

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 034087

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.12.25

(21) Номер заявки
201890309

(22) Дата подачи заявки
2016.06.14

(51) Int. Cl. *F25J 3/08* (2006.01)
F25J 1/00 (2006.01)
F25J 1/02 (2006.01)
F25J 3/02 (2006.01)

(54) СИСТЕМА И СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА С
УДАЛЕНИЕМ ПАРНИКОВОГО ГАЗА

(31) 62/192,654

(32) 2015.07.15

(33) US

(43) 2018.05.31

(86) PCT/US2016/037375

(87) WO 2017/011123 2017.01.19

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭКСОНМОБИЛ АПСТРИМ РИСЕРЧ
КОМПАНИ (US)

(72) Изобретатель:
Хантингтон Ричард Э., Гупт Параг
А., Пьер Фритц, мл., Дентон Роберт Д.
(US)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) US-A1-2011036121
US-A1-2010251763
US-A-4415345
US-A-3370435
US-A-5638698
FR-A1-2756368

(57) Описаны системы и способы производства сжиженного природного газа с использованием сжиженного азота в качестве хладагента. Являющиеся загрязняющими примесями парниковые газы удаляют из сжиженного азота с использованием блока удаления парникового газа.

034087 B1

034087 B1

034087

B1

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Заявка испрашивает приоритет Заявки на патент США номер 62/192654, поданной 15 июля 2015 г. и озаглавленной "СИСТЕМА И СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА С УДАЛЕНИЕМ ПАРНИКОВОГО ГАЗА", во всей ее полноте включаемой в настоящий документ путем ссылки.

Данная заявка является родственной по отношению к Предварительной заявке на патент США номер 62/192657, озаглавленной "ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СПГ ПУТЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОСТУПАЮЩЕГО ПОТОКА ПРИРОДНОГО ГАЗА", тех же авторов, принадлежащей тому же патентообладателю, поданной в тот же день, описание которой включается в настоящий документ во всей полноте путем ссылки.

Область техники

Настоящее изобретение относится к сжижению природного газа с получением сжиженного природного газа (СПГ), более конкретно, к производству СПГ в удаленных или уязвимых районах, где создание и/или обслуживание капитальных объектов и/или экологическое воздействие обычного завода СПГ может причинять ущерб.

Уровень техники

Производство СПГ является быстро развивающимся способом доставки природного газа из районов, богатых природным газом, в отдаленные районы, испытывающие острую потребность в природном газе. Обычный цикл СПГ включает: а) начальную обработку исходного природного газа с целью удаления загрязняющих примесей, таких как воды, соединения серы и диоксид углерода; b) отделение некоторых более тяжелых газообразных углеводородов, таких как пропан, бутан, пентан и т.д. множеством возможных способов, включающих самоохлаждение, внешнее охлаждение, использование поглотительного масла и т.д.; c) охлаждение природного газа, по существу, посредством внешнего охлаждения с целью получения СПГ с давлением около атмосферного и температурой около -160°C ; d) транспортировка продукта - СПГ - танкерами, предназначенными для этой цели, в место сбыта; e) восстановление давления и регазификация СПГ с получением природного газа под давлением, который может быть подан потребителям природного газа. На стадии (c) традиционного цикла СПГ обычно необходимо использовать крупногабаритные холодильные компрессоры, часто приводимые в действие крупногабаритными газотурбинными приводами, работа которых сопряжена с существенными выбросами углерода и другими выбросами. Отчасти, завод СПГ - это крупные капиталовложения, измеряемые миллиардами долларов США, и обширная инфраструктура. Стадия (e) традиционного цикла СПГ обычно включает восстановление давления СПГ до требуемого с использованием криогенных насосов и последующую регазификацию СПГ с получением природного газа под давлением путем теплообмена через промежуточную среду, но, в конечном итоге, с морской водой или путем сжигания части природного газа для нагревания и испарения СПГ. Вообще, наличная энергия криогенного СПГ не используется.

