуск. Вместо этого соответствующее охлаждение синтез-газа в SMR теплообменнике 20 и/или аналогичном теплообменнике в WGS 9 может осуществляться с помощью воды и НС, которые выходят наружу по радиальному каналу 14 для воды и радиальному каналу 15 для НС и испаряются до испарителя 7. При этом вышеуказанный контур насоса НР 11 на всем пути от испарителя 7 до SEP 10 и затем снова наружу к SMR теплообменнику требует более высокой работы сжатия в НР 11, но, тем не менее, данная энергия ниже, чем эндотермическая энергия, которая требуется для SMR 8 при постоянном вращении ротационного устройства 2, при этом они будут оказывать равное сопротивление вращению, если все текучие среды перемещаются наружу и внутрь и если они не перемещаются, то есть в случае, если бы это был массивный ротор с перемещением текучей среды или без него. Охлаждающий канал в НР 11, ведущий от периферии, также может проходить через теплообменник (не показан) внутри экзотермического/тепловыделяющего WGS 9 и находиться в опосредованном контакте с ним и выходящими из него газами, которые опосредованно охлаждаются охлаждающей текучей средой в теплообменнике, при этом охлаждающая текучая среда направляется по каналу к сепаратору 10 или непосредственно к НР 11. Для контура охлаждения, выполненного с каналами 23 ротора для выпуска/впуска охлаждающей текучей среды, для обеспечения опосредованного отбора тепла из окружающей среды с помощью впускного канала охлаждающая текучая среда может быть таким же газом и подводиться непосредственно к каналам во внутреннем контуре ротора, либо это может быть отдельный контур со своей собственной текучей средой, которая может представлять собой антифриз, отдающий тепло к охлаждающей

текучей среде внутреннего контура через теплообменник, расположенный перед компрессором насоса НР 11.

Ротационное устройство 2 может содержать большее количество тепловых насосов, чем один показанный НР 11, с их собственными герметично замкнутыми контурами высокого давления, при этом тепловые насосы могут быть соединены друг с другом магнитным способом для обеспечения вращения и герметичного уплотнения между ними, либо по меньшей мере один НР соединен с валом другого насоса при одинаковом направлении вращения или противоположном направлении вращения, причем по меньшей мере один из других тепловых насосов обладает большей вращательной силой для обеспечения соответствующего вращения ротационного устройства 2, как указано выше. Например, НР контур может обеспечивать жидкий H_2 на выходе (не показан) благодаря тому, что по меньшей мере один из других тепловых насосов, предварительно охлаждает H_2 , и в нижней части SEP 10 остается только холодный H_2 , а другой НР контур содержит собственный сжатый газ в качестве охлаждающей текучей среды, который может представлять собой аргон, неон или гелий, либо специальную газовую смесь, подаваемую в каналы при соответствующем давлении и количестве, аналогично описанному для НР 11, и к отдельному испарителю для НС, расположенному снаружи испарителя 7 и выполняющему такую же функцию, что и указанный испаритель, и газообразная нагревательная текучая среда направляется к одному его концу, в его самую дальнюю камеру для теплой текучей среды, а из канала 12 для впуска НС подается холодная жидкость, которая может представлять собой жидкий холодный метан/СПГ (сжиженный природный газ), проходящий по специально предназначенным каналам к другому концу НС испарителя 7, в его внутреннюю НС камеру, которая с помощью тепла, подаваемого через трубу теплообменника на ее периферии, испаряет жидкий метан, превращая его в газ, при помощи противоточного непрямого теплообменника с использованием тепла от нагревательной текучей среды, проходящей снаружи. Выпаренный газообразный метан направляется из НС испарителя по каналам внутрь для любого дальнейшего нагрева, прежде чем быть направленным во второй испаритель 7 для получения дополнительного тепла вместе с водой/водяным паром, как указано выше. В этом случае охлаждающая текучая среда на выходе из НС испарителя может быть такой же холодной, как и поступающий жидкий метан. Температура охлаждающей текучей среды еще больше снижается, когда она направляется по каналам внутрь, как указано выше, в самую внутреннюю часть сепаратора, расположенную вокруг оси 1 вращения, где радиальные каналы для охлаждающей текучей среды соединены на одном из закрытых концов в

