

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **047767**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.09.06**

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

(21) Номер заявки  
**202390549**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.08.19**

---

(54) **УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА УСТАНОВКЕ ДЛЯ РИФОРМИНГА С  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОДОГРЕВОМ**

---

(31) **20192075.8**

(56) CA-A1-3126676  
US-A1-2016060537  
US-A1-2005209347  
US-A1-2012088850  
US-A1-2009229239

(32) **2020.08.21**

(33) **EP**

(43) **2023.06.16**

(86) **PCT/EP2021/073057**

(87) **WO 2022/038230 2022.02.24**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ТОПСЁЭ А/С (DK)**

(72) Изобретатель:  
**Мортенсен Петер Мёльгаард (DK)**

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

---

(57) Предоставлены установка и способ, в которых первое сырье, содержащее углеводороды, подвергают электропаровому риформингу метана (э-ПРМ) с получением первого потока синтез-газа. В секцию улучшения качества поступает поток синтез-газа, и там вырабатывается первый поток продукта и поток отходящего газа из потока синтез-газа. В генератор поступает по меньшей мере часть потока отходящего газа, и/или часть указанного первого потока продукта из секции улучшения качества, и/или часть указанного первого сырья, и там вырабатывается второй поток электроэнергии. По меньшей мере часть второго потока электроэнергии предусмотрена для подачи по меньшей мере части первого потока электроэнергии в реактор э-ПРМ.

**B1**

**047767**

**047767**  
**B1**

### Область техники

Предоставлены установка и способ, в которых первое сырье, содержащее углеводороды, подвергаются электропаровому риформингу метана (э-ПРМ) с получением первого потока синтез-газа. В секцию улучшения качества поступает поток синтез-газа, и из этого потока вырабатывается первый поток продукта и поток отходящего газа. В генератор поступает по меньшей мере часть потока отходящего газа и/или часть указанного первого потока продукта из секции улучшения качества и/или часть указанного первого потока сырья и генерируется второй поток электроэнергии. По меньшей мере, часть второго потока электроэнергии предусмотрена для подачи по меньшей мере части первого потока электроэнергии в реактор э-ПРМ. Эта технология позволяет использовать химическую установку с электроприводом с различными уровнями импорта электроэнергии, которая благодаря этому может работать в условиях колебаний в поставках возобновляемой электроэнергии.

### Уровень техники

Производство крупнотоннажных химикатов, таких как метанол и водород, из синтетического газа часто осуществляют с образованием большого объема отходящего газа. Типичные установки риформинга используют огневой риформер, в котором отходящий газ обычно используют в качестве топлива для производства пара, необходимого для получения самого синтез-газа. Кроме того, отходящие газы используют в качестве топлива для горелок огневого риформера.

Известны паровые риформеры с электрическим нагревом, например, из Wismann et al, Science 2019: том 364, выпуск 6442, стр. 756-759, WO 2019/228798, и WO 2019/228795. Если пламенные паровые установки риформинга заменить на риформер с электрическим нагревом, то топливо для нагрева процесса риформинга больше не понадобится. Соответственно, значительно снижается объем необходимого для подогрева отходящего газа, и избыточное образование этого отходящего газа может стать проблемой.

Используемая в настоящий момент технология направлена на то, чтобы закрыть общий массовый и энергетический балансы установки, в которой происходит паровой риформинг с электрическим нагревом. В частности, настоящая технология нацелена на использование избыточного отходящего газа, который может образовываться в такой установке. Кроме того, настоящая технология направлена на организацию нормальной работы в условиях колебаний в подаче электроэнергии из возобновляемых источников и на налаживание независимой подачи синтез-газа на химическую установку в случае отключения электроэнергии от электроснабжения.

### Краткое изложение сущности изобретения

Далее по тексту имеется отсылка к вариантам осуществления изобретения. Однако следует понимать, что изобретение не ограничивается конкретными описанными вариантами осуществления. Вместо этого предполагается любое сочетание следующих признаков и элементов для осуществления и практического применения изобретения, независимо от того, относятся ли они к разным вариантам осуществления или нет.

Предусмотрена установка, содержащая:

первый поток сырья, содержащий углеводороды,

один или более загружаемых реагентов,

реактор парового риформинга метана с электрическим паром (э-ПРМ), отличающийся тем, что реактор э-ПРМ выполнен с возможностью нагрева первым потоком электроэнергии, и при этом реактор э-ПРМ выполнен с возможностью получения по меньшей мере части указанного первого потока сырья, содержащего углеводороды, и по меньшей мере часть указанного одного или более потоков загружаемых реагентов, и генерировать первый поток синтез-газа,

секцию улучшения качества, выполненную с возможностью получения потока синтез-газа и генерирования, по меньшей мере, первого потока продукта и потока отходящего газа,

генератор, выполненный с возможностью получения по меньшей мере части указанного потока отходящего газа и/или части указанного первого потока продукта из секции улучшения качества и генерирования второго потока электроэнергии,

причем по меньшей мере часть указанного второго потока электроэнергии предусмотрена для подачи по меньшей мере части первого потока электроэнергии в реактор э-ПРМ.

Также предложен способ получения потока продукта из первого сырья, содержащего углеводороды, с помощью установки, описанной в настоящем документе.

Также предложен способ работы установки, описанный в настоящем документе, причем указанный способ включает этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки или наоборот, что дополнительно описано в настоящем документе.

Подробное описание технологии приведено в разделе "Описание", в зависимых пунктах формулы изобретения и прилагаемых фигурах.

### Описание фигур

На фиг. 1-7 показаны различные компоновки установок согласно изобретению, каждая из которых содержит реактор э-ПРМ, секцию улучшения качества, генератор, различные технологические потоки/потоки сырьевого газа и различные потоки электроэнергии.

### Подробное описание изобретения

Используемая в настоящий момент технология описывает синергию от внедрения газового двигателя для преобразования избыточного отходящего газа в электроэнергию, при котором произведенная электроэнергия вместо этого может использоваться непосредственно в электрическом риформере. За счет этого обеспечивается решение для небольшой сбалансированной химической установки без неиспользуемых технологических потоков от нее, за счет чего уменьшается образование побочных продуктов.

Частью этой технологии является химическая установка с электрическим приводом и низким или нулевым импортом электроэнергии, которая может работать в условиях колебаний уровня доступной возобновляемой электроэнергии. Для работы электрической установки по производству синтез-газа необходимо очень большое количество электроэнергии, чтобы обеспечить функционирование блока парового риформинга метана с электрическим нагревом. Стабильная работа такой установки будет уязвима к колебаниям в подаче электроэнергии от сторонних источников и, в частности, к перебоям в электропитании. Настоящее изобретение обеспечивает возможность работы установки исключительно за счет использования электроэнергии, вырабатываемой внутри самой установки. Таким образом, настоящее изобретение основано на признании того, что можно генерировать необходимый высокий уровень электроэнергии для работы установки внутри самой установки, во-первых, путем за счет добавления к установке электрогенератора и, во-вторых, путем выработки на ней электроэнергии с использованием по меньшей мере части избыточного потока отходящего газа самой установки и/или части углеводородного сырья, и/или части потока продукта.

Если не указано иное, далее по тексту все процентные показатели приведены в объемных %. Термин "практически чистый" следует понимать как означающий чистоту более 80%, в идеале чистоту более 90%, например, чистоту более 99%.

Таким образом, предложена установка, которая схематически показана на фигурах. В общих чертах установка содержит

первый поток сырья, содержащий углеводороды,  
 один или более загружаемых сореагентов,  
 электрический реактор парового риформинга метана (э-ПРМ),  
 секцию улучшения качества,  
 генератор.

Первый поток сырья.

Первый поток сырья содержит углеводороды. В контексте изобретения термин "первый поток сырья, содержащий углеводороды" означает газ, содержащий один или более углеводородов, и, возможно, другие компоненты. Таким образом, первый поток сырья, содержащий углеводороды, как правило, содержит газообразный углеводород, например,  $\text{CH}_4$ , и, при необходимости, также высшие углеводороды, зачастую в относительно небольших количествах в дополнение к небольшим количествам других газов. Высшие углеводороды - это компоненты с двумя или более атомами углерода, например, этан и пропан. В качестве примеров "первого потока сырья, содержащего углеводороды", можно привести природный газ, газ бытового назначения, бензиновую фракцию или смесь метана и высших углеводородов, биогаз или СПГ. В качестве углеводородов также могут выступать компоненты с другими атомами, помимо углерода и водорода, например, кислород или сера.

Первый поток сырья может дополнительно содержать (или смешиваться с еще одним потоком загружаемых сореагентов) водяной пар, водород и, возможно, другие компоненты, такие как монооксид углерода, диоксид углерода, азот и аргон. Как правило, первый поток сырья имеет определенное отношение углеводорода, пара и водорода и, возможно, также диоксида углерода.

В соответствии с одним аспектом изобретения первый поток сырья представляет собой биогазовое сырье. Биогаз представляет собой смесь газов, образующихся при разложении органических веществ в отсутствие кислорода. Биогаз можно получить из сырья, такого как сельскохозяйственные отходы, навоз, бытовые отходы, растительный материал, сточные воды, отходы древесины или пищевые отходы. Биогаз в основном представлен метаном ( $\text{CH}_4$ ) и двуокисью углерода ( $\text{CO}_2$ ) и может содержать небольшое количество сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ), влаги, силоксанов и, возможно, других компонентов. До 30% или даже 50% биогаза может составлять диоксид углерода. Характерная смесь  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  является хорошим сырьем для производства метанола при использовании э-ПРМ ("э-ПРМ- $\text{MeOH}$ "), и при этом практически все атомы углерода могут быть преобразованы в метанол.