Для сжижения природного газа может быть использован холодный хладагент, производимый в другом месте, такой как сжиженный азот (жидкий азот - ЖА). Процесс, известный как концепция СПГ-ЖА, представляет собой отличный от обычного цикл СПГ, в котором, по меньшей мере, стадия (c), описанная выше, заменена процессом сжижения природного газа, в котором жидкий азот (ЖА) используется, по существу, в качестве источника холодоснабжения незамкнутого цикла, и в котором стадия (e), описанная выше, модифицирована и предусматривает использование эксергии криогенного СПГ для облегчения сжижения газообразного азота с целью получения ЖА, который затем может быть перевезен в богатый ресурсами район и использован в качестве источника холодоснабжения для производства СПГ. В патенте США № 3400547 описана морская перевозка жидкого азота и жидкого воздуха из места сбыта туда, где они могут быть использованы для сжижения природного газа. В патенте США № 3878689 описан способ использования ЖА в качестве источника холодоснабжения для производства СПГ. В патенте США № 5139547 описано использование СПГ в качестве источника холодоснабжения для производства ЖА.

Концепция СПГ-ЖА включает перевозку СПГ танкерами из богатого ресурсами района к месту сбыта и обратную перевозку ЖА из места сбыта в богатый ресурсами район. Ожидается, что использование того же судна или танкера и, возможно, использование общих береговых хранилищ сведет к минимуму затраты и необходимый объем инфраструктуры. В результате, можно ожидать некоторого загрязнения СПГ жидким азотом и некоторое загрязнение жидкого азота СПГ. Загрязнение СПГ жидким азотом, вероятно, не представляет значительных беспокойств, поскольку требования (например, как распространяемые Федеральной комиссией по регулированию в области энергетики США) по трубопроводной транспортировке природного газа и передаче иными распределительными устройствами допускают присутствие некоторого количества инертного газа. Однако, поскольку ЖА в богатом ресурсами районе, в конце концов, будет выпущен в атмосферу, загрязнение жидкого азота СПГ (парниковым газом с вредным воздействием, в 20 раз более сильным, чем у диоксида углерода), необходимо уменьшить до уровней, приемлемых для такого выброса. Способы удаления остаточных количеств из танкеров хорошо известны, но они могут оказаться неприемлемыми с экономической или экологической точки зрения для достижения такого низкого уровня загрязнения, который позволяет исключить обработку ЖА или испарившегося азота в богатом ресурсами районе перед выпуском газообразного азота (ГА) в атмосферу.

В Публикации заявки на патент США № 2010/0251763 описан вариант процесса сжижения природного газа с использованием и ЖА, и сжиженного диоксида углерода (CO_2) в качестве хладагентов. Хотя и CO_2 является парниковым газом, менее вероятно, что для сжиженного CO_2 будут использоваться те же складские мощности и транспортные средства, что и СПГ или других парниковых газов, поэтому загрязнение маловероятно. Однако, ЖА может быть загрязнен, как описано выше, и должен подвергаться очистке перед выбросом образующийся потоков ГА. Кроме этого, системы сжижения природного газа может быть дополнена замкнутым холодильным циклом предварительного охлаждения пропаном, смешанным компонентом или другим хладагентом помимо проточного охлаждения испаряющимся ЖА. В этих случаях также может понадобиться очистка газообразного азота перед выпуском ГА в атмосферу. Таким образом, необходим способ использования ЖА в качестве хладагента для производства СПГ, позволяющий, если ЖА и СПГ хранятся в одних и тех же резервуарах, эффективным образом удалять парниковый газ, присутствующий в ЖА.

Сущность изобретения

Изобретением обеспечивается система производства сжиженного природного газа с использованием жидкого азота в качестве первичного хладагента. Поток природного газа подают из источника природного газа, поток сжиженного азота подают из источника сжиженного азота. По меньшей мере в одном теплообменнике происходит теплообмен между потоком сжиженного азота и потоком природного газа, в ходе которого поток сжиженного азота, по меньшей мере частично, испаряется, и поток природного газа, по меньшей мере частично, конденсируется. В устройстве удаления парникового газа происходит удаление парникового газа из потока по меньшей мере частично, испаренного азота.

Изобретением также обеспечивается способ производства сжиженного природного газа (СПГ) с использованием жидкого азота в качестве первичного хладагента. Поток природного газа подают из источника природного газа. Поток сжиженного азота подают из источника сжиженного азота. Поток природного газа и поток сжиженного азота пропускают через первый теплообменник, в котором происходит теплообмен между потоком сжиженного азота и потоком природного газа, в ходе которого поток сжиженного азота, по меньшей мере частично, испаряется, и поток природного газа, по меньшей мере частично, конденсируется. Парниковый газ удаляют из потока, по меньшей мере частично, испаренного азота при помощи блока удаления парникового газа.