центрированную осевую охлаждающую трубу, образующую теплообменник для охлаждающей текучей среды, который заполнен очень холодной охлаждающей текучей средой и может сделать ее еще холоднее с использованием по меньшей мере одного дросселя для снижения давления на впуске или еще нескольких при прохождении через канал теплообменника, где охлаждающая текучая среда получает тепло по направлению к впуску на другом конце. С внешней стороны трубы теплообменника, в которой находится охлаждающая текучая среда, расположена отцентрированным образом еще одна труба, которая закрыта на концах, образуя пространство, аналогичное описанному выше, куда под высоким давлением подается холодный H_2 перед первым сепаратором 10, поступаая из каналов для H_2 , находящихся на противоположных осевых концах от впуска для неона, что образует противоточный теплообменник, внутри которого H_2 отдает тепло охлаждающей текучей среде, имеющей соответствующее давление и температуру, которая ниже критической температуры для H_2 при высоком давлении и обеспечивает превращение H_2 в жидкость. Цилиндр для охлаждения H_2 содержит никелевые катализаторы для преобразования H_2 из ортоводорода в параводород перед подачей в канал 28 для выпуска H_2 . Охлаждающая текучая среда из теплообменника для охлаждающей текучей среды может быть направлена для дальнейшего поглощения тепла/охлаждения внутри и/или снаружи ротора, как указано выше, перед направлением охлаждающей текучей среды к соответствующему ей компрессору в соответствующем НР контуре и рециркуляцией наружу к периферии. Таким образом, ротационное устройство 2 может быть относительно холодным снаружи и, в дополнение к получению тепла, отводимого от процесса, продуктов и окружающей среды за пределами ротора, будет использовать низкотемпературное тепло и, следовательно, обеспечивать устройство с очень высокой эффективностью.

Ротационное устройство 2 также может работать при более низких оборотах в минуту, и компрессор(ы) теплового насоса(-ов) обеспечивает(-ют) основное сжатие и выработку тепла, при этом по меньшей мере один соответствующий дроссель установлен на входе внутрь осевых теплообменников, каждый из которых может содержать несколько дросселей, обеспечивающих соответствующее понижение температуры охлаждающей текучей среды при ее продвижении внутрь, а также возможность ее конденсации в осевом направлении и последующее испарение вследствие поглощения тепла, как указано выше, прежде чем охлаждающая текучая среда в конечном итоге вернется в свой компрессор (компрессоры).

Поступающие текучие среды в каналах 12, 13 и в каналах 26 для оборотной воды также могут проходить в радиальные каналы 14, 15 через теплообменники в контуре WGS

9, и/или SMR 8, и/или насоса НР 11, передающих им тепло, которого может быть достаточно для того, чтобы вода в каналах 13, 26, 14 стала жидкой, и для углеводорода в каналах 12, 15, если он также находится в жидком виде, с обеспечением их испарения до достижения испарителя 7, который затем дополнительно нагревает их до заданной температуры. Поскольку жидкость обеспечивает наибольшее сжатие, испарение по меньшему радиусу приведет к снижению давления по направлению к испарителю 7 и далее внутрь него. Это может быть реализовано с помощью канала для улавливания воды (не показан), который сначала направляет пар внутрь к соответствующему радиусу, прежде чем направить его к испарителю 7. Если обе поступающие текучие среды в каналах 12, 13, являются жидкими и имеют одинаковую температуру, они могут иметь общий выпуск, которым может являться канал 13 для впуска воды, где они смешиваются с оборотной водой из канала 26 для оборотной воды, прежде чем все вместе будут направлены в несколько радиальных каналов 14 для воды, ведущих наружу, как описано выше. При таком решении канал 12 для впуска НС может отсутствовать или может быть использован для других целей, например, в качестве канала 23 для впуска охлаждающей текучей среды, которая собирает тепло из окружающей среды через внешний теплообменник и отводится с помощью средств в его контур, при этом выпуск 23 для охлаждающей текучей среды находится там, где показано на чертеже.

В центре также может быть расположена по меньшей мере одна паровая турбина (не показана), соединенная по центру с одним или более тепловыми насосами через магнитную муфту, причем горячий синтез-газ вместе с избыточным водяным паром из SMR 8 сначала направляется непосредственно на выпуск паровой турбины, что обеспечивает вращательное усилие, которое уменьшает эквивалентную мощность EL 24, подаваемую на EL электродвигатель (электродвигатели) теплового насоса (насосов). После паровой турбины синтез-газ с избыточным водяным паром подается далее в каналы за ее пределы, снова в SMR каналы 18 для синтез-газа вследствие соответствующего более низкого или более высокого перепада давления в турбине, а затем через осевой теплообменник радиально наружу WGS 9, где текучие среды с помощью упомянутых средств получают соответствующее тепло, которое может иметь охлаждающая текучая среда в SMR теплообменнике 20, и, как указано выше, меняются местами, при этом более теплая охлаждающая текучая среда находится дальше всего от центра, а синтез-газ из паровой турбины вместе с избыточным водяным паром находится внизу и после соответствующего нагрева подается в WGS 9 по WGS каналам 19 для синтез-газа, описанным выше. Давление после паровой турбины должно быть отрегулировано таким образом, чтобы оно не было

