

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202491866 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2024.10.10

(51) Int. Cl. F25J 3/02 (2006.01)  
F25J 3/04 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2023.01.23

(54) ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕКЦИИ КРИОГЕННОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕЗ-ГАЗА

(31) 22152989.4

(72) Изобретатель:

(32) 2022.01.24

Мортенсен Петер Мольгор,

(33) EP

Кристенсен Стеффен Спангсберг (DK)

(86) PCT/EP2023/051564

(87) WO 2023/139259 2023.07.27

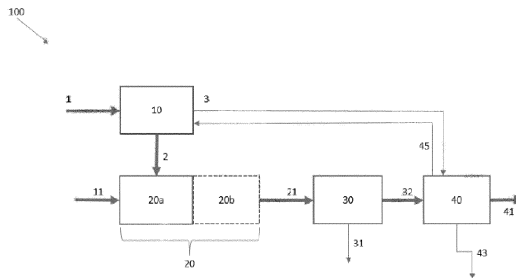
(74) Представитель:

(71) Заявитель:

Беляев С.Б. (BY)

ТОПСЁЭ А/С (DK)

(57) Изобретение касается химической установки, содержащей воздухоразделительную секцию (ВРУ), секцию риформинга, секцию удаления воды и секцию низкотемпературной сепарации. Первую подачу атмосферного воздуха отделяют в ВРУ для получения потока хладагента. Угледородное сырье преобразуют в первый поток синтез-газа в секции риформинга. Воду удаляют из первого потока синтез-газа и, по меньшей мере, часть полученного осушенного первого потока синтез-газа разделяют, по меньшей мере, на поток продукта и поток побочных продуктов в секции низкотемпературной сепарации. Важно отметить, что секция низкотемпературной сепарации охлаждается потоком хладагента (например, азота) из ВРУ. Также изобретение касается способа получения потока продуктов с использованием установки.



A1

202491866

202491866

A1

## **Эффективное использование секции криогенной сепарации при производстве синтез-газа**

### **ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ**

Настоящее изобретение касается химических установок и способов, в которых воздухоразделительная секция (ВРУ) обеспечивает кислород для секции риформинга в процессе риформинга углеводородного сырья, а также поток, содержащий хладагент (например, азот), который может использоваться для охлаждения других компонентов установки или этапов технологического процесса. Настоящее изобретение описывает способ достижения синергии между несколькими криогенными установками или технологическими этапами в рамках одной и той же химической установки/способа.

### **УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ**

В основе процессов криогенного разделения, как правило, лежит эффект Джоуля-Томсена. По сути, это означает, что при заданной температуре и давлении расширение газа или жидкости приводит к охлаждению среды. Как и в холодильнике, это означает, что охлаждение можно обеспечить, сначала сжимая газ, а после расширяя его.

В химической промышленности криогенные процессы широко используются для процессов разделения, типичными примерами такого использования являются воздухоразделительные секции и блоки охлаждения СО. Данные устройства традиционно эксплуатировались в качестве независимых узлов, в которых условия в границах установки близки к условиям окружающей среды.

На сегодняшний день криогенные установки проектируются как автономные установки, где охлаждение внутри установки обеспечивается специальным компрессором. В блоке охлаждения СО охлаждение обеспечивается за счет рециркуляции большого количества СО, а отделение СО<sub>2</sub> происходит за счет расширения продукта СО<sub>2</sub>. Процессы криогенного разделения также могут быть дорогостоящими и ресурсоемкими, поскольку для приведения механизма охлаждения в действие в секциях разделения необходимо предусмотреть большие

компрессоры. Известная технология включает технологию, предусмотренную заявкой US2013/0111948 A1.

Существует потребность в более эффективных химических установках и способах, которые позволяют оптимизировать потенциал синергии между различными установками, включая воздухоразделительную секцию (ВРУ).

#### КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Автором(-ами) настоящего изобретения было установлено, что хладагент может быть получен из одной установки, в частности, ВРУ, и впоследствии использован для реализации другого криогенного процесса. Это позволяет использовать меньшее количество компрессоров в рамках такой установки, что также повышает эффективность работы отдельных компрессоров. Соответственно, настоящая технология позволяет получить установку по независимым пунктам 1 и 17 формулы изобретения, а также способ по независимому пункту 14 формулы изобретения.

Более подробная информация о технологии приведена в прилагаемых зависимых пунктах формулы изобретения, фигурах и примерах.

#### ОПИСАНИЕ ФИГУР

Суть технологии раскрывается следующими схематическими иллюстрациями, на которых:

На Фиг.1 показана базовая компоновка установки по изобретению.

На Фиг.2 – доработка варианта осуществления, представленного на Фиг.1.

Фигура 3 представляет собой доработанный вариант осуществления, представленный на Фигуре 2, включая установку промывки азотом и контур аммиака.

#### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

За исключением случаев, когда указано иное, любые заданные проценты содержания газа представлены в качестве объемного %. Все сырье при необходимости предварительно подогревается.

Термин «синтетический газ» (сокращенно «синтез-газ») обозначает газ, содержащий водород, монооксид углерода, диоксид углерода, а также небольшие объемы других газов, таких как аргон, азот, метан и т.д.

Текущая концепция описывает способ переноса всей генерации охлаждения на ВРУ, которая обеспечивает охлаждение одного или нескольких процессов в рамках этапа подготовки синтез-газа. Потребность в оборудовании для криогенной сепарации снижается за счет переноса охлаждения в один более или менее специализированный компрессор в рамках ВРУ. Это также повышает надежность процесса, поскольку для вращающегося оборудования (такого как компрессор) обычно необходимы планы обслуживания и резервные планы для обеспечения стабильной работы химического производства.

Настоящее изобретение описывает, каким образом можно достичь синергии между несколькими криогенными процессами, реализуемыми в рамках одной и той же химической установки. В частности, в рамках ВРУ получают и используют для реализации других процессов охлаждения побочный продукт обогащенного азотом охлаждающего газа/жидкости. Жидкий азот имеет температуру кипения  $-196^{\circ}\text{C}$ , что делает его подходящей средой для охлаждения, например, блока охлаждения  $\text{CO}$ , который обычно работает при температуре около  $-180^{\circ}\text{C}$ . Аналогичным образом может работать и секция отделения  $\text{CO}_2$ , поскольку она обычно работает при температуре около  $-100^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, получают химическую установку, которая содержит:

- криогенную воздухоразделительную секцию (ВРУ),
- секцию риформинга, а также
- секцию удаления воды
- секция низкотемпературной сепарации
- первую подачу атмосферного воздуха,
- углеводородное сырье.