Когда первый поток сырья из углеводородов попадает в реактор э-ПРМ, оно уже прошло, по меньшей мере, этап добавления пара (присутствующего в качестве загружаемого сореагента) и, при необходимости, также предварительную обработку (более подробное описание которой приводится ниже).

Потоки загружаемых сореагентов.

Сырье установки включает один или более загружаемых сореагентов. Загружаемый(е) сореагент(ы) соответствующим образом на выбор может быть представлять собой поток загружаемого пара, водорода или  $\text{CO}_2$ . Потоки загружаемых сореагентов подаются в реактор э-ПРМ предпочтительно в виде смеси с первым потоком сырья, содержащим углеводороды. Загружаемые сореагенты, помимо прочего, используются для регулирования состава выходящего из э-ПРМ синтез-газа с учетом соображений термодинамики.

Если установка включает секцию предварительной обработки, расположенную перед реактором э-ПРМ, то потоки загружаемых сореагентов можно добавлять в разных местах секции предварительной обработки, например, водород может добавляться перед гидродесульфуризацией для облегчения реакций гидрирования, и/или пар может добавляться перед предварительным риформером для облегчения реакций риформинга, и/или  $\text{CO}_2$  может добавляться в блок кондиционирования газа для частичной конверсии исходного газа в соответствии с требованиями реакции конверсии водяного газа.

Реактор э-ПРМ.

Установка включает электрический реактор парового риформинга метана (э-ПРМ). Реактор э-ПРМ выполняет реакцию парового риформинга метана на первом потоке сырья и любых потоках загружаемых сореагентов.

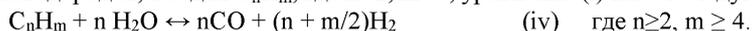
Реактор э-ПРМ устроен так образом, чтобы получать по меньшей мере часть указанного первого потока сырья, содержащего углеводороды, и по меньшей мере часть указанного одного или более потоков загружаемых сореагентов, и генерировать первый поток синтез-газа из указанного первого потока сырья (смешанного с потоком(ми) загружаемых сореагентов).

Термин "паровой риформинг" означает реакцию парового риформинга метана в соответствии с одной или более из следующих реакций:



Реакции (i) и (ii) представляют собой реакции парового риформинга метана, тогда как реакция (iii) - реакция риформинга сухого метана.

Для высших углеводородов, т.е. для  $\text{C}_n\text{H}_m$ , где  $n \geq 2$ ,  $m \geq 4$ , уравнение (i) имеет следующий общий вид:



Паровой риформинг, как правило, сопровождается реакцией конверсии водяного газа (v):



Термины "паровой риформинг метана" и "реакция парового риформинга метана" включают реакции (i) и (ii), термин "паровой риформинг" включает реакции (i), (ii) и (iv), тогда как термин "метанизация" включает реакцию, обратную реакции (i). В большинстве случаев на выходе из реактора риформинга все эти реакции (i)-(v) достигли равновесия или близки к нему.

В связи с тем, что реактор риформинга с электрическим нагревом нагревается за счет электричества, общее потребление энергии меньше по сравнению с реактором парового риформинга метана, поскольку исключается образование высокотемпературных отработанных газов реактора риформинга. Более того, если электроэнергия, используемая для нагрева электрического реактора риформинга и, возможно, других блоков установки по производству синтез-газа, обеспечивается из возобновляемых источников, то общее потребление углеводородов для установки по производству синтез-газа сводится к минимуму и, соответственно, сокращаются выбросы  $\text{CO}_2$ .

Реактор э-ПРМ выполнен с возможностью нагрева первым потоком электроэнергии. В одном из вариантов осуществления изобретения реактор риформинга с электрическим нагревом в установке по производству синтез-газа содержит:

корпус высокого давления, в котором размещается электрический нагреватель, выполненный с возможностью нагрева первого катализатора, и при этом первый катализатор содержит каталитически активный материал, способный катализировать паровой риформинг первой части исходного газа, а корпус высокого давления имеет расчетное давление от 5 и 50 бар,

теплоизоляционный слой, примыкающий по меньшей мере к части внутренней стороны корпуса высокого давления, и, по меньшей мере, два проводника, подключенные электрическим соединением к электронагревательному блоку и к источнику электропитания, расположенному за пределами корпуса высокого давления,

причем источник электропитания по своим размерам рассчитан на нагрев по меньшей мере части первого катализатора до температуры, по меньшей мере,  $500^\circ\text{C}$  путем пропускания электрического тока через блок электрического нагрева.

Важной особенностью реактора риформинга с электрическим нагревом является то, что тепло генерируется внутри реактора риформинга, а не подается от стороннего источника тепла посредством конвективного или кондуктивного теплопереноса и/или радиационного нагрева, например, через катализаторные трубки. В реакторе риформинга с электрическим нагревателем, подключенным к источнику электропитания через провода, тепло для реакции риформинга обеспечивается за счет нагрева сопротивлением. Самая горячая часть реактора риформинга с электрическим нагревом будет находиться внутри корпуса высокого давления реактора риформинга с электрическим обогревом. Предпочтительно, источник электропитания и электрический нагреватель внутри корпуса высокого давления имеют такие размеры, чтобы по меньшей мере часть электрического блока нагрева достигала температуры в  $850^\circ\text{C}$ , предпочтительно  $900^\circ\text{C}$ , более предпочтительно  $1000^\circ\text{C}$  или даже более предпочтительно  $1100^\circ\text{C}$ .

В одном из вариантов осуществления изобретения риформер с электрическим нагревом содержит первый катализатор в виде слоя частиц катализатора, т.е. гранулы, как правило, в виде каталитически активного материала, нанесенного на большой по площади носитель с электропроводящими структурами, встроенными в слой частиц катализатора. В качестве альтернативы, катализатор может представлять собой каталитически активный материал, нанесенный на макроскопическую структуру, такую как монолит.

Наличие в реакторе риформинга с электрическим нагревом теплоизоляционного слоя, примыкающего по меньшей мере к части внутренней части корпуса высокого давления, обеспечивает соответствующую тепловую и электрическую изоляцию между электронагревателем и корпусом высокого давления. Как правило, теплоизоляционный слой будет присутствовать на большей части внутренней поверхности кожуха высокого давления для обеспечения теплоизоляции между кожухом высокого давления и электронагревателем/первым катализатором, однако при этом в слоях теплоизоляции необходимы проходы для обеспечения соединения проводников между электронагревателем и источником электропитания, а также для обеспечения входов для газов в реактор риформинга с электрическим нагревом и выходов из него.

Наличие теплоизоляционного слоя между электронагревателем и корпусом высокого давления помогает избежать чрезмерного нагрева корпуса высокого давления и способствует снижению теплопотерь в окружающую среду из реактора риформинга с электрическим нагревом. Температуры в электронагревателе, по меньшей мере, в некоторых его частях, могут достигать приблизительно 1300°C, однако за счет теплоизоляционного слоя между электронагревателем и корпусом высокого давления можно поддерживать более низкую температуру корпуса высокого давления, например, 500°C или даже 200°C. Это является преимуществом, поскольку материалы из конструкционной стали обычно не могут использоваться под нагрузкой при высоких температурах, таких как выше 1000°C. Кроме того, теплоизолирующий слой между корпусом высокого давления и электронагревателем помогает контролировать электрический ток в реакторе риформинга, поскольку теплоизоляционный слой также является электроизоляционным. Теплоизоляционный слой может представлять собой один или более слоев твердого материала, такого как керамика, инертный, огнеупорный материал или газовый барьер, или их сочетание. Таким образом, также возможно, чтобы часть теплоизоляционного слоя состояла или была образована из провучного газ или газа внутри катализатора.

Поскольку самой горячей частью реактора риформинга с электрическим нагревом электронагреватель, вокруг которого будет находиться теплоизоляционный слой, температура корпуса высокого давления будет сохраняться на значительно более низком уровне по сравнению с максимальной рабочей температурой. Это позволяет иметь относительно низкую расчетную температуру корпуса высокого давления, например, 700°C или 500°C, или предпочтительно 300°C или 200°C, при максимальной рабочей температуре 800°C или 900°C, или даже 1100°C, или даже до 1300°C.

Еще одно преимущество состоит в том, что из-за более низкой расчетной температуры по сравнению с огневым ПРМ при необходимости толщина корпуса высокого давления может быть уменьшена, за счет чего снижаются затраты.

Следует отметить, что термин "теплоизоляционный материал" предусматривает материалы с теплопроводностью приблизительно 10 Вт(м<sup>-1</sup>-А1-К<sup>-1</sup>) или ниже. В качестве примеров теплоизоляционных материалов можно привести керамику, огнеупорный материал, материалы на основе оксида алюминия, материалы на основе диоксида циркония и тому подобное.

Более подробная информация по э-ПРМ изложена в работе Wismann et al, (2019) "Электрифицированный риформинг метана: Компактный подход к более экологичному промышленному производству водорода" Science том 364, выпуск 6442, стр. 756-759, содержание которой включено в настоящий документ в отсылочном порядке.