настолько низким, чтобы давление газов и водяного пара в SEP 10 достигало давления, которое ниже их критического давления по сравнению с охлаждающей текучей средой, находящейся при температуре SEP 10, для обеспечения конденсации каждой текучей среды. Синтез-газ и дополнительный водяной пар также могут подаваться из WGS канала 19 для синтез-газа в указанную паровую турбину, после чего текучие среды направляются при заданном давлении в SEP 10 для дальнейшей конденсации, как указано выше. Кроме того, в центре каждой охлаждающей текучей среды может иметься по меньшей мере одна специальная турбина, используемая в работе для адаптированного расширения для достижения более низкой температуры в SEP 10.

WGS 9 состоит из низкотемпературной (LT) и высокотемпературной (HT) зон, для каждой из которых подобраны специальные катализаторы.

До сих пор говорилось, что WGS 9 расположен в радиальном направлении внутри SMR 8, однако WGS 9 также может быть расположен на периферии ротационного устройства 2 и в продольном осевом направлении рядом с одним из концов испарителя 7 и SMR 8, при этом внутренний радиус может быть предпочтительно таким же, как для SMR 8. Таким образом, WGS 9 может быть сделан более коротким в осевом направлении и работать при более высоком значении G , что является преимуществом, а также может быть сделан меньше по внутреннему радиусу, но при той же производительности, что и раньше. Впуски/выпуски в/из WGS 9 и теплообменники могут быть аналогичными описанным выше.

Ротационное устройство 2 заключено в цилиндрический защитный кожух (не показан), который на каждом конце в центре поддерживает подшипник 4 входного вала и подшипник 6 выходного вала, причем между защитным кожухом и валом 3, 5 также могут быть установлены динамические уплотнения (не показаны), которые предпочтительно могут быть расположены по обе стороны от каждого подшипника 4, 6, при этом подшипники могут представлять собой радиальные подшипники, осевые подшипники с шариками или подшипники скольжения, снабженные средствами для смазки и поддержания температурного баланса. На внутренней стороне защитного кожуха может быть выполнен выводной канал и средство для создания низкого давления/вакуума, которое снижает сопротивление вращению, шум и теплотери от ротационного устройства 2. Защитный кожух может быть установлен горизонтально или вертикально в закрепленной части с соединительными средствами, установленные на указанных входе и выходе. К одному концу отцентрированного защитного кожуха прикреплен двигатель для компрессора НР 11 и/или для вращения ротационного устройства 2 и, как вариант, щетки,

двигатель компрессора которых находится внутри соответствующего контура НР 11.

Вокруг каждого впускного канала 12, 13, 23 и каждого выпускного канала 27, 28, 23 присоединены специальные уплотнительные узлы (не показаны), причем неподвижная часть уплотнительного узла прикреплена соответствующими средствами к защитному кожуху и отцентрирована относительно него. Уплотнительный узел может быть выполнен по типу патронного уплотнения со специальным креплением, поверхностью скольжения для обеспечения высоких оборотов, температуры, давления, впуска/выпуска текучей среды, причем поверхность скольжения может быть выполнена из карбида.

SMR 8 может быть заполнен и снабжен несколькими тонкими каталитическими дисками (не показаны), расположенными перпендикулярно оси 1 вращения, проходящими по направлению и вокруг всей внутренней и внешней периферии внутри SMR 8. Диски выполнены тонкими и могут иметь небольшие лопатки, загнутые назад в радиальном направлении, и пористую структуру по всей стороне каталитической поверхности, при этом все лопатки могут быть загнуты назад в направлении вращения, либо таким образом выполнен каждый второй диск, а каждый второй диск между ними имеет с каждой стороны загнутые вперед лопатки. В этом случае прижатые друг к другу лопатки будут перекрывать друг друга и располагаться поверх друг друга в осевом направлении. Это обеспечивает оптимальное пространство между дисками и улучшает турбулентность в дополнение к высокому значению G , что обеспечивает дополнительное смешивание вследствие изменения плотности при перемещении текучих сред вдоль дисков и лопаток наружу/внутрь, а также обеспечивает лучший контакт с катализаторами и увеличивает конверсию, которая может происходить очень быстро без чрезмерного охлаждения, благодаря теплу, переносимому избыточным водяным паром, и теплу от испарителя 7 по периферии, который передает избыточное тепло внутрь как через диски, так и через газ, находящийся в SMR. Самонесущий сердечник диска изготовлен из материала, который устойчив к воздействию температуры, окислению и усилиям, возникающим в SMR при его вращении и работе. Поверхности дисков покрыты одним или более катализаторами и отцентрированы в контакте с внутренней и внешней периферией SMR 8 для переноса тепла через диски от периферии и в другие места внутри SMR 8. Каждый диск имеет несколько отверстий или полукруглых канавок, которые равномерно расположены вдоль внутренней и внешней периферии и в собранном положении образуют осевые каналы на внутренней и внешней периферии SMR 8. Также возможен вариант, при котором некоторые диски не имеют указанных отверстий или канавок ни по внутренней, ни по внешней периферии для впуска текучих сред на периферии одного конца SMR 8, и после прохождения