Кроме этого, изобретением обеспечивается способ удаления парниковых газов, являющихся загрязняющими примесями в потоке жидкого азота, использованного для сжижения потока природного газа. Поток природного газа и поток сжиженного азота пропускают через первый теплообменник, в котором происходит теплообмен между потоком сжиженного азота и потоком природного газа, в ходе которого поток сжиженного азота, по меньшей мере частично, испаряется, и поток природного газа, по меньшей мере частично, конденсируется. Поток сжиженного азота пропускают через первый теплообменник, по меньшей мере, три раза. Давление по меньшей мере частично испарившегося потока азота уменьшают при помощи, по меньшей мере одного расширяющего средства. Предусматривается наличие блока удаления парникового газа, которое включает ректификационную колонну и систему теплового насоса - конденсатора и ребойлера. Давление и температуру конденсации головного потока ректификационной колонны увеличивают. Головной поток ректификационной колонны направляют на перекрестный теплообмен с кубовым потоком ректификационной колонны с целью воздействия и на нагрузку головного конденсатора, и на нагрузку кубового ребойлера ректификационной колонны. Давление головного потока ректификационной колонны после стадии перекрестного теплообмена снижают с получением головного потока ректификационной колонны со сниженным давлением. Головной поток ректификационной колонны со сниженным давлением разделяют с получением головного потока первого сепаратора. Головной поток первого сепаратора представляет собой газообразный азот, который выходит из блока удаления парникового газа после удаления из него парниковых газов. Головной поток первого сепаратора выпускают в атмосферу.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет собой схему системы сжижения природного газа с получением СПГ с использованием жидкого азота в качестве единственного хладагента;

фиг. 2 представляет собой схему системы сжижения природного газа с получением СПГ с использованием жидкого азота в качестве единственного хладагента;

фиг. 3 представляет собой схему системы сжижения природного газа с получением СПГ с использованием жидкого азота в качестве единственного хладагента;

фиг. 4 представляет собой схему системы сжижения природного газа с получением СПГ с использованием жидкого азота в качестве единственного хладагента;

фиг. 5 представляет собой схему системы сжижения природного газа с получением СПГ с использованием жидкого азота в качестве единственного хладагента;

фиг. 6 представляет собой схему системы сжижения природного газа с получением СПГ с использованием жидкого азота в качестве единственного хладагента;

фиг. 7 представляет собой схему системы сжижения природного газа с получением СПГ с использованием жидкого азота в качестве единственного хладагента;

фиг. 8 представляет собой схему системы сжижения природного газа с получением СПГ с использованием жидкого азота в качестве единственного хладагента;

фиг. 9 представляет собой схему дополнительной системы охлаждения;

фиг. 10 представляет собой технологическую схему способа сжижения природного газа с получением СПГ; и

фиг. 11 представляет собой технологическую схему способа удаления загрязняющих примесей - парниковых газов - из потока жидкого азота, использованного для сжижения потока природного газа.

Подробное описание

Далее описаны различные конкретные варианты осуществления и версии настоящего изобретения, включая предпочтительные варианты осуществления и определения, принятые в настоящем документе. Хотя в нижеследующем подробном описании представлены конкретные предпочтительные варианты осуществления изобретения, специалистам в данной области понятно, что эти варианты осуществления являются лишь примерами, и настоящее изобретение может быть реализовано на практике другими путями. Любая ссылка на "изобретение" может относиться к одному или нескольким, но необязательно ко всем вариантам осуществления изобретения, определенным в формуле изобретения. Заголовки используются для удобства и не ограничивают объем настоящего изобретения. Для ясности и краткости одинаковыми номерами позиций на нескольких чертежах обозначены подобные компоненты, стадии или структуры, которые могут не описываться подробно для каждого чертежа.

Все числовые величины в подробном описании и формуле изобретения модифицированы термином "приблизительно" или "около" указанной величины и учитывают ошибку измерения и вариации, ожидаемые специалистами в данной области.