Данные компоненты и их взаимодействие рассматриваются по тексту ниже.

### *Сырье*

Первую подачу атмосферного воздуха осуществляют в химическую установку, в частности, в ВРУ. В предпочтительном варианте осуществления

указанный атмосферный воздух берут из окружающей атмосферы указанной ВРУ. Указанный атмосферный воздух, как правило, содержит по меньшей мере 75 - 80% азота и 15 - 25% кислорода, при этом в нем также могут присутствовать и другие компоненты, такие как  $\text{CO}_2$ , Ar и He. Типичная температура находится в диапазоне от  $-25$  до  $+50^\circ\text{C}$ , а типичное давление составляет от 0,9 до 1,1 атм.

В секцию риформинга подают углеводородное сырье. В контексте настоящей заявки термин «углеводородное сырье» означает газ с одним или несколькими углеводородами и, возможно, другими компонентами. Таким образом, углеводородное сырье, как правило, содержит углеводородный газ, такой как  $\text{CH}_4$ , и, при необходимости, высшие углеводороды, часто в относительно небольших количествах, в дополнение к различным объемам других газов. Высшие углеводороды представляют собой компоненты с двумя и более атомами углерода, такие как этан и пропан. Примерами «углеводородного газа» могут служить природный газ, бытовой газ, нефтяной газ или смесь метана и высших углеводородов, биогаз или сжиженный нефтяной газ. Углеводороды также могут представлять собой компоненты с атомами, отличными от углерода и водорода, например оксигенаты. Углеводородное сырье также может содержать другие компоненты, такие как окись углерода, диоксид углерода, азот и аргон, в следовых количествах (например, менее 2%).

#### *Криогенная воздухоразделительная секция (ВРУ)*

Криогенная воздухоразделительная секция (также именуемая «воздухоразделительной установкой, ВРУ») выполнена с возможностью приема указанного первого потока атмосферного воздуха и получения второго потока, содержащего кислород, а также третьего потока хладагента. Третий поток хладагента предпочтительно представляет собой поток азота. ВРУ функционирует за счет дистилляции. ВРУ может содержать одну дистилляционную колонну, работающую при повышенном давлении, или несколько дистилляционных колонн, при этом каждая колонна работает при различных повышенных давлениях.

В предпочтительных вариантах осуществления ВРУ содержит либо двухколонную компоновку, включающую в себя колонну повышенного давления и колонну пониженного давления, в рамках которой колонны термически объединены ребойлером/конденсатором, либо трехколонную компоновку,

включающую в себя колонну повышенного давления, колонну промежуточного давления и колонну пониженного давления, в которой колонна повышенного давления термически объединена с колонной пониженного давления посредством первого ребойлера/конденсатора, а колонна промежуточного давления термически объединена с колонной пониженного давления через второй ребойлер-конденсатор. Рабочее давление колонны повышенного давления обычно составляет от около 3 бар до около 12 бар (от 0,3 до 1,2 МПа). Рабочее давление колонны пониженного давления обычно составляет от около 1,1 бар до около 5 бар (от 0,11 до 0,5 МПа). Рабочее давление колонны промежуточного давления обычно составляет от около 1,8 бар до около 8 бар (от 0,18 до 0,8 МПа).

В одном варианте осуществления указанный третий поток хладагента представляет собой по сути чистый азот при температуре от  $-195$  до  $-170^{\circ}\text{C}$  и давлении от 0,1 до 50 бар и.д. В одном варианте осуществления указанный третий поток хладагента представляет собой по сути чистый кислород при температуре от  $-195$  до  $-170^{\circ}\text{C}$  и давлении от 0,1 до 50 бар и.д.

#### *Секция риформинга*

Секция риформинга выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части углеводородного сырья и его преобразования в первый поток синтез-газа. Соответственно, секция риформинга также выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части второго потока, содержащего кислород и углеводородное сырье, и их преобразования в первый поток синтез-газа. В секцию риформинга также может осуществляться подача пара и, возможно, также подача  $\text{CO}_2$ .

Секция риформинга обычно имеет сторону подачи и сторону топки и выполнена с возможностью приема углеводородного сырья. «Сторона подачи» – это сторона секции риформинга, куда поступает углеводородное сырье. «Сторона топки» – это сторона секции риформинга, которая создает повышенные температуры, используемые для, по меньшей мере, частичного облегчения процесса риформинга.

Секция риформинга позволяет преобразовывать углеводородное сырье в поток синтез-газа на стороне подачи секции риформинга. Секция риформинга соответственно содержит, по меньшей мере, одну установку(-и) первичного риформинга, выбранную из числа установки паровой конверсии метана (ПКМ),

установки автотермического риформинга (АТР), установки конвективного риформинга или установки двухстадийного риформинга, предпочтительно установку АТР. В случае с ПКМ под «стороной подачи» секции риформинга понимают подачу катализатора в трубчатый реактор, а под «стороной топки» понимают горелки, установленные в камере сгорания, окружающей трубчатые реакторы. В случае АТР «сторона подачи» секции риформинга обозначает подачу катализатора в АТР, а «сторона топки» обозначает огневой нагреватель.

Секция риформинга соответственно содержит одну или более установок первичного риформинга из числа реактора паровой конверсии метана (ПКМ), э-ПКМ и реактора автотермического риформинга (АТР). Этот процесс особенно эффективен в случаях, когда секция риформинга содержит АТР, поскольку в этом реакторе может использоваться кислородный продукт из ВРУ. Таким образом можно достичь синергии между всеми основными компонентами установки.

Секция риформинга может содержать установку первичного риформинга и преобразователь, расположенный по ходу процесса после установки первичного риформинга. Преобразователь изменяет состав первого потока синтез-газа таким образом, что может быть получено, например, нужное соотношение  $H_2/CO$ .

В другом предпочтительном варианте осуществления секция риформинга содержит электрическую паровую установку паровой конверсии метана (э-ПКМ).

Более подробные сведения о соответствующих установках риформинга и их эксплуатации известны специалистам в данной области и дальнейшего подробного рассмотрения не требуют.