определенного количества дисков диск, не имеющий отверстий/канавок на своей периферии, блокирует осевой канал вдоль периферии, так что текучая среда должна поступать внутрь между другими дисками и по внутренним периферийным каналам. После равного количества дисков, расположенных после диска, перекрывшего канал на внешней периферии, следует диск, не имеющий отверстий/канавок на его внутренней периферии. В результате текучие среды снова вытесняются наружу и аналогичным образом продолжают поступать внутрь и наружу еще несколько раз, проходя через SMR 8 до его выпуска, как описано выше для текучих сред на его внутренней периферии у другого конца. WGS 9 и камеры сжижения H_2 могут быть сконструированы аналогичным образом с использованием соответствующих им каталитических дисков.

Поскольку внутри ротационного устройства 2 имеют место большие колебания температуры, а также для обеспечения расширения материалов вследствие повышения температуры и сжатия материалов при низких температурах, предусмотрены специальные зоны радиального и осевого расширения, которые могут воспринимать данное движение без чрезмерных напряжений, сохраняя при этом герметичность, и обеспечивают соответствующую связь для удерживания частей ротационного устройства 2 на месте, чтобы избежать нарушения равновесия и протечки. Это может быть обеспечено в подходящих местах (не показаны) путем выполнения всех вышеупомянутых труб/полых цилиндров по всей их длине или вдоль ее части с волнообразной формой/гофрированием, полностью поперечным относительно оси вращения, или с формой, которая может напоминать гофрированную наружную и внутреннюю резьбу в одном и том же месте в одинаковом положении на внешней и внутренней сторонах, что обеспечивает одинаковую толщину трубы и осевую пружинящую опору, отрегулированную в осевом направлении. Аналогичным образом, такое устройство также может быть выполнено полностью или частично в радиальном направлении на дисках, которые поддерживают концы трубы. Вышеуказанные каталитические диски в SMR 8 и WGS 9 могут быть подогнаны к гофрированной резьбе и привинчены по месту так, что соответствующие отверстия/канавки на внутренней и внешней периферии образуют осевые каналы, которые теперь будут следовать по резьбе, или, в случае поперечного гофрирования и резьбы, внутренняя и наружная трубы вставлены так, что их наружная сторона прилегает к внутренним вершинам гофры. Внутренняя и наружная трубы предпочтительно могут быть выполнены с рядом отверстий, которые заменяют отверстия/канавки каталитических дисков и предназначены для выполнения той же функции, что указана выше, в том смысле, что отверстия во внутренней/наружной трубах выполнены с возможностью как впуска, так и выпуска из

каждого гофра.

Ротационное устройство 2 содержит торцевые крышки, которые прикреплены к наружной трубе и уплотнены относительно нее и в центре каждой из которых проходит вал 3, 5, при этом торцевые крышки могут быть предпочтительно сферическими и иметь форму полой полусферы/шаровидной крышки, при этом стенка крышки может иметь одинаковую толщину в радиально-наружном направлении и на каждом конце обращена в осевом направлении наружу. Это обеспечивает повышенную радиальную и осевую гибкость, а также сокращает количество используемого материала, необходимого для достижения заданной прочности. Вышеописанные диски также могут иметь аналогичную форму (не показана), которая обеспечивает поддержание всех труб на концах, и в этом случае каждая полусфера может быть прикреплена к отдельным трубам на каждом конце и уплотнена относительно них в осевом направлении. Пространство, образованное внутри между каждой полусферой и внешними лопатками, сбалансированными и отцентрированными по направлению к внутренней стороне наружной части полусферы, может образовывать каналы для отвода текучей среды наружу/внутрь полностью или отвода частично наружу/внутрь, причем один и тот же канал может использоваться для различных текучих сред, но при этом каналы герметичны относительно других текучих сред в пределах радиуса, куда они с помощью соответствующих средств направляются в отдельные каналы, входя в реакторы или теплообменники внутри ротационного устройства 2 или выходя из них. Кроме того, торцевые крышки могут иметь такую форму, что сначала они изгибаются в осевом направлении наружу от периферии, а затем снова изгибаются по радиусу в осевом направлении полностью или частично внутрь, при этом валы 3, 5, прикрепленные в центре к торцевым крышкам, становятся ближе к концам друг друга в осевом направлении. Защитный кожух внутри будет иметь такую же форму, что и ротационное устройство 2 снаружи, с образованием между ними соответствующего зазора.