Возможно, чтобы блок э-ПРМ размещался параллельно или последовательно с блоком ПРМ, установкой автотермического риформинга (УАР) и/или с теплообменным риформером (ТОР). Такие конфигурации описаны в находящих на рассмотрении заявках РСТ/ЕР 2020/055173, РСТ/ЕР 2020/055174 и РСТ/ЕР 2020/055178, которые включены в настоящий документ в отсылочном порядке. В одном из вариантов осуществления изобретения э-ПРМ может работать параллельно/последовательно с УАР, УПРМ и/или блоком ТОР, обеспечивая генерацию первого потока синтез-газа по настоящему изобретению.

Секция улучшения качества.

Установка включает секцию улучшения качества, которая выполнена с возможностью получения потока синтез-газа, и генерирования, по меньшей мере, первого потока продукта и поток отходящего газа. Первый поток продукта может быть представлен, например, газообразным водородом, газообразным монооксидом углерода, высшими углеводородами, синтетическим топливом, метанолом или аммиаком.

Поток синтез-газа, подаваемый в секцию улучшения качества, может быть представляет собой поток синтетического газа, полученного в э-ПРМ. Следовательно, секция улучшения качества может быть устроена таким образом, чтобы принимать поток синтез-газа (и, лучше всего, весь поток синтез-газа), генерируемого реактором э-ПРМ.

Секции очистки водорода и метанола являются предпочтительными, поскольку в их классических конфигурациях они производят большое количество побочного продукта в виде отходящих газов.

В одном предпочтительном аспекте секция улучшения качества представляет собой секцию очистки водорода, первый поток продукта представляет собой поток с высоким содержанием водорода, поток отходящего газа представляет собой поток отходящего газа из секции очистки водорода.

В одном из вариантов осуществления изобретения секция очистки водорода может представлять собой блок короткоциклового адсорбции, такой как блок адсорбции при переменном давлении (БАПД) или блок адсорбции при переменной температуре (БАПТ). Поток отходящего газа из секции очистки водорода может включать  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , и  $\text{CO}$ .

Под стадией короткоциклового адсорбцией подразумевается блок для адсорбции определенных соединений. В таком типе оборудования устанавливается динамическое равновесие между адсорбцией и десорбцией молекул газа на адсорбционном материале. Адсорбция молекул газа может быть вызвана стерическими, кинетическими или равновесными эффектами. Точный механизм будет зависеть от свойств используемого адсорбента, а равновесное насыщение - от температуры и давления. Как правило, адсорбирующий материал подвергают обработке в газовой смеси до почти полного насыщения наиболее тяжелыми соединениями, что впоследствии потребует регенерации. Регенерирование может выполняться путем изменения давления или температуры. На практике это означает, что используют процесс с, по меньшей мере, двумя блоками. Сначала в одном блоке осуществляют насыщение адсорбента при высоком давлении или низкой температуре, а затем происходит смена блока, и осуществляют десорбцию адсорбированных молекул путем уменьшения давления или увеличения температуры. Установку, работающую с переменным режимом давления, называют блоком адсорбции при переменном давлении, а работающая с переменным режимом температуры называют блоком адсорбции при переменной температуре. Блок адсорбции при переменном давлении может обеспечивать получение водорода с чистотой 99,9% или выше.

В еще одном аспекте изобретения, который также является предпочтительным, секция улучшения качества представляет собой секцию синтеза метанола, первый поток продукта представляет собой поток с высоким содержанием метанола, поток отходящего газа представляет собой поток отходящего газа из секции синтеза метанола.

Секция синтеза метанола может соответствовать описанию в документе Дж.Б. Хансена, П.Е.Х. Нильсена, "Синтез метанола, справочник по гетерогенному катализу", John Wiley & Sons, Inc., Нью-Йорк, 2008 г., стр. 2920-2949. Поток отходящего газа из секции синтеза метанол может включать  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{CH}_4$ , и  $\text{N}_2$ .

В еще одном предпочтительном аспекте

секция улучшения качества представляет собой криогенный блок  $\text{CO}$ ,

секция улучшения качества выполнена с возможностью получения потока синтез-газа и генерирования первого потока продукта, который в основном представляет собой поток чистого  $\text{CO}$ , и второй поток продукта, который в основном представляет собой поток чистого  $\text{H}_2$ , а также и поток отходящего газа из криогенного блока  $\text{CO}$ .

Криогенный блок  $\text{CO}$  может соответствовать описанию в разделе "Монооксид углерода" в работе Кирк-Отмер Энциклопедия химической технологии ECT (онлайн), 2000, Рональд Пьерантоцци. Поток отходящего газа из криогенного блока  $\text{CO}$  может содержать  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , и  $\text{N}_2$ .

В еще одном аспекте

секция улучшения качества представляет собой контур аммиака,

поток продукта представляет собой поток практически чистого аммиака,

поток отходящего газа представляет собой поток отходящего газа из контура аммиака.

Контур аммиака может быть таким, как описано в работе И. Дибкьяер, "Процессы производства аммиака", в: A. Nielsen (Ed.) Аммиак - катализ и производство, Springer, Берлин, Германия, 1995, стр. 199-328. Поток отходящего газа из контура аммиака может содержать  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2$ .

В еще одном аспекте изобретения

секция улучшения качества представляет собой секцию Фишера-Тропша,

поток продукта представляет собой поток высших углеводов,

поток отходящего газа представляет собой поток отходящего газа из секции Фишера-Тропша.

Секция Фишера-Тропша может соответствовать описанию в работе Dry, ME (2008). Процессы синтеза Фишера-Тропша (ФТ). В Справочнике по гетерогенному катализу (изд. G. Ertl, H. Knözinger, F. Schüth and J. Weitkamp), 2008. Поток отходящего газа из секции Фишера-Тропша может содержать углеводороды (такие как этан, этен, пропен и пропан)  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ , и  $\text{N}_2$ . В этом аспекте термин "высшие углеводороды" понимается как означающий конденсирующиеся углеводороды, такие как гексан, гептан, гептен, октан и т.д.

В одном аспекте установки секция улучшения качества устроена таким образом, чтобы принимать поток синтез-газа, генерируемый реактором э-ПРМ, т.е. напрямую без изменения состава синтез-газа.

Также возможно, что поток синтез-газа, генерируемый реактором э-ПРМ, перед попаданием в секцию улучшения качества проходит через один или более дополнительных реакторов или установок (см. ниже).

Генератор.

Настоящая технология основана на осознании того, что потоки отходящих газов с высоким содержанием топлива редко имеют какую-либо коммерческую ценность. Однако при этом они часто являются горючими и поэтому могут быть соответствующим образом использованы на самой установке.

Соответственно установка включает генератор, выполненный с возможностью получения по меньшей мере части указанного потока отходящего газа и/или части указанного первого потока продукта из секции улучшения качества и генерирования второго потока электроэнергии.

Предпочтительно, чтобы генератор принимал по меньшей мере часть потока отходящего газа из секции улучшения качества и генерировал второй поток электроэнергии. Такое устройство генератора оптимизирует использование потоков отходящих газов на установке.

В дополнение к потоку отходящих газов и/или первому потоку продукта для обеспечения работы генератора также можно импортировать внешнее топливо, т.е. топливо с импорта. Топливо с импорта можно получить как побочный продукт другой химической установки, или это может быть природный газ, биогаз и т.п.

Генератор также может быть выполнен с возможностью получения части первого сырья, содержащего углеводороды, и генерирования второго потока электроэнергии. Смешанное сырье с паром и т.п. в генератор не подают.

Как уже упоминалось ранее, генератор вырабатывает электроэнергию из потока горючего газа. Специалистам в данной области техники могут быть известны различные конфигурации устройства генераторов. Подходящим генератором может быть генератор, в котором первый модуль (например, двигатель внутреннего сгорания) преобразует горючий газ в механическую энергию (например, в энергию вращения). Второй модуль (например, генератор) соединен с первым модулем для преобразования механической энергии в электрическую. Также в качестве генератора энергии можно использовать топливный элемент, например, водородный топливный элемент. Конкретным примером генератора является блок комбинированного производства тепла и электроэнергии (ТЭЦ). Еще один пример генератора электроэнергии - это газовая турбина.

Предположительно, что в состав установки может входить хранилище газа, позволяющее собирать отходящие газы в периоды высокой производительности и за счет этого выравнивать работу генератора и даже иногда иметь сценарий остановки и запуска для этого блока. Это связано с практической эксплуатацией блока, которая при необходимости может оказаться неэффективной при работе на слишком низком уровне топлива.

Специалист сможет выбрать конкретный генератор и его рабочие параметры в зависимости, например, от конкретного входного потока газа, который имеется в доступности, и от необходимого выходного потока электроэнергии.

Потоки электроэнергии.

По меньшей мере, часть, а предпочтительно весь второй поток электроэнергии предусмотрена для подачи по меньшей мере части, а предпочтительно всего первого потока электроэнергии в реактор э-ПРМ (из генератора).

За счет этого возможно эффективное использование потока отходящего газа и/или первого потока продукта. Кроме того, такое устройство обеспечивает повышенную маневренность в работе. В одном конкретном аспекте, когда возобновляемую электроэнергию используют для химического производства, основной проблемой является надежность электроснабжения, и это изобретение обеспечивает непрерывную работу, несмотря на перебои в подаче электроэнергии.