#### *Секция удаления воды*

Секция удаления воды выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части первого потока синтез-газа и предоставления обогащенного водой потока и осушенного первого потока синтез-газа. В одном варианте осуществления секция удаления воды выбрана из группы, состоящей из установки мгновенного разделения, установки адсорбции с переменным давлением (АПД), установки адсорбции с переменной температурой (АПТ) или их комбинации.

В одном из вариантов осуществления секция удаления воды установки представляет собой установку мгновенного разделения. Установке мгновенного

разделения часто предшествует соответствующее оборудование для снижения температуры. Под мгновенным разделением понимают установку фазового разделения, в которой поток разделяется на жидкую и газовую фазы, близкие к термодинамическому фазовому равновесию или находящиеся в нем при данной температуре.

В одном из вариантов осуществления секция удаления воды установки представляет собой установку адсорбции с переменным давлением (установка АПД) или установку адсорбции с переменным температурным режимом (установка АПТ). Под переменной адсорбцией понимают установку для адсорбции выбранных соединений. В данном 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 зависит от используемого адсорбента, а равновесное насыщение зависит от температуры и давления. Обычно адсорбирующий материал обрабатывается в газовой смеси почти до момента насыщения наиболее тяжелыми соединениями и впоследствии требует регенерации. Регенерацию можно осуществлять путем изменения давления или температуры. На практике это означает, что используется процесс, по меньшей мере, с двумя установками, насыщающий адсорбент при высоком давлении или низкой температуре сначала в одной установке, а затем выполняется переход на другую установку, где выполняется десорбция адсорбированных молекул из той же установки путем снижения давления или увеличения температуры. Когда установка работает с перепадами давления, она именуется адсорбционной установкой с переменным давлением, а когда установка работает с перепадами температуры, она именуется адсорбционной установкой с переменной температурой.

#### *Секция низкотемпературной сепарации*

Секция низкотемпературной сепарации выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части высушенного первого потока синтез-газа и его разделения, по меньшей мере, на поток продукта и поток побочных продуктов. Как правило, поток побочных продуктов представляет собой поток, обогащенный СО, либо поток, обогащенный СО<sub>2</sub>. От типа секции низкотемпературной сепарации зависит,



будет ли вместе с потоком продукта получен поток, обогащенный СО или поток, обогащенный СО<sub>2</sub>.

Важно отметить, что секция низкотемпературной сепарации охлаждается, по меньшей мере, частью третьего потока хладагента из ВРУ. Таким образом, выход холодного богатого азотом газа/жидкости из ВРУ можно использовать для реализации других процессов охлаждения на установке/в рамках процесса.

В качестве хладагента из ВРУ выступает азот. В одном варианте осуществления хладагент представляет собой по сути чистый кислород. В другом варианте осуществления хладагент представляет собой смесь азота и кислорода.

Секция низкотемпературной сепарации может содержать блок охлаждения СО и/или секцию криогенного разделения СО<sub>2</sub>.

В одном варианте осуществления секция низкотемпературной сепарации содержит блок охлаждения СО, поток побочных продуктов представляет собой поток, обогащенный СО, а поток продукта представляет собой поток, обогащенный Н<sub>2</sub>. В данном варианте осуществления установка/способ содержит ВРУ, секцию риформинга и сепарацию с блоком охлаждения СО. В этом случае блок охлаждения СО выполнен с возможностью охлаждения потоком хладагента из ВРУ. Таким образом, любой компрессор рециркуляции СО может быть значительно уменьшен в размерах и потенциально от его использования можно полностью отказаться.

Блок охлаждения СО обычно содержит (по порядку)

- i. узел промывки метаном;
- ii. узел отгонки водорода и;
- iii. секцию сепарации СО/СН<sub>4</sub>.

Узел промывки метаном выполнен с возможностью приема потока синтез-газа из секции риформинга и его разделения на, по меньшей мере, поток, обогащенный Н<sub>2</sub>, и второй поток газа, обедненный Н<sub>2</sub>. Поток синтез-газа из секции риформинга может быть потоком, полученным из установки первичного риформинга, либо его химический состав может быть изменен (например, с помощью, по меньшей мере, одной описанной выше дополнительной установки) с тем, чтобы обеспечить подачу альтернативного потока синтез-газа.

Узел отгонки водорода выполнен с возможностью приема обедненного  $H_2$  второго газового потока из узла промывки метаном и его разделения, по меньшей мере, на промежуточный поток и поток отходящих газов. В рамках узла отгонки водорода используют механизм низкотемпературного разделения жидкости и газа для удаления остаточного водорода из смеси  $CO-CH_4$  во втором газовом потоке, обедненном  $H_2$ .

Секция сепарации  $CO/CH_4$  выполнена с возможностью приема промежуточного потока из указанного узла отгонки водорода и его разделения, по меньшей мере, на поток метана и поток, обогащенный  $CO$ . В секции разделения  $CO/CH_4$  используют низкотемпературный механизм разделения жидкости и газа для отделения  $CO$  от  $CH_4$  в промежуточном потоке.

В блоке охлаждения  $CO$  из колонны разделения  $CO/CH_4$  получают практически чистый  $CH_4$ . Его частично используют для промывки синтез-газа в первой колонне, при этом жидкий метан закачивается до давления, немного превышающего давление подачи в блок охлаждения. При этом часть метана удаляют из контура для контроля общего материального баланса. Его расширяют и смешивают с отходящим газом из узла отгонки водорода, а затем используют для охлаждения сырья. В рамках настоящего изобретения синергия обеспечивается за счет удаления жидкого метана под высоким давлением и отказа от смешивания с отходящим газом. Если оставить метан под высоким давлением, продолжив при этом теплообмен с сырьем, это будет означать, что общая нагрузка блока охлаждения незначительно увеличится, при этом общий расход сырья всей установки риформинга уменьшится, при возврате метана в топочную часть установки.

Дополнительную информацию о блоке охлаждения  $CO$ , в рамках которого используется комбинация узла промывки метаном, узла отгонки водорода и секции разделения  $CO/CH_4$ , можно найти в *Industrial Gases Processing* («Обработка промышленных газов»), под редакцией Н.-W. Häring, Wiley-VCH Verlag (X. - В. Херинг, Уайли-изд. VCH), 2008 г.