Каналы ротационного устройства от впуска до выпуска могут быть, с помощью специальных средств, теплоизолированы от всех теплообменников и всех вращающихся частей 7, 8, 9, 10, 11.

Ротационное устройство 2 должно быть изготовлено из материалов, необходимых для выдерживания усилий, возникающих при интенсивном вращении, высоком давлении, высоких и низких температурах и химических реакциях, чтобы поддерживать прочность во время вращения и технологического процесса.

Теплообменники должны быть изготовлены из материала с высокой теплопроводностью и прочностью в отношении температуры и давления, при которых они

работают.

Ротационное устройство может быть выровнено с помощью средств самобалансировки, которые могут представлять собой по меньшей мере один канал, проходящий окружным образом по периферии и частично заполненный жидкостью.

Ротационное устройство 2 описано выше в виде нескольких частей, которые собираются с использованием крепежных элементов, герметиков, изоляторов и катализаторов. Однако весь ротор или его части также могут быть напечатаны на 3D-принтере, при этом каждая среда и структура наращиваются послойно в осевом направлении, образуя готовый сбалансированный герметичный ротор с одновременно соединяемыми каналами.

Указанные катализаторы, используемые в SMR 8 и WGS 9, могут быть в любом виде с оксидом или без него или в комбинации с: платиной, никелем, иридием, кобальтом, железом, иттрием, цирконием, стронцием, лантаном, марганцем, медью, цинком, алюминием или материалами, имеющими аналогичные свойства.

Фиг.1 представляет собой принципиальную схему и не отображает реальную конструкцию устройства.

ОБОЗНАЧЕНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ С КОММЕНТАРИЯМИ

1. Ось вращения
2. Ротационное устройство, содержащее нижеперечисленное:
3. Входной вал, полый.
4. Подшипник входного вала.
5. Выходной вал, полый.
6. Подшипник выходного вала.
7. Испаритель.
8. Реактор SMR (парового риформинга метана).
9. Реактор WGS (конверсии водяного газа).
10. SEP (сепаратор), конденсационный сепаратор, содержащий ряд осевых теплообменников, где тепло отводится от продуктов к охлаждающей текучей среде, которая находится на меньшем радиальном расстоянии, чем более горячие SEP продукты.
11. НР (тепловой насос), содержащий компрессор.
12. Канал для впуска НС (НС – углеводород), осевая труба.
13. Канал для впуска воды, предназначенный для подачи технической воды в пространство внутри осевой трубы, проходящей вокруг канала 12 для впуска НС.

14. Радиальные каналы для воды, отходящие от центрального канала 13, 26 для выпуска воды наружу к испарителю 7.

15. Радиальные каналы для НС, отходящие от центрального канала 12 для выпуска НС наружу к испарителю 7.

16. Символы сжатия, показанные на всех стрелках/текучих средах в направлении наружу, в сторону увеличения центробежной силы, где газ становится горячее.

17. Каналы для охлаждающей текучей среды, проходящие от испарителя 7, с символом декомпрессии, одинаковым для всех стрелок/текучих сред в направлении внутрь, где центробежная сила уменьшается и газ становится холоднее.

18. SMR каналы для синтез-газа, отходящие внутрь от конца SMR теплообменника 20 к одному концу WGS 9.

19. WGS каналы для синтез-газа, проходящие от выпуска WGS 9 и разветвляющиеся внутрь на несколько каналов по направлению к одному концу SEP 10 на его периферии.

20. SMR теплообменник, собирающий тепло из SMR канала 18 для синтез-газа, выходящего из SMR 8.

21. Каналы для охлаждающей текучей среды, разветвляющиеся радиально внутрь для охлаждающей текучей среды, проходящей от конца SMR теплообменника 20, могут отводить внутрь тепло от WGS 9, как показано двусторонней стрелкой.

22. Канал охлаждения SEP, предназначенный для охлаждающей текучей среды, проходящей из каналов 21 для охлаждающей текучей среды в SEP 10 и из SEP 10 в НР 11, на чертеже показан общими стрелками для каждого канала, ведущего в/из SEP 10.

23. Канал для выпуска охлаждающей текучей среды и канал для впуска охлаждающей текучей среды, собирающий тепло окружающей среды, показан на чертеже общей стрелкой для каждого канала впуска/выпуска.