В настоящем контексте термин "компрессор" означает механизм, увеличивающий давление газа путем совершения работы. "Компрессор" или "холодильный компрессор" включает любую установку, устройство или аппарат, способные увеличивать давление потока газа. К ним относятся как компрессоры с одной ступенью сжатия, так и многоступенчатые компрессоры или, более конкретно, многоступенчатые компрессоры с единым корпусом или оболочкой. Испаренные потоки, подлежащие сжатию, могут быть поданы в компрессор при различных давлениях. Некоторые стадии или ступени процесса охлаждения могут включать два или более компрессоров, установленных параллельно, последовательно или в сочетании этих вариантов. Настоящее изобретение не ограничивается типом или размещением или компоновкой компрессора или компрессоров, в частности, в любом контуре хладагента.

В настоящем контексте "охлаждение" в широком смысле означает снижение и/или падение температуры и/или внутренней энергии вещества на любую надлежащую, желательную или требуемую величину. Охлаждение может включать падение температуры, по меньшей мере, примерно на 1°C, по меньшей мере, примерно на 5°C, по меньшей мере, примерно на 10°C, по меньшей мере, примерно на 15°C, по меньшей мере, примерно на 25°C, по меньшей мере, примерно на 35°C, по меньшей мере, примерно на 50°C или, по меньшей мере, примерно на 75°C или, по меньшей мере, примерно на 85°C или, по меньшей мере, примерно на 95°C или, по меньшей мере, примерно на 100°C. При охлаждении может использоваться любой надлежащий теплопоглотитель, такой как образование пара, нагревание воды, охлаждающая вода, воздух, хладагент, другие технологические потоки (интеграция) и их сочетание. Один или несколько источников охлаждения может быть объединено и/или соединено последовательно с целью достижения заданной температуры на выходе. На стадии охлаждения может использоваться холодильная установка, включающая любое надлежащее устройство и/или оборудование. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления изобретения, охлаждение может включать косвенный теплообмен, например, с использованием одного или нескольких теплообменников. В качестве альтернативы, охлаждение может быть осуществлено как испарительное охлаждение (теплота парообразования) и/или прямой теплообмен, например, путем распыления жидкости непосредственно в технологическом потоке.

В настоящем контексте термин "расширяющее устройство" относится к одному или нескольким устройствам, пригодным для уменьшения давления текучей среды в линии (например, жидкого потока, парообразного потока или многофазного потока, содержащего и жидкость, и пар). Если конкретный тип расширяющего устройства не указан специально, расширяющее устройство может представлять собой (1) по меньшей мере частично, изоэнтальпическое средство или (2) по меньшей мере частично, изоэнтропическое средство или (3) сочетание изоэнтальпического средства и изоэнтропического средства. Пригодные устройства для изоэнтальпического расширения природного газа известны в данной области и, вообще, включают, однако, этим не ограничиваются, приводимые в действия вручную или автоматически дроссельные устройства, такие как, например, клапаны, регулировочные клапаны, клапаны Джоуля-Томсона (J-T) или устройства Вентури. Устройства, пригодные для изоэнтропического расширения природного газа, известны в данной области и, вообще, включают такое оборудование, как расширители или турбо-расширители, которые при таком расширении совершают работу. Устройства, пригодные для изоэнтропического расширения жидких потоков, известны в данной области и, вообще, включают такое оборудование, как расширители, гидравлические расширители, гидравлические турбины или турбо-расширители, которые при таком расширении совершают работу. Примером сочетания изоэнтропического средства и изоэнтальпического средства могут служить установленные параллельно клапан Джоуля-

Томсона и турбо-расширитель, что обеспечивает возможность использования либо любого из них, либо и клапана Джоуля-Томсона, и турбо-расширителя одновременно. Изоэнтальпическое или изоэнтروпическое расширение может быть осуществлено в чисто жидкой фазе, чисто паровой фазе или смешанной фазе и может проводиться для облегчения фазового перехода из парообразного потока или жидкого потока в многофазный поток (поток, включающий и паровую, и жидкую фазы) или в однофазный поток, отличный от исходной фазы. В приводимом далее описании чертежей ссылка на более, чем одно, расширяющее устройство на любом из чертежей не обязательно означает, что каждое расширяющее устройство относится к одному и тому же типу или имеет тот же размер.

Термины "газ" и "пар" являются взаимозаменяемыми и означают вещество или смесь веществ в газообразном состоянии, в отличие от жидкого или твердого состояния. Точно так же, термин "жидкость" означает вещество или смесь веществ в жидком состоянии, в отличие от газообразного или твердого состояния.