В другом варианте осуществления секция низкотемпературной сепарации содержит секцию криогенного разделения  $CO_2$ , а поток побочных продуктов представляет собой поток, обогащенный  $CO_2$ , и поток продукта представляет собой

синтез-газ, обедненный  $\text{CO}_2$ . В этом варианте осуществления установка/способ содержит ВРУ, секцию риформинга и секцию сепарации с помощью секции криогенной сепарации  $\text{CO}_2$ . В этом случае секция криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  выполнена с возможностью охлаждения, по меньшей мере, частью третьего потока хладагента из ВРУ. Таким образом, из секции сепарации  $\text{CO}_2$  может подаваться сжатый синтез-газ, обедненный  $\text{CO}_2$ , и сжатый  $\text{CO}_2$ , где обычно происходит расширение  $\text{CO}_2$ .

Секция криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  обычно содержит первую стадию охлаждения синтез-газа, за которой следует установка криогенной мгновенной сепарации для отделения жидкого конденсата от газовой фазы. Охлаждение для целей первой стадии охлаждения может обеспечиваться продуктом, полученным в узде криогенного мгновенного разделения, возможно, в сочетании с другими хладагентами. При необходимости, один или несколько продуктов из секции удаления  $\text{CO}_2$  могут быть в определенной степени расширены для получения более холодного технологического газа для этой стадии охлаждения. Криогенная сепарация  $\text{CO}_2$  должна осуществляться при повышенном давлении, по меньшей мере, выше тройной точки  $\text{CO}_2$  с тем, чтобы обеспечить возможность конденсации  $\text{CO}_2$ . Поэтому подходящим режимом давления является, по меньшей мере, значение выше тройной точки в 5 бар, где повышенное давление приводит к увеличению выхода жидкости.

Соответственно, секция криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  работает при температуре около  $-30^\circ\text{C}$  –  $-80^\circ\text{C}$ , в зависимости от заданного давления. В одном варианте осуществления изобретения количество  $\text{CO}_2$ , конденсируемого при криогенной сепарации, увеличивается за счет снижения рабочей температуры.

В одном из вариантов осуществления секция криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  содержит блок охлаждения, за которым следует блок мгновенного разделения, за которым следует блок нагрева. В одном из вариантов осуществления секция криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  содержит установку осушки газа. Предпочтительно, установка осушки газа является первой установкой секции криогенной сепарации  $\text{CO}_2$ .

В конкретном варианте осуществления установка выполнена с возможностью рециркуляции потока побочных продуктов, богатых  $\text{CO}_2$ , из секции криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  в секцию риформинга в качестве сырья или в

углеводородное сырье. Такая сепарация  $\text{CO}_2$  от высушенного первого потока синтез-газа и рециркуляция отделенного потока побочных продуктов, богатых  $\text{CO}_2$ , обеспечили возможность получения синтез-газа с более низким соотношением  $\text{H}_2/\text{CO}$ .

Дополнительный вариант осуществления предусматривает ВРУ, секцию риформинга, секцию криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  и блок охлаждения  $\text{CO}$ . Таким образом, в данном случае секция низкотемпературной сепарации содержит криогенную секцию сепарации  $\text{CO}_2$  и блок охлаждения  $\text{CO}$ . Секция криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  устроена так, чтобы принимать, по меньшей мере, часть указанного высушенного первого потока синтез-газа и обеспечивать поток, обогащенный  $\text{CO}_2$ , и синтез-газ, обедненный  $\text{CO}_2$ . Блок охлаждения  $\text{CO}$  выполнен с возможностью приема, по меньшей мере, части синтез-газа, обедненного  $\text{CO}_2$ , из секции криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  и его разделения на поток, обогащенный  $\text{CO}$ , и поток, обогащенный  $\text{H}_2$ .

В данном варианте осуществления, по меньшей мере, часть третьего потока хладагента из ВРУ может использоваться для первого охлаждения блока охлаждения  $\text{CO}$ , а затем для охлаждения секции криогенной сепарации  $\text{CO}_2$ . Такая компоновка позволяет наилучшим образом использовать охлаждающую способность потока хладагента, поскольку потребность в охлаждении для блока охлаждения  $\text{CO}$  выше, чем для секции криогенной сепарации  $\text{CO}_2$ . Например, для удаления воды необходима температура около  $-40^\circ\text{C}$ , для отделения  $\text{CO}_2$  необходима температура около  $-50^\circ\text{C}$ , а для отделения  $\text{CO}$  необходима температура около  $-160^\circ\text{C}$ , в зависимости от заданного значения давления.

#### *Установка производства аммиака*

Установка может быть дополнена дополнительными блоками/секциями, обеспечивающими синтез аммиака. Таким образом, в одном аспекте установка может дополнительно содержать установку промывки азотом и контур аммиака. Установка промывки азотом выполнена с возможностью приема обедненного  $\text{CO}_2$  синтез-газа и обеспечения обогащенного азотом потока. Контур аммиака выполнен с возможностью приема обогащенного азотом потока из установки промывки азотом и обеспечения потока аммиачного продукта.

Установка промывки азотом работает за счет подачи сырого водорода в нижнюю часть установки промывки азотом и азота под высоким давлением в верхнюю часть установки промывки. Оба потока охлаждаются с помощью продуктового газа, а любые следовые примеси, такие как метан, аргон и окись углерода, впоследствии удаляются и перерабатываются в топливный газ. Наконец, в технологический поток под высоким давлением подается азот для обеспечения идеального баланса водорода и азота.

Установка по данному аспекту, в частности, подходит для синтеза аммиака, поскольку имеется готовый запас охлажденного азота. Следовательно, по меньшей мере, часть третьего потока хладагента из ВРУ также может быть предназначена для подачи в установку промывки азотом, где он выступает как хладагент, а также как источник азота. Альтернативно или дополнительно, по меньшей мере, часть третьего потока хладагента также может быть предназначена для подачи в контур аммиака.

Соответственно, контур аммиака содержит секцию отделения аммиака, и, по меньшей мере, часть третьего потока хладагента предназначена для охлаждения указанной секции отделения аммиака.

Также предусмотрен способ получения потока продукта в рамках химической установки, предусмотренной настоящей заявкой. Способ, как правило, содержит следующие этапы:

- предоставление химической установки, предусмотренной настоящей заявкой;
- подачу первого потока атмосферного воздуха в ВРУ и получение второго потока, содержащего кислород, а также третьего потока хладагента;
- подачу, по меньшей мере, части углеводородного сырья в указанную секцию риформинга и его преобразование в первый поток синтез-газа;
- подачу, по меньшей мере, части первого потока синтез-газа в указанную секцию удаления воды и обеспечение обогащенного водой потока и осушенного первого потока синтез-газа;
- подачу, по меньшей мере, части упомянутого осушенного первого потока синтез-газа в секцию низкотемпературной сепарации и его

разделение, по меньшей мере, на поток продукта и поток побочных продуктов;

охлаждение секции низкотемпературной сепарации с использованием, по меньшей мере, части третьего потока хладагента из ВРУ.