24. EL, электроэнергия, подаваемая на электродвигатель для приведения в действие компрессора в насосе НР 11 и ротационного устройства 2.

25. Каналы для нагретой текучей среды, проходящие от компрессора насоса НР 11 к периферии испарителя 7, при этом температура нагревательной текучей среды в каналах все более повышается при прохождении наружу.

26. Канал для оборотной воды, предназначенный для конденсированной воды в жидком виде, поступающей из SEP 10.

27. Канал для выпуска CO₂, предназначенный для конденсированного холодного CO₂ из SEP 10.

28. Канал для выпуска Н₂, предназначенный для холодного газообразного Н₂ высокого давления или Н₂, сжиженного с помощью нескольких НР 11.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для получения H_2 и CO_2 из углеводорода и воды, подаваемых под высоким давлением, содержащее

средство для вращения ротационного устройства (2) с впуском (12) для углеводорода и впуском (13) для воды, а также с выпуском (27) для жидкого CO_2 и выпуском (28) для H_2 , причем внутри и на периферии ротационного устройства расположен полый цилиндрический испаритель (7), соединенный с впуском (12) для углеводорода и впуском (13) для воды и расположенный на одной линии с теплообменником, в который поступает нагревательная текучая среда (25) из теплового насоса НР (11) для опосредованного нагрева и испарения потока углеводородов и воды,

реактор SMR (8) парового риформинга метана, соединенный с испарителем (7) и снабженный катализаторами для преобразования углеводорода и воды в синтез-газ, который содержит H_2 , CO и CO_2 и вместе с избыточным водяным паром подается через теплообменник (20) SMR в

реактор WGS (9) конверсии водяного газа, снабженный катализаторами для преобразования CO и воды в дополнительное количество H_2 и CO_2 ,

газовый сепаратор SEP (10), связанный с WGS (9) и НР (11) и снабженный несколькими теплообменниками, которые конденсируют сначала жидкую оборотную воду (26), затем жидкий CO_2 , подаваемый под давлением в канал (27) для выпуска CO_2 , и, наконец, остаточный продукт H_2 , холодный сжатый газ, подаваемый в канал (28) для выпуска H_2 .

2. Устройство по п.1, в котором тепло передается от более теплой текучей среды к более холодной текучей среде внутри ротационного устройства (2) в соответствующем месте, при этом имеется несколько специальных осевых теплообменников, которые отцентрированы вокруг оси (1) вращения и каждый из которых имеет две полые цилиндрические осевые камеры, ограниченные внутренней и наружной трубами, между которыми расположены трубы осевого теплообменника, уплотненные и поддерживаемые на их концах, причем самая теплая текучая среда выпускается в канал на осевом конце самой внешней полый цилиндрической камеры и выводится в канал на другом конце, а самая холодная текучая среда отводится по каналу в самую внутреннюю полую цилиндрическую камеру на конце, противоположном в осевом направлении впуску самой теплой текучей среды, при этом самая холодная текучая среда получает тепло от самой горячей текучей среды снаружи через трубу теплообменника при противоточном

теплообмене, прежде чем нагретая текучая среда направляется к выпуску на другом осевом конце, и если более теплый источник расположен снаружи внешней камеры для охлажденной текучей среды, тепло может быть изолировано с помощью теплоизоляционной трубки, расположенной на внешней стороне самой внешней трубы теплообменника.

3. Устройство по п.1, 2, в котором углеводород и вода из указанного впуска (12, 13), направляясь наружу в испаритель (7), получают тепло через осевые теплообменники и испаряются вследствие тепла от внутреннего радиуса WGS (9) и/или SMR, и/или от осевого WGS канала (19) для синтез-газа, и/или от осевого SMR канала (18) для синтез-газа, и/или от теплообменника с охлаждающей текучей средой из каналов (17) для охлаждающей текучей среды в самом внешнем канале теплообменника, если она теплее, чем текучие среды на впуске (12, 13), причем из теплообменника, где происходит испарение поступающих текучих сред, текучая среда сначала направляется в каналы внутрь до соответствующего радиуса, а затем по каналам наружу для любого дальнейшего нагрева или непосредственно в испаритель (7) для окончательного подогрева, прежде чем поступающие текучие среды будут направлены в SMR (8).