Блок электроснабжения может быть выполнен с возможностью получения второго потока электроэнергии от генератора а, при необходимости, и потока электроэнергии от стороннего источника и подачи первого потока электроэнергии в реактор э-ПРМ. Блок электроснабжения позволяет сбалансировать относительные пропорции второго потока и потока электроэнергии от стороннего источника в соответствии с наличием каждого из этих потоков, в частности, когда поток электроэнергии от стороннего источника обеспечивается источником возобновляемой электроэнергии.

В соответствии с одним аспектом изобретения поток электроэнергии от стороннего источника может быть предусмотрен для обеспечения части первого потока электроэнергии в реактор э-ПРМ. Таким образом, этот поток электроэнергии от стороннего источника может дополнять второй поток электроэнергии к реактору э-ПРМ, т.е. в случаях, когда выработка электроэнергии во втором потоке недостаточна для приведения в действие реактора э-ПРМ.

В одном эффективном аспекте источник возобновляемой электроэнергии выполнен с возможностью подачи указанного потока электроэнергии от стороннего источника. Это не только снижает воздействие настоящего изобретения на окружающую среду, но также позволяет и использовать второй поток электроэнергии (от генератора) для компенсации изменений в подаче от потока электроэнергии из возобновляемого источника.

Второй поток электроэнергии может составлять весь первый поток электроэнергии, необходимый для нагрева реактора э-ПРМ. За счет этого можно избежать необходимости использования потока электроэнергии от стороннего источника, что снижает общие потребности установки в электричестве.

При необходимости второй поток электроэнергии, производимый генератором, больше, чем первый поток. Таким образом, можно избежать необходимости использования потока электроэнергии от стороннего источника, а также установка может экспортировать электроэнергию для других целей, сторонних по отношению к ней, а также на другие средства в рамках установки, такие как компрессоры и насосы.

Дополнительные реакторы.

Как уже отмечалось, установка может включать один или более дополнительных реакторов или блоков, расположенных между реактором э-ПРМ и секцией улучшения качества. Как правило, эти дополнительные реакторы или блоки устроены так, чтобы регулировать содержание синтез-газа, за счет чего он может лучше всего подходить для конкретной секции улучшения качества, в которой он должен использоваться.

В соответствии с одним аспектом изобретения установка дополнительно содержит по меньшей мере один реактор конверсии водяного газа (КВГ), расположенный по ходу процесса после реактора э-ПРМ. По меньшей мере, один реактор КВГ выполнен с возможностью получения по меньшей мере части первого потока синтез-газа из реактора э-ПРМ и генерирования второго потока синтез-газа из указанного первого потока. Затем по меньшей мере часть указанного второго потока синтез-газа направляют в секцию улучшения качества. Очень часто используют два реактора КВГ, размещенные последовательно с межступенчатым охлаждением. Также возможны три последовательно соединенных реактора КВГ.

Установка также может включать один или более блоков кондиционирования газа, расположенных между реактором э-ПРМ и секцией улучшения качества. Эти один или более блоков кондиционирования газа выбраны из следующих вариантов: блок мгновенной сепарации, секция удаления  $\text{CO}_2$ , метанатор или сочетание этих блоков.

Кроме того, в компоновку установки могут быть включены теплообменники, необходимые для регулирования температуры и оптимизации энергопотребления. Соответственно также могут использоваться и парогенераторы (котлы).

Установка может включать секцию предварительной обработки, находящуюся в потоке перед реактором э-ПРМ. Секция предварительной обработки выполнена с возможностью предварительной обработки первого потока сырья углеводородов перед его подачей в реактор э-ПРМ. Секция предварительной обработки обычно включает один или более блоков предварительной обработки, которые выбраны из блока регулировки газа, блока нагрева, блока гидрообессеривания (ГОС) или блока предварительного риформинга.

Под "блоком регулирования газа" понимают работу блока для регулирования состава газа. В качестве примеров таких устройств можно привести следующие: полимерная мембрана, керамическая мембрана, устройство адсорбции при переменном давлении (БАПД) или устройство адсорбции при переменной температуре (БАПТ). Блок регулировки газа можно использовать для частичного удаления нежелательных компонентов исходного газа. Например, мембрану можно использовать для частичного удаления  $\text{CO}_2$  из содержащего углеводороды газа, а БАПД - для удаления из него высших углеводородов.

Если секция предварительной обработки содержит нагреватель, то часть потока отходящего газа из секции улучшения качества может быть организована так, чтобы возвращаться в секцию предварительной обработки и использоваться в качестве топлива для указанного блока нагрева. Это позволяет уменьшить количество топлива от стороннего источника, используемого для нагрева, и может помочь оптимизировать использование потока отходящего газа.

Способы.

Настоящая технология также обеспечивает способ, который предусматривает использование описанной выше установки.

Таким образом предложен способ получения потока продукта из первого потока сырья, содержащего углеводороды.

Данный способ включает следующие этапы:

предоставление установки по любому из предшествующих пунктов, подача по меньшей мере части первого потока сырья, содержащего углеводороды, в реактор парового риформинга метана (э-ПРМ) и нагрев указанного реактора э-ПРМ с помощью первого потока электроэнергии для получения потока синтез-газа из указанного первого потока сырья,

подача потока синтетического газ в секцию улучшения качества и получение, по меньшей мере, потока продукта и потока отходящего газа из указанного потока синтез-газа,

подача по меньшей мере части указанного потока отходящего газа и/или части указанного первого потока продукта из секции улучшения качества и/или части указанного первого потока сырья на генератор и генерирование второго потока электроэнергии,

подача по меньшей мере части указанного второго потока электроэнергии для передачи по меньшей мере части первого потока электроэнергии в реактор э-ПРМ.

Все подробности, приведенные в отношении установки по изобретению, также относятся к способу по изобретению с учетом внесенных необходимых изменений в толкование.

Используемая в настоящий момент технология позволяет установке работать при колебаниях уровня доступной для потребления электроэнергии. Этот аспект имеет особую важность, когда электричест-

во от стороннего источника обеспечивается из возобновляемых источников электроэнергии с большими колебаниями. Таким образом, описан способ эксплуатации установки, отличающийся тем, что

в первом рабочем режиме А первый поток электроэнергии к реактору э-ПРМ включает первую часть (А1) второго потока электроэнергии и первую часть (А2) потока электроэнергии от стороннего источника;

во втором рабочем режиме В установки первый поток электроэнергии к реактору э-ПРМ включает вторую часть (В1) второго потока электроэнергии и вторую часть (В2) потока электроэнергии от стороннего источника;

причем первая часть (А1) второго потока электроэнергии в первом рабочем режиме А установки меньше, чем вторая часть (В1) второго потока электроэнергии во втором рабочем режиме В установки;

и причем первая часть (А2) потока электроэнергии от стороннего источника в первом рабочем режиме А установки больше, чем вторая часть (В2) потока электроэнергии от стороннего источника во втором рабочем режиме В установки;

причем указанный способ включает этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки или наоборот.

Во втором рабочем режиме В установки - вторая часть (В1) второго потока электроэнергии в первом потоке электроэнергии может составлять 75% и более, 80% и более, 90% и более или 100%. Во втором рабочем режиме В установки первый поток электроэнергии к реактору э-ПРМ может включать второй поток электроэнергии, и при этом вторая часть (В2) потока электроэнергии от стороннего источника равна нулю. Другими словами, в этих аспектах второй поток электроэнергии от генератора составляет большую часть первого потока электроэнергии или даже весь этот поток.

В соответствии с одним аспектом этого способа первый поток электроэнергии во втором рабочем режиме В установки меньше, чем первый поток электроэнергии в первом рабочем режиме А установки.

Этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки может, по меньшей мере, частично осуществляться за счет увеличения выработки отходящего газа в секции улучшения качества. Увеличение выработки отходящего газа приводит к увеличению второго потока электроэнергии, за счет чего может уменьшиться доля необходимого потока электроэнергии от стороннего источника.

Этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки может, по меньшей мере, частично осуществляться за счет подачи части первого потока сырья непосредственно в генератор.

Этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки может также, по меньшей мере, частично осуществляться за счет уменьшения указанного первого потока электроэнергии.

Если поток электроэнергии от стороннего источника обеспечивается из возобновляемого источника, то этап переключения с рабочего режима А установки на рабочий режим В установки может выполняться в периоды, когда поток электроэнергии от стороннего источника, доступный для использования от указанного возобновляемого источника, падает ниже заданного значения. Также, если поток электроэнергии от стороннего источника обеспечивается из возобновляемого источника, то этап переключения из рабочего режима В установки в рабочий режим А установки может выполняться в периоды, когда поток электроэнергии от стороннего источника, доступный для использования от указанного возобновляемого источника, возрастает выше заданного значения. Опять же, указанные меры позволяют установке реагировать на изменения в количестве доступной для использования возобновляемой энергии.

Переключение между рабочими режимами А и В и наоборот обычно происходит в течение 2 ч, более предпочтительно в течение 1 ч и наиболее предпочтительно в течение 0,5 ч после предыдущего переключения. Это соответствует периоду времени, для которого можно точно предсказать изменения относительно возобновляемых источников энергии (например, энергии ветра или солнечной энергии).