Поток продукта может представлять собой обогащенный  $H_2$  поток или синтез-газ, обедненный  $CO_2$ , в зависимости от типа секции низкотемпературной сепарации. Приведенная выше подробная информация по установке, в равной степени относится к способу по изобретению, *с соответствующими изменениями*. В частности, поток, обогащенный  $CO_2$ , может быть представлен в жидкой форме на выходе секции криогенной сепарации  $CO_2$ . Это позволяет уменьшить или избежать последующих этапов сжатия.

Кроме того, способ предусматривает следующие варианты осуществления:

- секция низкотемпературной сепарации содержит блок охлаждения  $CO$ , отличающийся тем, что поток побочных продуктов представляет собой поток, обогащенный  $CO$ , поток продукта представляет собой поток, обогащенный  $H_2$ , а блок охлаждения  $CO$  охлаждается, по меньшей мере, частью третьего потока хладагента из ВРУ;
- секция низкотемпературной сепарации содержит секцию криогенной сепарации  $CO_2$ , причем поток побочных продуктов представляет собой поток, обогащенный  $CO_2$ , поток продукта представляет собой синтез-газ, обедненный  $CO_2$ , а секция криогенной сепарации  $CO_2$  охлаждается, по меньшей мере, частью третьего потока хладагента из ВРУ;
- секция низкотемпературной сепарации содержит секцию криогенной сепарации  $CO_2$  и блок охлаждения  $CO$ , причем секция криогенной сепарации  $CO_2$  принимает, по меньшей мере, часть указанного осушенного первого потока синтез-газа и обеспечивает поток, обогащенный  $CO_2$ , и синтез-газ, обедненный  $CO_2$ ; и причем блок охлаждения  $CO$  принимает, по меньшей мере, часть обедненного  $CO_2$  синтез-газа из секции криогенной сепарации  $CO_2$  и разделяет его на поток, обогащенный  $CO$ , и поток, обогащенный  $H_2$ .

В частности, предусмотрены способы, в которых, по меньшей мере, часть второго потока, содержащего кислород, также подают в секцию риформинга.

Предусмотрен еще один вариант осуществления, в котором химическая установка не содержит ВРУ. В данном варианте осуществления в качестве устройства, обеспечивающего подачу хладагента вместо ВРУ, может выступать блок охлаждения СО или криогенная установка сепарации СО<sub>2</sub>. Таким образом, в данном варианте осуществления химическая установка содержит:

- секцию риформинга, а также
  - секцию удаления воды,
  - первый блок низкотемпературной сепарации,
  - второй блок низкотемпературной сепарации,
  - первую подачу атмосферного воздуха,
  - углеводородное сырье,
- причем указанный первый блок низкотемпературной сепарации выполнен с возможностью получения потока хладагента;
- причем указанная секция риформинга выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части углеводородного сырья и его преобразования в первый поток синтез-газа;
- причем указанная секция удаления воды выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части первого потока синтез-газа и обеспечения обогащенного водой потока и осушенного первого потока синтез-газа;
- причем указанный первый блок низкотемпературной сепарации выполнен с возможностью приема, по меньшей мере, части указанного первого потока осушенного синтез-газа и его разделения, по меньшей мере, на поток продукта и поток побочных продуктов;
- и причем первый блок низкотемпературной сепарации охлаждается, по меньшей мере, частью потока хладагента из второго блока низкотемпературной сепарации.

В данном конкретном варианте первая секция низкотемпературной сепарации может представлять собой криогенную установку для сепарации СО<sub>2</sub>, а вторая охлаждаемая секция сепарации может представлять собой блок охлаждения СО. В одном варианте осуществления, причем поток побочных продуктов из

установки криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  представляет собой поток, обогащенный  $\text{CO}_2$ , и поток продукта из установки криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  представляет собой синтез-газ, обедненный  $\text{CO}_2$ , и обогащенный  $\text{CO}_2$  поток побочных продуктов из установки криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  рециркулируется в секцию риформинга в качестве сырья или углеводородного сырья.

Что касается первого варианта осуществления, секция риформинга на данной установке может быть выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части второго потока, содержащего кислород и углеводородное сырье, и их преобразования в первый поток синтез-газа.

#### *Конкретные варианты осуществления*

На Фигуре 1 показана базовая компоновка химической установки 100 по изобретению. Первый поток 1 атмосферного воздуха подают в криогенную воздухоразделительную секцию (ВРУ, 10), где разделяют на второй поток 2, содержащий кислород, и третий поток хладагента 3. Углеводородное сырье 11 подают в секцию 20 риформинга, при необходимости, в присутствии второго потока 2, содержащего кислород, или внешнего потока кислорода и/или потока пара – где его преобразуют в первый поток 21 синтез-газа. В варианте осуществления, представленном на Фиг. 1, секция 20 риформинга содержит основную секцию 20а риформинга и секцию 20b конверсии.

Первый поток 21 синтез-газа подают в секцию 30 удаления воды, где обеспечиваются насыщенный водой поток 31 и осушенный первый поток 32 синтез-газа. Удаление воды на этом этапе гарантирует, что она не будет конденсироваться или вымерзнуть на последующих этапах.

Осушенный первый поток 32 синтез-газа подают в секцию 40 низкотемпературной сепарации, где его разделяют, по меньшей мере, на поток 41 продукта и поток 43 побочных продуктов. Как отмечалось ранее, секция 40 низкотемпературной сепарации охлаждается третьим потоком 3 хладагента из ВРУ 10. После охлаждения секции 40 сепарации поток хладагента может быть возвращен в ВРУ в виде потока 45.