4. Устройство по п.1, в котором НР 11 снабжен несколькими тепловыми насосами с собственными контурами и газами, предназначенными для нагрева и охлаждения в подходящем месте внутри и снаружи ротационного устройства (2), причем первый контур НР (11) может содержать ксенон или смешанный газ под высоким давлением, а другой контур теплового насоса может быть предназначен для сжижения водорода, при этом газ под высоким давлением, который находится в контуре и может быть одним из аргона, неона, гелия или соответствующей газовой смеси, сжимается и направляется наружу к противоточному теплообменнику на периферии, используемому опосредованно в качестве противоточного теплообменника для жидкого НС, который может представлять собой метан/сжиженный природный газ из каналов (12, 15) для впуска НС и который испаряется и может быть направлен внутрь для дальнейшего нагрева перед подачей в испаритель (7), при этом охлаждающая текучая среда на выходе из теплообменника может иметь ту же температуру, что и жидкий НС на входе в него, и охлаждающая текучая среда теплообменника направляется с дальнейшим понижением температуры в каналы, ведущие внутрь, в следующий противоточный теплообменник на оси (1) вращения, где она отбирает тепло от H_2 до тех пор, пока он не сконденсируется под высоким давлением во внешней камере, где расположены никелевые катализаторы для преобразования H_2 из ортоводорода в параводород перед его подачей в жидком состоянии канал (28) для выпуска H_2 .

5. Устройство по п.1, 2, в котором крепления ротационного устройства (2) с по меньшей мере одним SMR (8) с катализаторами, по меньшей мере одним WGS (9) с катализаторами и по меньшей мере одним насосом HP (11) с компрессором расположены и поддерживаются между каждой осевой внутренней и наружной трубами, которые отцентрированы вокруг оси (1) вращения, каждая из которых образует соответствующее полое цилиндрическое пространство и которые могут быть расположены друг в друге в указанном порядке и поддерживаются, крепятся и герметизируются на концах труб с помощью отцентрированных опорных дисков, поддерживаемых ротационным устройством (2), причем в опорных дисках расположены каналы для впуска текучей среды в каждое полое цилиндрическое пространство / выпуска текучей среды из него.

6. Устройство по п.1 или 5, в котором SMR (8) и WGS (9) заполнены и снабжены несколькими тонкими дисками из самонесущего материала, расположенными перпендикулярно оси (1) вращения по направлению и вокруг всей внутренней и внешней периферии внутри SMR (8) и WGS (9), причем диски могут быть выполнены тонкими и могут иметь небольшие лопатки, загнутые назад в радиальном направлении, при этом диски имеют соответствующую пористую каталитическую поверхностную структуру с каждой стороны, и все лопатки могут быть загнуты назад в направлении вращения, либо каждый второй имеющийся диск и каждый второй диск между ними имеет с каждой стороны загнутые вперед лопатки, при этом каждый диск может иметь несколько отверстий или полукруглых канавок, которые равномерно расположены вдоль внутренней и внешней периферии и в совмещенном положении образуют осевые каналы на внутренней и внешней периферии SMR (8) и WGS (9), а некоторые диски не имеют таких отверстий или канавок ни по внутренней, ни по внешней периферии для впуска текучих сред на периферии на одном конце SMR (8) и WGS (9), и после прохождения определенного количества дисков диск, не имеющий отверстий/канавок на своей периферии, блокирует осевой канал вдоль периферии, так что текучая среда должна проходить внутрь между другими дисками и по внутренним периферийным каналам, причем после равного количества дисков, расположенных за диском, перекрывающим канал на внешней периферии, следует диск, не имеющий отверстий/канавок на его внутренней периферии, так что текучие среды снова вытесняются наружу и аналогичным образом продолжают поступать внутрь и наружу еще несколько раз, проходя через SMR (8) и WGS (9) до их выпуска (18, 19) на внутренней периферии на другом конце.

7. Устройство по п.1 или 4, в котором HP (11) выполнен на оси (1) вращения, расположен вокруг нее и содержит по меньшей мере один компрессор, который может

представлять собой компрессор осевого и/или центробежного типа и вал которого отцентрирован вдоль оси (1) вращения ротационного устройства (2) и соединен с электродвигателем EL (24) для обеспечения вращения, при этом вал может быть сбалансирован и установлен внутри ротационного устройства (2) при подключении к цепи насоса НР (11) проводами, соединенными с его токосъемными кольцами, изолированными снаружи внешнего выходного вала (5), и с обеспечением контакта с соответствующими неподвижными щетками для питания EL (24), а отдельный двигатель присоединен к одному из валов (3, 5) для соответствующего вращения ротационного устройства (2), или же электрический двигатель EL (24), расположенный в осевом направлении снаружи отдельных валов (3, 5) ротационного устройства (2), отцентрирован и прикреплен к защитному кожуху и соединен с компрессором насоса НР (11) через магнитную муфту для обеспечения герметичности газа в компрессоре, при этом электрический двигатель EL (24) может обеспечивать вращение как компрессора, так и ротационного устройства (2) путем обеспечения возможности перемещения текучей среды из компрессора насоса НР к статорам и/или диффузорам, прикрепленным к ротационному устройству (2), с обеспечением при этом заданной частоты вращения ротационного устройства (2), при этом в случае нескольких тепловых насосов они могут быть соединены магнитными муфтами и общим двигателем.