Термин "теплообменник" в широком смысле означает любое устройство, пригодное для передачи тепловой энергии или холода от одной среды к другой среде, например, между по меньшей мере двумя различными текучими средами. Теплообменники включают теплообменники прямого теплообмена и косвенного теплообмена. Теплообменник может иметь любую надлежащую конструкцию, например, прямоточный или противоточный теплообменник, теплообменник косвенного теплообмена (например, теплообменник со спиральными трубами или ребристый пластинчатый теплообменник, такой как паяный алюминиевый пластинчатый теплообменник), теплообменник с непосредственным контактом сред, кожухотрубный теплообменник, спиральный, U-образный, сотовый, котельно-сотовый, пластинчатый с вытравленными каналами, типа "труба в трубе" или относящийся к любому другому известному типу теплообменников. Термин "теплообменник" также может относиться к любой колонне, колонному аппарату, блоку или другому варианту расположения, предусматривающему прохождение через него одного или нескольких потоков и обеспечивающему прямой или косвенный теплообмен между одной или несколькими линиями хладагента и одним или несколькими исходными потоками.

В настоящем контексте термин "косвенный теплообмен" означает приведение двух текучих сред в соотношение теплообмена без какого-либо физического контакта между ними или смешивания текучих сред друг с другом. Примерами оборудования, предназначенного для косвенного теплообмена, являются котельно-сотовый теплообменник и паяный алюминиевый пластинчатый теплообменник.

В настоящем контексте термин "природный газ" означает многокомпонентный газ, полученный из нефтяной скважины (попутный газ) или из подземного газоносного пласта (свободный газ). Состав и давление природного газа может существенно варьироваться. Типичный поток природного газа в качестве основного компонента содержит метан (C_1). Поток природного газа также может содержать этан (C_2), углеводороды с большим молекулярным весом и один или несколько кислых газов. Природный газ также может содержать незначительные количества загрязняющих примесей, таких как вода, азот, сульфид железа, воск и сырая нефть.

Определенные варианты осуществления и особенности изобретения описаны с использованием набора числовых верхних пределов и набора числовых нижних пределов. Следует понимать, что, если не указано иное, предполагается указание диапазонов от какого-либо нижнего предела до какого-либо верхнего предела. Все числовые величины даны "приблизительно" или "около" указанной величины и учитывают ошибку измерения и вариации, ожидаемые специалистами в данной области.

Все патенты, методики испытаний и другие документы, цитируемые в данной заявке, во всей полноте включаются в нее путем ссылки при условии, что такое раскрытие данных не противоречит данной заявке и всем юрисдикциям, допускающим такое включение.

Описаны системы и способы, относящиеся к процессу сжижения природного газа с использованием прямоточного охлаждения ЖА в качестве первичного хладагента, направленные на удаление существенной части остаточного загрязнения жидкого азота СПГ перед выпуском газообразного азота в атмосферу. Конкретные варианты осуществления изобретения включают те варианты, которые описаны далее со ссылкой на фигуры. Хотя некоторые отличительные особенности описаны со специальной ссылкой только на одну фигуру (например, фиг. 1, 2 или 3), они могут быть равным образом применимы к другим фигурам, или могут быть использованы в сочетании с другими фигурами или предшествующим описанием.

На фиг. 1 показана система 10 сжижения природного газа с целью производства СПГ с использованием жидкого азота (ЖА) в качестве единственного внешнего хладагента. Систему 1 можно назвать системой производства СПГ. Поток 12 ЖА поступает из системы 14 подачи ЖА, которая может включать один или несколько танкеров, резервуаров, трубопроводов или их сочетание. Система 14 подачи ЖА может представлять собой систему попеременного хранения ЖА и СПГ. Поток 12 ЖА может быть загрязнен парниковым газом, таким как метан, этан, пропан или другие алканы или алкены. Поток 12 ЖА может быть, приблизительно, на 1 об.% загрязнен парниковым газом, хотя уровень загрязнения может изменяться в зависимости от способов, используемых для опорожнения и продувки системы подачи ЖА перед переключением между хранением ЖА и хранением СПГ. Поток 12 ЖА поступает с давлением вблизи атмосферного и температурой около -196°C , которая приблизительно равна температуре кипения