На Фиг. 2 представлена более совершенная компоновка установки по изобретению. Компоненты данной компоновки соответствуют компонентам, представленным на Фиг. 1, плюс дополнительные элементы секции 40



низкотемпературной сепарации. На Фиг. 2 секция низкотемпературной сепарации содержит секцию 40В криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  и блок 40А охлаждения  $\text{CO}$ . Секция 40В криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  расположена по ходу процесса перед блоком 40А охлаждения  $\text{CO}$ . Поэтому осушенный первый поток 32 синтез-газа сначала подают в секцию 40В криогенной сепарации  $\text{CO}_2$ , где обеспечивают поток 43В, обогащенный  $\text{CO}_2$ , и синтез-газ 41В, обедненный  $\text{CO}_2$ . Синтез-газ 41В, обедненный  $\text{CO}_2$ , из секции 40В криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  подают в блок 40А охлаждения  $\text{CO}$ , где разделяют на поток 43А, обогащенный  $\text{CO}$ , и поток 41А, обогащенный  $\text{H}_2$ .

В рамках компоновки, показанной на Фиг. 2, третий поток 3 хладагента из ВРУ 10 сначала охлаждает блок 40А охлаждения  $\text{CO}$ , а затем секцию 40В криогенной сепарации  $\text{CO}_2$ . Что касается компоновки, представленной на Фиг. 1, поток хладагента может быть возвращен в ВРУ как поток 45 после охлаждения блока 40А охлаждения  $\text{CO}$ .

Фигура 3 представляет собой развитие варианта осуществления, представленного на Фигуре 2. Компоненты данной компоновки соответствуют компонентам, представленным на Фигуре 2, плюс установка 70 промывки азотом и контур 80 аммиака. Обедненный  $\text{CO}_2$  синтез-газ 41В из компоновки, представленной на Фигуре 2, подают на установку 70 промывки азотом, в которой получают поток 71, обогащенный азотом, и поток 72, обедненный азотом. Обогащенный азотом поток 71 из установки 70 промывки азотом подают в контур 80 аммиака, где образуется поток 81 аммиачного продукта.

Как показано на Фигуре 3, третий поток 3 хладагента может подаваться в любой или все из блока 40А охлаждения  $\text{CO}$ , установки 70 промывки азотом и контура 80 аммиака. Предпочтительно, третий поток 3 хладагента подают в установку 70 промывки азотом, где он может выступать как в качестве охлаждающей жидкости, так и в качестве источника азота.

Настоящее изобретение описано со ссылками на ряд вариантов осуществления и Фигур. При этом специалист в данной области техники может выбирать и комбинировать различные варианты осуществления в рамках предмета изобретения, который определяется прилагаемой формулой изобретения. Все указанные в настоящей заявке документы включены в нее посредством ссылки.

## Формула изобретения

1. Химическая установка (100), содержащая:
  - криогенную воздухоразделительную секцию (ВРУ, 10),
  - секцию (20) риформинга, и
  - секцию (30) удаления воды,
  - секцию (40) низкотемпературной сепарации,
  - первую подачу (1) атмосферного воздуха,
  - углеводородное сырье (11),причем указанная ВРУ (10) выполнена с возможностью приема указанного первого потока (1) атмосферного воздуха и получения второго потока (2), содержащего кислород, а также третьего потока (3) хладагента;  
причем указанная секция (20) риформинга выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части указанного углеводородного сырья (11) и его преобразования в первый поток (21) синтез-газа;  
причем указанная секция (30) удаления воды выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части первого потока (21) синтез-газа и обеспечения обогащенного водой потока (31) и осушенного первого потока (32) синтез-газа;  
причем указанная секция (40) низкотемпературной сепарации выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части указанного осушенного первого потока (32) синтез-газа и его разделения, по меньшей мере, на поток (41) продукта и поток (43) побочных продуктов;  
и причем секция (40) низкотемпературной сепарации охлаждается, по меньшей мере, частью третьего потока (3) хладагента из ВРУ (10).

2. Установка по п. 1, **отличающаяся тем**, что указанная секция (20) риформинга выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части второго потока (2), содержащего кислород и указанное углеводородное сырье (11), и их преобразования в первый поток (21) синтез-газа.

3. Установка по любому из предшествующих пунктов, **отличающаяся тем**, что секция (40) низкотемпературной сепарации содержит блок (40А) охлаждения СО и/или секцию (40В) криогенной сепарации СО<sub>2</sub>.

4. Установка по любому из предшествующих пунктов, **отличающаяся тем**, что секция (40) низкотемпературной сепарации содержит блок (40А) охлаждения СО, и причем поток (43) побочных продуктов представляет собой поток (43А), обогащенный СО, поток (41) продукта представляет собой поток (41А), обогащенный Н<sub>2</sub>, и причем блок (40А) охлаждения СО выполнен с возможностью охлаждения, по меньшей мере, частью третьего потока (3) хладагента из ВРУ (10).

5. Установка по любому из предшествующих пунктов, **отличающаяся тем**, что секция (40) низкотемпературной сепарации содержит секцию (40В) криогенной сепарации СО<sub>2</sub>, и причем поток (43) побочных продуктов представляет собой поток (43В), обогащенный СО<sub>2</sub>, поток (41) продукта представляет собой синтез-газ (41В), обедненный СО<sub>2</sub>, и причем секция (40В) криогенной сепарации СО<sub>2</sub> выполнена с возможностью охлаждения, по меньшей мере, частью третьего потока (3) хладагента из ВРУ (10).

6. Установка по п. 5, **отличающаяся тем**, что установка выполнена с возможностью рециркуляции потока побочных продуктов, насыщенных СО<sub>2</sub>, из секции криогенной сепарации СО<sub>2</sub> в секцию риформинга в качестве сырья или в углеводородное сырье.

7. Установка по любому из предшествующих пунктов, **отличающаяся тем**, что секция низкотемпературной сепарации СО<sub>2</sub> содержит секцию (40В) криогенной сепарации СО<sub>2</sub> и блок (40А) охлаждения СО, причем секция (40В) криогенной сепарации СО<sub>2</sub> выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части указанного высушенного первого потока (32) синтез-газа и обеспечения потока (43В), обогащенного СО<sub>2</sub>, и синтез-газа (41В), обедненного СО<sub>2</sub>; и причем блок (40А) охлаждения СО выполнен с возможностью приема, по меньшей мере, части синтез-газа (41В), обедненного СО<sub>2</sub>, из секции (40В) криогенной сепарации СО<sub>2</sub> и его разделения на поток (43А), обогащенный СО, и поток (41А), обогащенный Н<sub>2</sub>.

8. Установка по п. 7, **отличающаяся тем**, что, по меньшей мере, часть третьего потока (3) хладагента из ВРУ (10) выполнена с возможностью охлаждения сначала блока (40А) охлаждения CO, а затем охлаждения секции (40В) криогенной сепарации CO<sub>2</sub>.