#### **Подробное описание фигур**

На фиг. 1 приведено показано устройство установки 100. Первый поток 1 сырья, содержащего углеводороды, и один или более 2 загружаемых реагентов подают в реактор 10 парового риформинга метана (э-ПРМ). Реактор 10 э-ПРМ выполнен с возможностью нагрева первым потоком электроэнергии 31. Реактор э-ПРМ устроен так образом, чтобы получать по меньшей мере часть первого потока сырья и по меньшей мере часть потока сорреагентов 2. В свою очередь, первый поток 11 синтез-газа генерируется в реакторе 10 э-ПРМ из первого потока 1 сырья и потоков 2 загружаемых реагентов или реагента.

Секция 20 улучшения качества выполнена с возможностью получения потока 11 синтез-газа. Секция 20 улучшения качества генерирует, по меньшей мере, первый поток 21 продукта и поток 22 отходящего газа из потока 11 синтез-газа и 13а.

Генератор 30 выполнен с возможностью получения (в данном варианте осуществления изобретения) потока 22 отходящего газа из секции улучшения качества и генерации второго потока 31 электроэнергии.

Второй поток 31 электроэнергии подают от генератора 30 к блоку 60 электроснабжения. Поток 40 от стороннего источника электроэнергии (используемый по усмотрению) также подают к блоку 60 электроснабжения. Затем блок 60 электроснабжения подает первый поток электроэнергии 31 в реактор 10 э-ПРМ.

Компоновка, показанная на фиг. 2, аналогична фиг. 1. На фиг. 2 часть первого потока 21 продукта также подают в генератор 30 и используют для генерирования второго потока 31 электроэнергии. Этот вариант осуществления изобретения преимущественно используют, когда потока электроэнергии от стороннего источника недостаточно для обеспечения работы э-ПРМ.

Компоновка, показанная на фиг. 3, аналогична фиг. 1. На фиг. 3 реактор 13 конверсии водяного газа расположен после реактора 10 э-ПРМ. Реактор КВГ выполнен с возможностью получения первого потока 11 синтез-газа из реактора 10 э-ПРМ и генерирования второго потока 13а синтез-газа из указанного первого потока 11 синтез-газа, который, как правило, характеризуется более высоким содержанием водорода по сравнению с первым потоком 11 синтез-газа. Как показано на фигуре по меньшей мере часть второго потока 13а синтез-газа направляют в секцию 20 улучшения качества.

Компоновка, показанная на фиг. 4, аналогична фиг. 1. На фиг. 4 секция 50 предварительной обработки в виде блока нагрева расположена раньше по потоку от реактора 10 э-ПРМ и предварительно обрабатывает первый поток 1 сырья углеводородов в комбинации с одним или более потоками 2 загружаемых реагентов перед подачей первого потока 1 сырья в реактор 10 э-ПРМ. Кроме того, в этой компоновке часть 22а потока 22 отходящего газа из секции 20 улучшения качества подают в секцию 50 предварительной обработки и использования в качестве топлива для нагрева указанной секции 50 предварительной обработки. Этот вариант осуществления изобретения можно использовать для оптимизации общей энергоэффективности установки за счет использования потока отходящего газа для целей предварительного нагрева и наличия блока электроснабжения в качестве балансирующей единицы. В такой конфигурации управление процессом предварительного нагрева может осуществляться за счет регулирования количества топлива, поступающего в блок электроснабжения.

Компоновка, показанная на фиг. 5, аналогична фиг. 1. На фиг. 5 часть первого потока 1 сырья подают в генератор 30 и помогает генерированию второго потока 31 электроэнергии. Этот вариант осуществления изобретения преимущественно используют, когда потока электроэнергии от стороннего источника недостаточно для обеспечения работы э-ПРМ.

На фиг. 6 показан более подробный вариант осуществления водородной установки. Первый поток 1 сырья, содержащего углеводороды, а также некоторое количество водорода сначала предварительно нагревают и направляют на первый этап 50' предварительной обработки гидрирования и адсорбции серы. Поток 2 загружаемых реагентов, состоящий в основном из пара, смешивают с выходящим потоком, и комбинированный газ нагревают перед подачей на второй этап 50" предварительной обработки, который облегчает предварительный риформинг высших углеводородов в газе. Выходящий поток направляют в реактор 10 э-ПРМ. Это повышает температуру и превращает его (в соответствии с паровым риформингом и конверсией водяного газа) в синтез-газ, содержащий CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и CH<sub>4</sub>. Температура на выходе с этого этапа может составлять 800°C, предпочтительно 950°C и еще более предпочтительно 1100°C. Синтез-газ охлаждают примерно до 300 - 500°C и направляют в реактор 13 конверсии водяного газа, где CO реагирует с H<sub>2</sub>O с образованием большего количества H<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>. Выходящий поток охлаждают ниже точки росы потока 13а синтез-газа. Конденсат преимущественно жидкой H<sub>2</sub>O 14 отделяют от сухого синтетического газа в сепараторе 20'. Сухой синтетический газ дополнительно очищают в блоке 20" удаления CO<sub>2</sub>, таком как блок аминовой промывки, где основную часть CO<sub>2</sub> удаляют в качестве побочного продукта 29. Последний этап улучшения качества включает в себя БАПД, где продукт разделяют на продукт 21 с высоким содержанием водорода и отходящий газ 22.

Генератор 30 выполнен с возможностью получения (в данном варианте осуществления изобретения) потока 22 отходящего газа из БАПД 20" и генерации второго потока 31 электроэнергии. Второй поток 31 электроэнергии подают от генератора 30 к блоку 60 электроснабжения. Поток 40 от стороннего источника электроэнергии (используемый по усмотрению) также подают к блоку 60 электроснабжения. Затем блок 60 электроснабжения подают первый поток электроэнергии 31 в реактор 10 э-ПРМ.

На фиг. 7 показан более подробный вариант осуществления установки по производству метанола. Первый поток 1 сырья, содержащего углеводороды, а также некоторое количество водорода, а в идеале также и диоксид углерода, сначала предварительно нагревают и направляют на первый этап 50' предварительной обработки гидрирования и адсорбции серы. Потоки 2 загружаемых реагентов, состоящие в основном из пара, смешивают с выходящим потоком, и комбинированный газ нагревают перед подачей на второй этап 50" предварительной обработки, который облегчает предварительный риформинг высших углеводородов в газе. Выходящий поток направляют в реактор 10 э-ПРМ. Это повышает температуру и превращает его (в соответствии с паровым риформингом и конверсией водяного газа) в синтез-газ, содержащий CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и CH<sub>4</sub>. Температура на выходе с этого этапа может составлять 800°C, предпочтительно 950°C и еще более предпочтительно 1100°C. Выходящий поток охлаждают ниже точки росы потока 11 синтез-газа. Конденсат преимущественно жидкой H<sub>2</sub>O отделяют от сухого синтетического газа в сепараторе 20'. Сухой синтетический газ дополнительно очищают в блоке 20" синтеза метанола. В этом варианте осуществления изобретения контур метанола включает компрессор 60 подпиточного газа, реактор 61 метанола с кипящей водой и сепаратор 62 мгновенного испарения метанола, а также внутреннюю рециркуляцию непрореагировавшего газа 63. Часть непрореагировавшего газа 63' возвращают обратно в реактор метанола с кипящей водой 61, как правило, с помощью рециркуляционного компрессора

(не показан), тогда как другую часть потока удаляют из контура в виде отходящего газа 22.

Генератор 30 выполнен с возможностью получения (в данном варианте осуществления изобретения) потока 22 отходящего газа из блока 20<sup>'''</sup> синтеза метанола и генерации второго потока 31 электроэнергии. Второй поток 31 электроэнергии подают от генератора 30 к блоку 60 электроснабжения. Поток 40 от стороннего источника электроэнергии (используемый по усмотрению) также подают к блоку 60 электроснабжения. Затем блок 60 электроснабжения подает первый поток электроэнергии 31 в реактор 10 э-ПРМ.

#### Пример 1.

В примере 1 показан блок по производству метанола, работающий с определенным потоком (1) сырья, главным образом, состоящего из  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ . Его смешивают с паром в виде потока (2) загружаемых сореагентов и затем подвергают риформингу в э-ПРМ для получения продукта синтез-газа. В данном примере при работе с энергоэффективностью на уровне 90% э-ПРМ использует 2790 кВт в качестве первого потока (31) электроэнергии. Синтез-газ проходит секцию улучшения качества, включающую этапы контроля температуры и удаления конденсата из синтез-газа из э-ПРМ (10). В секции улучшения качества синтез-газ сжимают и смешивают с рециркулируемым потоком перед реакцией в реакторе синтеза метанола для получения метанола. Жидкий метанол конденсируют из этого потока, а оставшийся газ разделяют на один поток, направляемый в компрессор, который образует рециркулируемый поток в реактор синтеза метанола. Оставшийся поток представляет собой поток отходящих газов, который направляют в генератор (30) для выработки второго потока (31') электроэнергии. Отходящий газ в этом случае имеет показатель низшей теплотворной способности 3482 ккал/нм<sup>3</sup>. При использовании генератора с КПД преобразования электроэнергии 48% величина второго потока (31') электроэнергии составит 1088 кВт. В ходе работы на э-ПРМ подают дополнительный поток (40) электроэнергии от стороннего источника величиной в 1702 кВт.