при атмосферном давлении почти чистого азота. Поток 12 ЖА подают насосом 16 ЖА, который увеличивает давление ЖА от, приблизительно, 20 бар абс. до 200 бар абс., предпочтительным давлением является, примерно, 90 бар абс. При подаче насосом температура ЖА в потоке 12 ЖА может увеличиваться, однако ожидается, что ЖА останется, по существу, в жидкой форме. Поток 18 ЖА повышенного давления затем пропускают через серию теплообменников и расширителей с целью отведения тепла от поступающего природного газа 20 для конденсации природного газа и получения СПГ. Как показано на фиг. 1, поток 18 ЖА повышенного давления проходит через первый теплообменник 22, где он охлаждает поток 24 природного газа. Затем поток 18 ЖА повышенного давления первый раз проходит через второй теплообменник 26, где он снова охлаждает поток природного газа.

После того, как ЖА проходит через первый теплообменник 22 и второй теплообменник 26, ожидается, что ЖА и любые представляющие собой парниковые газы примеси полностью испаряются, образуя поток 27 загрязненного газообразного азота (ЗГА). Если газообразный азот подвергают обработке, описанной далее, он может не быть полностью газообразным, хотя описывается как газообразный азот или ЗГА. Для простоты любая смесь газообразного и частично конденсированного азота все же именуется ЗГА или газообразным азотом.

Поток 27 ЗГА направляют в первый расширитель 28. Поток, выходящий из первого расширителя 28, представляющий собой поток 29 расширенного ЗГА, направляют в блок 30 удаления парникового газа. Давление потока 29 расширенного ЗГА может лежать в диапазоне от 5 бар абс. до 30 бар абс. в зависимости, главным образом, от фазового состояния смеси ЗГА, которая обычно представляет собой смесь азота, метана, этана, пропана и других потенциальных парниковых газов. В одном из аспектов изобретения, давление потока 29 расширенного ЗГА составляет от 19 до 20 бар абс., а температура потока 29 расширенного ЗГА составляет около -153 градусов Цельсия. Однако, давление потока расширенного ЗГА может быть и низким, около 1 бар абс., если используются альтернативные технологии, такие как адсорбция, абсорбция или каталитические способы.

Блок 30 удаления парникового газа может требоваться для производства потока ГА с содержанием парникового газа менее 500 частей на миллион или менее 200 частей на миллион или менее 100 частей на миллион или менее 50 частей на миллион или менее 20 частей на миллион. Блок 30 удаления парникового газа может требоваться для производства продуктового потока парникового газа с содержанием азота менее 80%, или менее 50%, или менее 20%, или менее 10%, или менее 5%.

Блок 30 удаления парникового газа может включать ректификационную колонну 32 с частичным возвратом флегмы и частичным повторным кипячением. Ректификационная колонна 32 обеспечивает отделение газообразного азота от загрязняющего парникового газа на основании разности температур испарения азота и парниковых газов. В результате работы ректификационной колонны получают головной поток 34, представляющий собой поток очищенного от примесей газообразного азота, и кубовый продукт, представляющий собой продуктовый поток 36 парникового газа. Может быть предусмотрено наличие боковых ребойлеров, боковых конденсаторов и промежуточных выводов (не показаны) для отведения продуктов из других точек ректификационной колонны 32.