9. Установка по любому из предшествующих пунктов, **отличающаяся тем**, что третий поток хладагента представляет собой поток азота.

10. Установка по любому из предшествующих пунктов, **отличающаяся тем**, что секция (20) риформинга содержит одну или более установок (20а) первичного риформинга, выбранных из реактора парового риформинга метана (РПРМ), установки парового риформинга метана с электрическим подогревом (ЭПРМ) и реактора автотермического риформинга (АТР).

11. Установка по любому из предшествующих пунктов, **отличающаяся тем**, что секция (20) риформинга содержит установку (20а) первичного риформинга и блок (20b) конверсии, расположенный по ходу процесса после установки (20а) первичного риформинга.

12. Установка по одному из пп. 5, 9 - 11, **отличающаяся тем**, что секция (40) низкотемпературной сепарации содержит секцию (40В) криогенной сепарации CO<sub>2</sub>, причем установка дополнительно содержит установку (70) промывки азотом, выполненную с возможностью приема синтез-газа (41В), обедненного CO<sub>2</sub>, и обеспечения обогащенного азотом потока (71), при этом установка дополнительно содержит контур (80) аммиака, выполненный с возможностью приема обогащенного азотом потока (71) из указанной установки (70) промывки азотом и обеспечения потока (81) продукта аммиака.

13. Установка по п. 12, **отличающаяся тем**, что, по меньшей мере, часть третьего потока (3) хладагента подают в установку (70) промывки азотом.

14. Установка по любому из пп. 12 - 13, **отличающаяся тем**, что указанный контур (80) аммиака содержит секцию (80А) сепарации аммиака, и причем, по меньшей мере, часть третьего потока (3) хладагента предназначена для охлаждения указанной секции (80А) сепарации аммиака.

15. Способ получения потока (41) продукта на химической установке (100) по любому из предшествующих пунктов, включающий:

- предоставление химической установки (100) по любому из предшествующих пунктов;
- подачу первого потока (1) атмосферного воздуха в ВРУ (10) и получение второго потока (2), содержащего кислород, а также третьего потока (3) хладагента;
- подачу, по меньшей мере, части углеводородного сырья (11) в секцию (20) риформинга и его преобразование в первый поток (21) синтез-газа;
- подачу, по меньшей мере, части первого потока (21) синтез-газа в секцию (30) удаления воды и предоставление обогащенного водой потока (31) и осушенного первого потока (32) синтез-газа;
- подачу, по меньшей мере, части указанного осушенного первого потока (32) синтез-газа в секцию (40) низкотемпературной сепарации и его разделение, по меньшей мере, на поток (41) продукта и поток (43) побочных продуктов; охлаждение секции (30) низкотемпературной сепарации, по меньшей мере, частью третьего потока (3), содержащего хладагент из ВРУ (10).

16. Способ по п. 15, **отличающийся тем**, что, по меньшей мере, часть второго потока (2), содержащего кислород, подают в секцию (20) риформинга.

17. Способ по любому из пп. 15 - 16, **отличающаяся тем**, что поток (43В), насыщенный  $\text{CO}_2$ , находится в жидкой форме на выходе из секции (40В) криогенной сепарации  $\text{CO}_2$ .

18. Химическая установка (100), содержащая:

- секцию (20) риформинга, и
- секцию (30) удаления воды,
- первый блок (40) низкотемпературной сепарации,
- второй блок низкотемпературной сепарации,
- первую подачу (1) атмосферного воздуха,
- углеводородное сырье (11),  
причем указанный первый блок низкотемпературной сепарации выполнен с возможностью получения потока (3) хладагента;

причем указанная секция (20) риформинга выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части углеводородного сырья (11) и его преобразования в первый поток (21) синтез-газа;

причем указанная секция (30) удаления воды выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части первого потока (21) синтез-газа и обеспечения обогащенного водой потока (31) и осушенного первого потока (32) синтез-газа;

причем указанный первый блок низкотемпературной сепарации выполнен с возможностью приема, по меньшей мере, части указанного осушенного первого потока (32) синтез-газа и его разделения, по меньшей мере, на поток (41) продукта и поток (43) побочных продуктов;

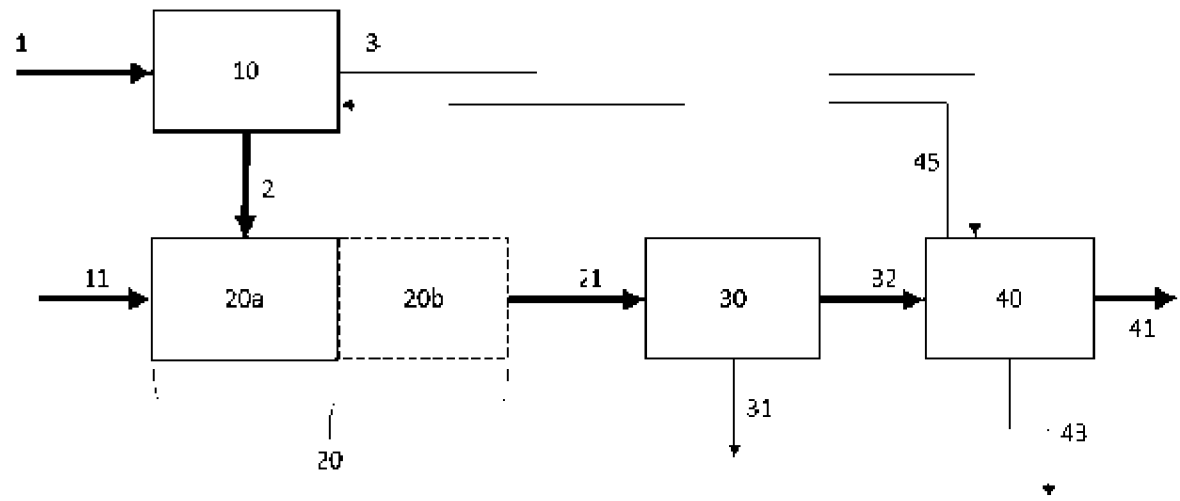
и причем первый блок (40) низкотемпературной сепарации охлаждается, по меньшей мере, частью потока (3) хладагента из второго блока низкотемпературной сепарации.