При- мер 1	Поток (1) сырья	Дополни- тельный поток (2) сырья	Входное отверстие подачи 50"	Выходное отверстие отвода 50"	Входное отверстие подачи 10"	Выходное отверстие отвода 10"	Входное отверстие мгновенной подачи 10"	Выходное отверстие мгновенного отвода 10"	Отсек на выходе
T [°C]	380	250	304	450	419	950	40	40	218
P [бар и.д.]	28.4	29.4	28.4	27.4	26.4	25.0	23.0	23.0	88.3
Компоне- нты [нм <sup>3</sup> /ч]									
Диоксид углерода	247	0	247	247	263	158	158	158	158
Азот	5	0	5	5	5	5	5	5	5
Метан	741	0	741	741	738	126	126	126	126
Этан	7	0	7	7	0	0	0	0	0
Водород	16	0	16	16	78	1808	1808	1808	1808
Моноок- сид углерода	0	0	0	0	2	718	718	718	718
Вода	0	1133	1133	1133	1100	593	593	9	9
Кислоро- д	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Метанол	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Пример 1 продолжение							
	Дополнительная рециркуляция	Входное отверстие подачи MeOH	Выходное отверстие отвода MeOH	Входное отверстие мгновенной подачи	Отходящий газ (22)	Рециркулируемый поток	Продукт (21)
T [°C]	136	220	250	40	40	40	40
P [бар и.д.]	88.3	87.8	87.3	86.3	86.3	86.3	86.3
Компоненты [нм <sup>3</sup> /ч]							
Диоксид углерода	478	478	437	437	80	320	37
Азот	24	24	24	24	5	19	0
Метан	594	594	594	594	117	468	9
Этан	0	0	0	0	0	0	0
Водород	3086	3086	1603	1603	320	1278	6
Монооксид углерода	864	864	183	183	36	145	1
Вода	9	9	50	50	0	0	49
Кислород	0	0	0	0	0	0	0
Метанол	9	9	730	730	2	9	719

## Пример 2.

В еще одном примере рассмотрим ту же установку и способ, как и в примере 1, с тем же потоком сырья и аналогичной работой э-ПРМ. Однако в данном случае установку переключили на второй рабочий режим В установки, в котором имеется поток (40) электроэнергии от стороннего источника. Данные по этому случаю приведены в табл. 2. В этом случае меняется соотношение между рециклом и отходящим газом, и теперь вместо 20%, как это было в Примере 1, в генератор (30) направляют 60% газа. Следовательно, увеличивается часть потока, состоящая из отходящих газов. При теплотворной способности 3090 ккал/нм<sup>3</sup> и таком же КПД преобразования электроэнергии в 48% получают 1553 кВт. За время эксплуатации поток (40) электроэнергии от стороннего источника в этом случае уменьшился на 23% и составил 1237 кВт.

Пример 2									
	Поток (1) сырья	Доп. поток (2) сырья	Входное отверстие подачи 50"	Выходное отверстие отвода 50"	Входное отверстие подачи 10"	Выходное отверстие отвода 10"	Входное отверстие мгновенной подачи	Выходное отверстие мгновенного отвода	Отсек на выходе
T [°C]	380	250	304	450	419	950	40	40	218
P [бар и.д.]	28.4	29.4	28.4	27.4	26.4	25.0	23.0	23.0	88.3
Компоненты [нм <sup>3</sup> /ч]									
Диоксид углерода	247	0	247	247	263	158	158	158	158
Азот	5	0	5	5	5	5	5	5	5
Метан	741	0	741	741	738	126	126	126	126
Этан	7	0	7	7	0	0	0	0	0
Водород	16	0	16	16	78	1808	1808	1808	1808
Монооксид углерода	0	0	0	0	2	718	718	718	718
Вода	0	1133	1133	1133	1100	593	593	9	9
Кислород	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Метанол	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Пример 2							
Продолжение							
	Доп. рециркулируемый поток	Входное отверстие подачи MeOH	Выходное отверстие отвода MeOH	Входное отверстие мгновенной подачи	Отходящий газ (22)	Рециркулируемый поток	Продукт (21)
T [°C]	186	220	250	40	40	40	40
P [бар и.д.]	88.3	87.8	87.3	86.3	86.3	86.3	86.3
Компоненты [нм <sup>3</sup> /ч]							
Диоксид углерода	237	237	230	230	119	80	31
Азот	8	8	8	8	5	3	0
Метан	207	207	207	207	121	80	6
Этан	0	0	0	0	0	0	0
Водород	2175	2175	924	924	551	367	6
Моноксид углерода	786	786	171	171	101	67	2
Вода	9	9	16	16	0	0	16
Кислород	0	0	0	0	0	0	0
Метанол	3	3	625	625	4	3	618

## Пример 3.

В еще одном примере рассмотрим ту же установку и способ, как и в примере 1, с тем же потоком сырья и аналогичной работой э-ПРМ. Однако в данном случае установку переключили на другой рабочий режим В установки, в котором имеется поток (40) электроэнергии от стороннего источника. Данные по этому случаю приведены в табл. 3. В этом случае углеводородное сырье для установки разделяют на поток (1) сырья и топливный газ, на долю которых приходится соответственно 73% и 27% всего сырья при использовании в примере 1. При пониженной нагрузке на установку в данном примере при работе с энергоэффективностью на уровне 90% э-ПРМ использует 2037 кВт в качестве первого потока (31) электроэнергии. Кроме того, меняется соотношение между рециклом и отходящим газом, и теперь вместо 20%, как это было в Примере 1, в генератор (30) направляют 60% газа. Следовательно, по сравнению с примером 1 увеличивается часть потока, состоящая из отходящих газов. Топливный газ имеет теплотворную способность 6388 ккал/нм<sup>3</sup>, а теплотворная способность отходящего газа составляет 3090 ккал/нм<sup>3</sup> при том же КПД преобразования электроэнергии 48%, за счет чего обеспечивается комбинированная выработка на уровне 2111 кВт. Следовательно, первый поток электроэнергии полностью покрывается выработкой электроэнергии из топливных потоков.

Пример 3									
	Поток (1) сырья	Доп. поток (2) сырья	Входное отверстие подачи 50"	Выходное отверстие отвода 50"	Входное отверстие подачи 10"	Выходное отверстие отвода 10"	Входное отверстие мгновенной подачи	Выходное отверстие мгновенного отвода	Отсек на выходе
T [°C]	380	250	304	450	419	950	40	40	218
P [бар и.д.]	28.4	29.4	28.4	27.4	26.4	25.0	23.0	23.0	88.3
Компоненты [нм <sup>3</sup> /ч]									
Диоксид углерода	180	0	180	180	192	115	115	115	115
Азот	4	0	4	4	4	4	4	4	4
Метан	541	0	541	541	539	92	92	92	92
Этан	5	0	5	5	0	0	0	0	0
Водород	12	0	12	12	57	1320	1320	1320	1320

Монооксид углерода	0	0	0	0	1	524	524	524	524
Вода	0	827	827	827	803	433	433	6	6
Кислород	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Метанол	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Пример 3									
Продолжение									
	Доп. рециркулируемый поток	Входное отверстие подачи MeOH	Выходное отверстие отвода MeOH	Входное отверстие мгновенной подачи	Отходящий газ (22)	Рециркулируемый поток	Продукт (21)	Топливный газ	
T [°C]	186	220	250	40	40	40	40	50	
P [бар и.д.]	88.3	87.8	87.3	86.3	86.3	86.3	86.3	29.4	
Компоненты [нм <sup>3</sup> /ч]									
Диоксид углерода	173	173	168	168	87	58	23	67	
Азот	6	6	6	6	4	2	0	1	
Метан	151	151	151	151	88	59	4	200	
Этан	0	0	0	0	0	0	0	2	
Водород	1588	1588	675	675	402	268	4	4	
Монооксид углерода	574	574	125	125	74	49	2	0	
Вода	6	6	12	12	0	0	12	0	
Кислород	0	0	0	0	0	0	0	0	
Метанол	2	2	456	456	3	2	451	0	

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

- Установка (100) для предоставления потока продукта из первого потока сырья, содержащего углеводороды, содержащая средства подачи первого потока (1) сырья, содержащего углеводороды, средства подачи одного или более потоков (2) загружаемых сореагентов, реактор электрического парового риформинга метана (э-ПРМ) (10), причем реактор (10) э-ПРМ выполнен с возможностью нагрева первым потоком (31) электроэнергии, и причем реактор (10) э-ПРМ выполнен с возможностью получения по меньшей мере части указанного первого потока (1) сырья, содержащего углеводороды, и по меньшей мере части указанного одного или более потоков (2) загружаемых сореагентов, и генерирования первого потока (11) синтез-газа, секция (20) улучшения качества, выполненная с возможностью получения потока (11, 13а) синтез-газа и генерирования, по меньшей мере, первого потока (21) продукта и потока (22) отходящего газа, генератор (30), выполненный с возможностью получения по меньшей мере части указанного потока (22) отходящего газа и части указанного первого потока (1) сырья и генерирования второго потока (31') электроэнергии, причем по меньшей мере часть указанного второго потока (31') электроэнергии предусмотрена для подачи по меньшей мере части первого потока (31) электроэнергии в реактор (10) э-ПРМ.
- Установка по п.1, содержащая средства предоставления потока (40) электроэнергии от стороннего источника, выполненная с возможностью подачи части первого потока (31) электроэнергии в реактор (10) э-ПРМ.
- Установка по п.2, отличающаяся тем, что источник возобновляемой электроэнергии выполнен с возможностью подачи указанного потока (40) электроэнергии от стороннего источника.
- Установка по п.1, отличающаяся тем, что генератор (30) выполнен таким образом, что второй поток (31') электроэнергии составляет весь первый поток (31) электроэнергии, необходимый для нагрева реактора (10) э-ПРМ.
- Установка по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что генератор (30) выполнен таким образом, что второй поток (31') электроэнергии, производимый генератором, больше, чем первый поток (31) электроэнергии.