8. Устройство по п.1 или 4, в котором синтез-газ с дополнительным водяным паром направляется по теплоизолированным каналам непосредственно из SMR (8) или WGS (9) внутрь в каналы, ведущие к по меньшей мере одной паровой турбине, расположенной на оси (1) вращения, соединенной магнитной муфтой с по меньшей мере одним НР для уменьшения вращательного усилия электродвигателя EL (24) и выполненной таким образом, что работа компрессора в НР (11) является одинаковой как при использовании паровой турбины, так и без ее использования.

9. Устройство по п.1 или 6, в котором катализаторы в SMR 8 и WGS 9 могут быть в любом виде с оксидом или без него или в комбинации с: платиной, никелем, иридием, кобальтом, железом, иттрием, цирконием, стронцием, лантаном, марганцем, медью, цинком, алюминием или материалами, имеющими аналогичные свойства.

10. Устройство по п.1, в котором каналы от впуска до выпуска являются теплоизолированными на пути ко всем теплообменникам и от них.

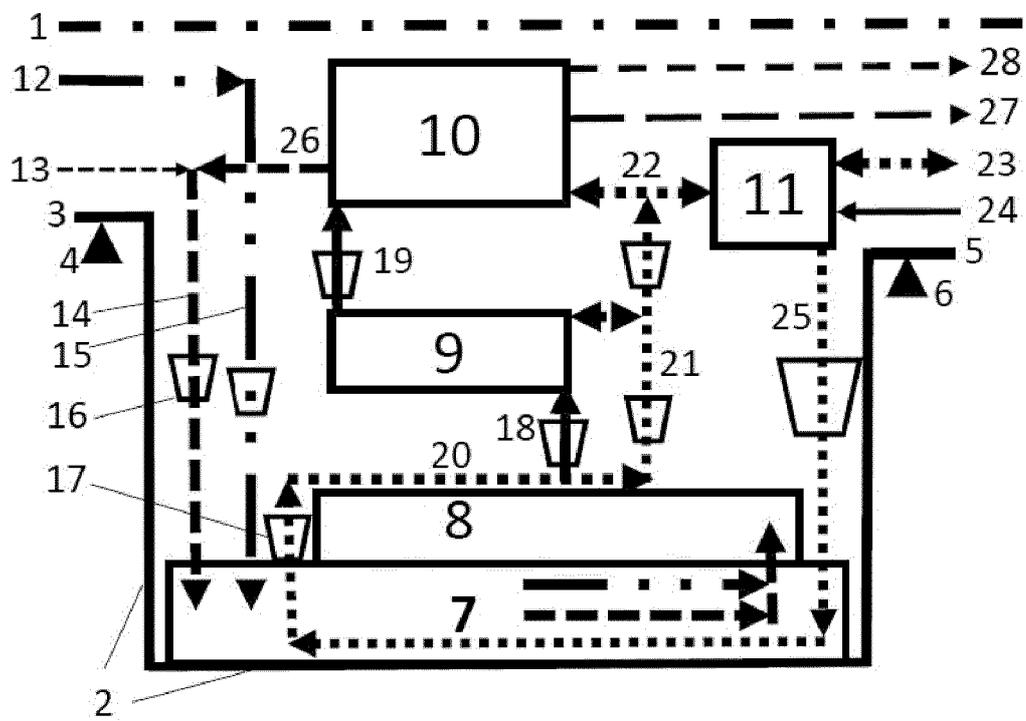
11. Устройство по п.п.1-7, в котором перенос текучих сред происходит по осевым трубам, гофрированным по всей длине или вдоль ее части.

12. Устройство по п.11, в котором диски, поддерживающие осевые трубы,

выполнены гофрированными по всему радиусу или вдоль его части.

13. Устройство по п.12, в котором указанные диски и торцевые крышки, поддерживающие ротационное устройство (2) и осевые трубы, имеют форму осевой полый полусферической/шаровидной крышки, обращенной наружу, при этом внешние лопатки на внутренних полусферах примыкают к наружным полусферам с образованием каналов устройства.

14. Устройство по п.1, в котором ротационное устройство (2) выровнено с помощью средств самобалансировки, которые могут представлять собой по меньшей мере один канал, проходящий окружным образом по периферии и частично заполненный жидкостью.



Фиг. 1