19. Установка по п. 18, **отличающаяся тем**, что указанная секция (20) риформинга выполнена с возможностью приема, по меньшей мере, части второго потока (2), содержащего кислород и указанное углеводородное сырье (11), и их преобразования в первый поток (21) синтез-газа.

20. Химическая установка по любому из пп. 18 - 19, **отличающаяся тем**, что первая секция низкотемпературной сепарации представляет собой блок криогенной сепарации  $\text{CO}_2$ , и причем вторая секция низкотемпературной сепарации представляет собой блок охлаждения  $\text{CO}$ .

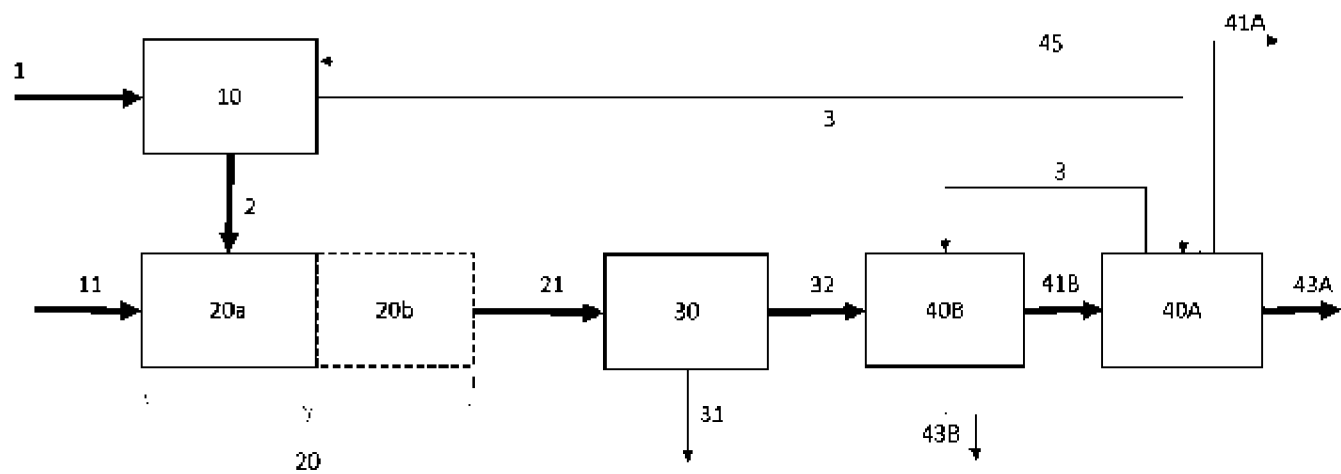
21. Химическая установка по п. 20, **отличающаяся тем**, что поток (43) побочных продуктов из блока криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  представляет собой поток (43В), обогащенный  $\text{CO}_2$ , а поток (41) продукта из блока криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  представляет собой поток (41В) синтез-газа, обедненного  $\text{CO}_2$ , и причем поток побочных продуктов, обогащенный  $\text{CO}_2$ , из блока криогенной сепарации  $\text{CO}_2$  рециркулируется в секцию (20) риформинга в качестве сырья или в углеводородное сырье (11).

100



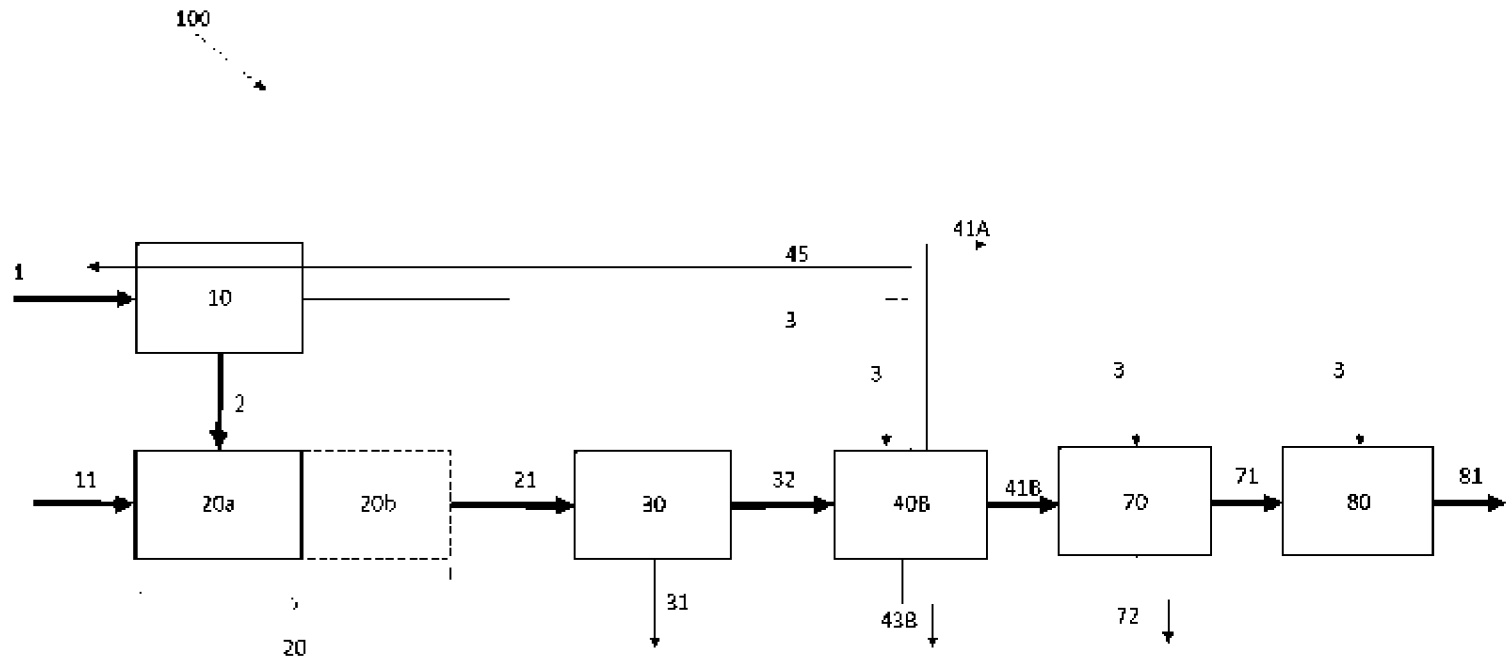
Фиг. 1

100



Фиг. 2





Фиг. 3