6. Установка по любому из пп.1-5, отличающаяся тем, что указанная установка (100) дополнительно содержит по меньшей мере один реактор (13) конверсии водяного газа (КВГ), расположенный по ходу процесса после указанного реактора (10) э-ПРМ, причем по меньшей мере один реактор (13) КВГ выполнен с возможностью получения по меньшей мере части первого потока (11) синтез-газа из реактора (10) э-ПРМ и генерации второго потока (13а) синтез-газа из указанного первого потока (11) синтез-газа, и причем по меньшей мере часть указанного второго потока (13а) синтез-газа подают в указанную секцию (20) улучшения качества.

7. Установка по любому из пп.1-6, отличающаяся тем, что указанная установка (100) дополнительно содержит один или более блоков кондиционирования, расположенных между указанным реактором (10) э-ПРМ и указанной секцией (20) улучшения качества, при этом указанные один или более блоков кондиционирования выбраны из блока мгновенной сепарации, блока удаления  $\text{CO}_2$ , метанатора или их комбинации.

8. Установка по любому из предшествующих пунктов, содержащая секцию (50) предварительной обработки, расположенную по ходу процесса перед реактором (10) э-ПРМ, выполненную с возможностью предварительной обработки первого потока (1) сырья из углеводородов в комбинации с одним или более потоками (2) загружаемых сореагентов перед его подачей в реактор (10) э-ПРМ, причем указанная секция (50) предварительной обработки содержит один или более блоков предварительной обработки, выбранных из блока регулирования газа, блока нагрева, блока гидрообессеривания (ГОС) и блока предварительного риформинга.

9. Установка по п.8, отличающаяся тем, что часть (22а) потока (22) отходящего газа из секции (20) улучшения качества выполнена с возможностью возврата в секцию (50) предварительной обработки и использования в качестве топлива для указанного блока нагрева.

10. Установка по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что содержит средства для смешивания первого потока (1) сырья, содержащего углеводороды, и по меньшей мере части указанного одного или более потоков (2) загружаемых сореагентов предусмотрены для смешивания, и реактор (10) э-ПРМ выполнен с возможностью получения смешанного сырья из первого потока (1) сырья, содержащего углеводороды, и одного или более потоков (2) загружаемых сореагентов.

11. Установка по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что средства подачи одного или более потоков (2) загружаемых сореагентов выполнены с возможностью предоставления потоков (2) загружаемых сореагентов, выбранных из потока загружаемого пара, водорода или  $\text{CO}_2$ .

12. Установка по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащая блок (60) электроснабжения, выполненный с возможностью получения второго потока (31') электроэнергии от генератора (30) и, при необходимости, потока (40) электроэнергии от стороннего источника и подачи первого потока (31) электроэнергии в реактор (10) э-ПРМ.

13. Установка по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что секция (20) улучшения качества представляет собой секцию очистки водорода, секцию синтеза метанола, криогенный блок  $\text{CO}$ , контур аммиака или секцию Фишера-Тропша.

14. Установка по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что секция (20) улучшения качества представляет собой секцию очистки водорода, секция (20) улучшения качества выполнена таким образом, что первый поток (21) продукта представляет собой поток с высоким содержанием водорода, и

секция (20) улучшения качества выполнена таким образом, что поток (22) отходящего газа представляет собой поток отходящего газа из секции очистки водорода.

15. Установка по любому из пп.1-13, отличающаяся тем, что секция (20) улучшения качества представляет собой секцию синтеза метанола, секция (20) улучшения качества выполнена таким образом, что первый поток (21) продукта представляет собой поток с высоким содержанием метанола, и

секция (20) улучшения качества выполнена таким образом, что поток (22) отходящего газа представляет собой поток отходящего газа из секции синтеза метанола.

16. Установка по любому из пп.1-13, отличающаяся тем, что секция (20) улучшения качества представляет собой криогенный блок  $\text{CO}$ , секция (20) улучшения качества выполнена с возможностью получения потока (11, 13а) синтез-газа и генерирования первого потока (21) продукта, который в основном представляет собой поток чистого  $\text{CO}$ , и второй поток (21а) продукта, который в основном представляет собой поток чистого  $\text{H}_2$  и поток (22) отходящего газа из криогенного блока  $\text{CO}$ .

17. Установка по любому из пп.1-13, отличающаяся тем, что секция (20) улучшения качества представляет собой контур аммиака, секция (20) улучшения качества выполнена таким образом, что поток (21) продукта представляет собой поток практически чистого аммиака, и

секция (20) улучшения качества выполнена таким образом, что поток (22) отходящего газа представляет собой поток отходящего газа из контура аммиака.

18. Установка по любому из пп.1-13, отличающаяся тем, что

секция (20) улучшения качества представляет собой секцию Фишера-Тропша, секция (20) улучшения качества выполнена таким образом, что поток (21) продукта представляет собой поток высших углеводов, и

секция (20) улучшения качества выполнена таким образом, что поток (22) отходящего газа представляет собой поток отходящего газа из секции Фишера-Тропша.

19. Способ предоставления потока (21) продукта из первого потока (1) сырья, содержащего углеводороды, при этом указанный способ включает следующие этапы:

предоставление установки по любому из предшествующих пунктов,

подача по меньшей мере части первого потока (1) сырья, содержащего углеводороды, и одного или более потоков (2) загружаемых реагентов в реактор (10) парового риформинга метана (э-ПРМ) и нагрев указанного реактора (10) э-ПРМ с помощью первого потока (31) электроэнергии для получения потока (11) синтез-газа из указанного первого потока (1) сырья,

подача потока (11, 13а) синтез-газа в секцию (20) улучшения качества и генерирование из этого потока, по меньшей мере, первого потока (21) продукта и потока (22) отходящего газа,

подача по меньшей мере части указанного потока (22) отходящего газа и части указанного первого потока (1) продукта в генератор (30) и генерирование второго потока (31') электроэнергии,

подача по меньшей мере части указанного второго потока (31') электроэнергии в качестве по меньшей мере части первого потока (31) электроэнергии в реактор (10) э-ПРМ.

20. Способ эксплуатации установки по любому из пп.1-18, отличающийся тем, что

в первом рабочем режиме А установки первый поток (31) электроэнергии к реактору (10) э-ПРМ включает первую часть (А1) второго потока (31') электроэнергии и первую часть (А2) потока электроэнергии от стороннего источника;

во втором рабочем режиме В установки первый поток (31) электроэнергии к реактору (10) э-ПРМ включает вторую часть (В1) второго потока (31') электроэнергии и вторую часть (В2) потока электроэнергии от стороннего источника;

причем первая часть (А1) второго потока (31') электроэнергии в первом рабочем режиме А установки меньше, чем вторая часть (В1) второго потока (31') электроэнергии во втором рабочем режиме В установки;

и причем первая часть (А2) потока электроэнергии от стороннего источника в первом рабочем режиме А установки больше, чем вторая часть (В2) потока электроэнергии от стороннего источника во втором рабочем режиме В установки;

при этом указанный способ включает этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки или наоборот.

21. Способ по п.20, отличающийся тем, что первый поток (31) электроэнергии во втором рабочем режиме В установки меньше, чем первый поток (31) электроэнергии в первом рабочем режиме А установки.

22. Способ по любому из пп.20, 21, отличающийся тем, что в первом рабочем режиме А установки первая часть (А1) второго потока (31') электроэнергии в первом потоке (31) электроэнергии составляет 50% или менее, 30% или менее, 10% или менее или 0%.

23. Способ по любому из пп.20-22, отличающийся тем, что во втором рабочем режиме В установки вторая часть (В1) второго потока (31') электроэнергии в первом потоке (31) электроэнергии составляет 75% и более, 80% и более, 90% и более или 100%.

24. Способ по любому из пп.20-23, отличающийся тем, что во втором рабочем режиме В установки первый поток (31) электроэнергии к реактору (10) э-ПРМ включает второй поток (31') электроэнергии; и вторая часть (В2) потока электроэнергии от стороннего источника равна нулю.

25. Способ по любому из пп.20-24, отличающийся тем, что этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки, по меньшей мере, частично осуществляют за счет увеличения выработки отходящего газа в секции (20) улучшения качества.

26. Способ по любому из пп.20-25, отличающийся тем, что этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки, по меньшей мере, частично осуществляют за счет подачи части указанного первого потока (1) сырья непосредственно в указанный генератор (30).

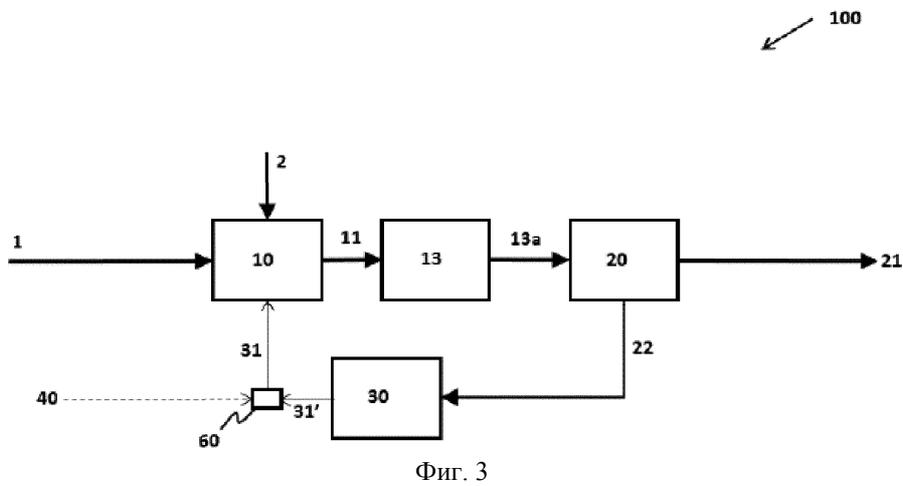
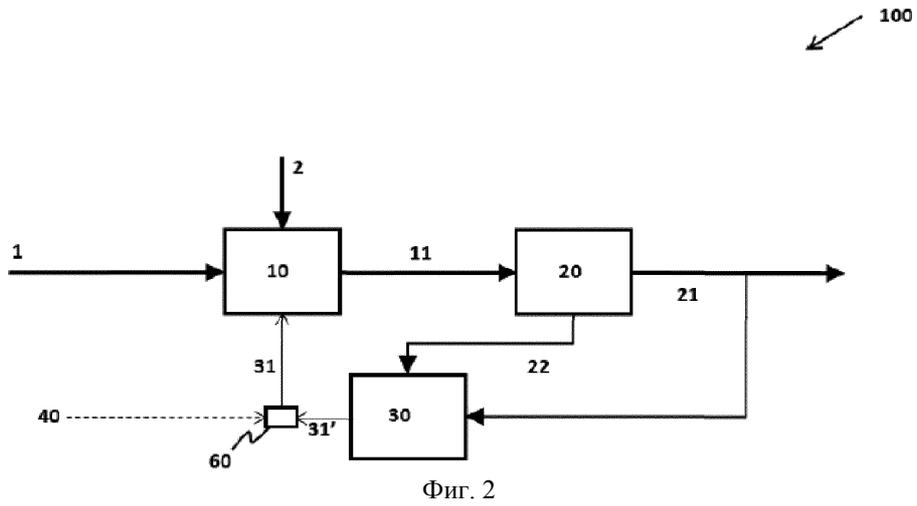
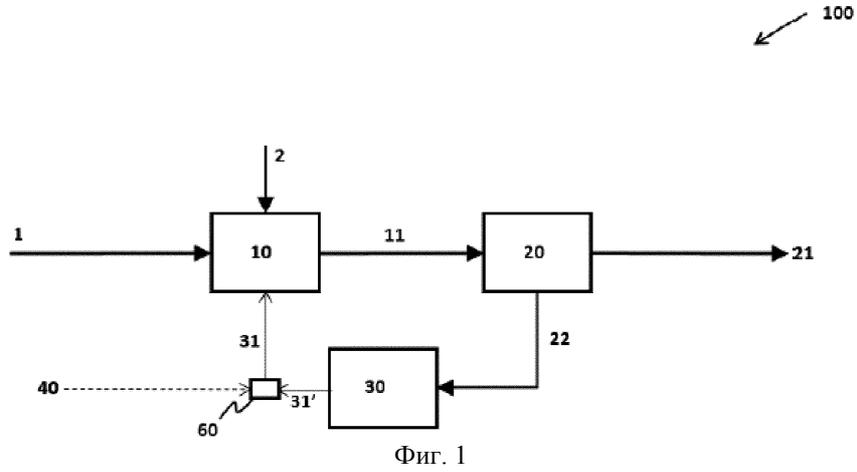
27. Способ по любому из пп.20-26, отличающийся тем, что этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки, по меньшей мере, частично осуществляют за счет уменьшения указанного первого потока электроэнергии.

28. Способ по любому из пп.20-27, отличающийся тем, что указанный поток электроэнергии от стороннего источника обеспечивают из возобновляемого источника, и причем указанный этап переключения из рабочего режима А установки в рабочий режим В установки осуществляют в периоды, когда поток электроэнергии от стороннего источника, доступный для использования от указанного возобновляемого источника, падает ниже заданного значения.

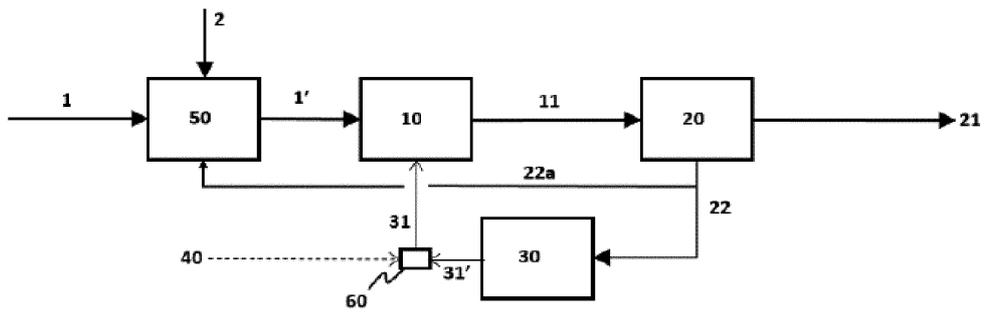
29. Способ по любому из пп.20-28, отличающийся тем, что указанный поток электроэнергии от стороннего источника обеспечивается из возобновляемого источника, и причем указанный этап переключения из рабочего режима В установки в рабочий режим А установки осуществляют в периоды, когда по-

ток электроэнергии от стороннего источника, доступный для использования от указанного возобновляемого источника, возрастает выше заданного значения.

30. Способ по любому из пп.20-29, отличающийся тем, что указанное переключение между рабочими режимами А и В и наоборот происходит в течение 2 ч, более предпочтительно в течение 1 ч и наиболее предпочтительно в течение 0,5 ч после предыдущего переключения.

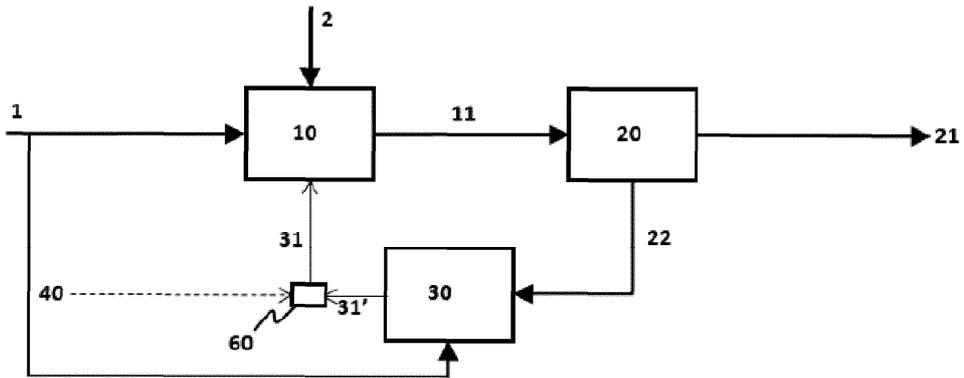


100 ↙

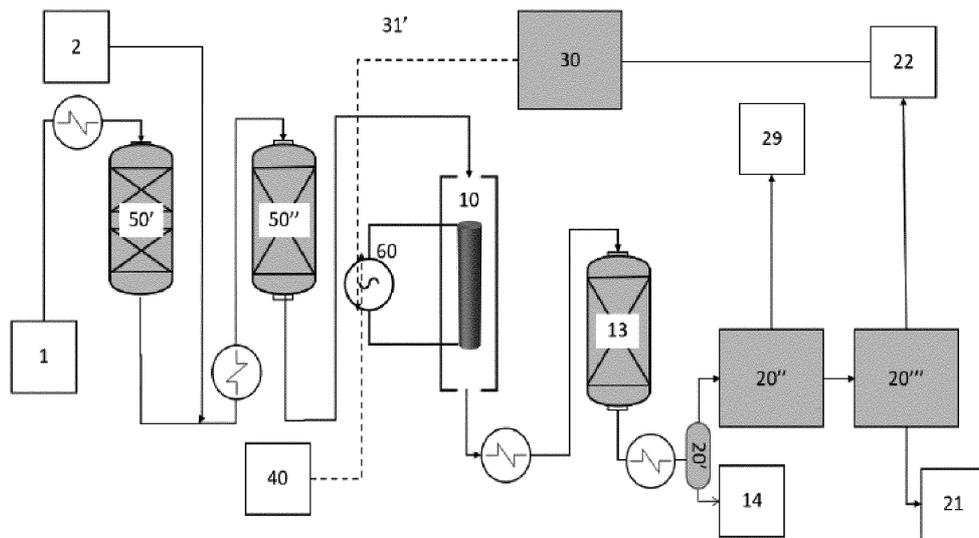


Фиг. 4

100 ↙



Фиг. 5



Фиг. 6