Блок 30 удаления парникового газа может включать головной конденсатор, соединенный с ректификационной колонной 32, охлаждение в котором обеспечивается за счет теплообмена с ЖА, ГА, ЗГА, природным газом или СПГ, поступающими из других частей системы производства СПГ или даже из дополнительной системы охлаждения. Точно так же, блок удаления парникового газа может включать кубовый ребойлер, соединенный с ректификационной колонной 32, нагревание в котором обеспечивается за счет теплообмена с ЖА, ГА, ЗГА, природным газом или СПГ, поступающими из других частей системы производства СПГ или из другого процесса, внешнего по отношению к системе производства СПГ. Недостатком этих типов компоновки является неблагоприятное влияние, преимущественно, направляемого на конденсацию и, преимущественно, направляемого на кипячение требуемого количества тепла конденсатора и ребойлера ректификационной колонны на общие кривые нагревания и охлаждения в процессе конденсации природного газа до СПГ. Результатом этого влияния могут быть ограничения по температуре в теплообменниках, которые снижают эффективность наличных ресурсов ЖА. В соответствии с изобретением, холодовая и тепловая нагрузка конденсатора и ребойлера являются взаимобалансируемыми, и охлаждение в ребойлере используется для компенсации нагревания в конденсаторе. Для этого используют систему теплового насоса- конденсатора и ребойлера, позволяющую увеличить давление головного потока 34 ректификационной колонны так, что температура сжатого головного потока выше, чем температура продуктового потока 36 парникового газа. А именно, система теплового насоса-конденсатора и ребойлера включает головной компрессор 38, в котором головной поток 34 сжимается и нагревается, теплообменник-тепловой насос 40, в котором охлаждается головной поток и нагревается продуктовый поток парникового газа, и устройство 42 понижения давления, которое снижает давление охлажденного головного потока. Устройство 42 понижения давления может представлять собой клапан Джоуля-Томсона или турбо-расширитель. В этой точке головной поток превращается в частично сконденсированный головной поток 43. Если нужно, первый сепаратор 44 может быть использован для разделения частично сконденсированного головного потока 43 с получением потока 45 головного продукта и потока 46 флегмы. Поток 45 головного продукта, будучи головным продуктом и ректификационной

колонны 32, и первого сепаратора, состоит из ГА, по существу, очищенного от парниковых газов, таких как метан, этан и т.д., и по выходе из блока 30 удаления парникового газа поступает на последующие операции по теплообмену и выпуск в атмосферу, как будет описано далее. Поскольку поток 46 флегмы может включать некоторое количество парниковых газов, поток флегмы снова направляют в ректификационную колонну 32 для дальнейшего разделения.

Другую часть системы теплового насоса-конденсатора и ребойлера может составлять кубовый насос 48, предназначенный для подачи продуктового потока 36 парникового газа в теплообменник-тепловой насос 40 при повышенном давлении. После нагревания в теплообменнике-тепловом насосе 40 продуктовый поток 36 парникового газа частично испаряется и может быть направлен во второй сепаратор 50, в котором продуктовый поток частично испарившегося парникового газа разделяется на продуктовый поток 54 отделенного парникового газа и парообразный поток 56 ребойлера колонны. Насос 58 парникового газа может быть использован для подачи продуктового потока 54 отделенного парникового газа в другую точку системы 10 при надлежащем давлении. В варианте осуществления изобретения, показанном на фиг. 1, продуктовый поток 54 отделенного парникового газа смешивают с потоком 24 природного газа после того, как поток 24 природного газа прошел через второй теплообменник 26, и включают в поток СПГ - продукта системы 10. Поток 56 ребойлера колонны, который может содержать часть ГА, возвращают в ректификационную колонну 32 для дальнейшего разделения.

Поток 45 головного продукта, который представляет собой, по существу, очищенный ГА, выходит из блока 30 удаления парникового газа и проходит несколько раз через второй теплообменник 26 и второй и третий расширители 60, 62 с целью дальнейшего охлаждения потока 24 природного газа. На фиг. 3 показано три расширителя, выполняющих функцию расширителя высокого давления (28), расширителя среднего давления (60) и расширителя низкого давления (62), в каждом из которых давление потока азота, проходящего через них, соответственно, уменьшается. В одном из вариантов осуществления изобретения первый, второй и третий расширители 28, 60, 62 являются турбо-расширителями. Расширители могут представлять собой радиальную центробежную турбину, парциальную аксиальную турбину, аксиальную турбину с полным подводом, поршневой двигатель, винтовую турбину или подобные им расширительные устройства. Расширители могут представлять собой отдельные устройства или быть объединенными в один или несколько агрегатов с общим выходом. Расширители могут приводить в действие генераторы, компрессоры, насосы, гидравлические тормоза или любые подобные энергоемкие устройства и, тем самым, отводить энергию от системы 10. Расширители могут использоваться для непосредственного приведения в действие (или приведения в действие посредством коробки передач или других передающих устройств) насосов, компрессоров и других механизмов, используемых в системе 10. В одном из вариантов осуществления изобретения, каждый расширитель представляет собой расширяющее средство, которой может осуществлять расширение при помощи одного или нескольких отдельных расширителей, работающих параллельно или последовательно или в режиме, объединяющем параллельную и последовательную работу. Для рентабельной работы системы 10 нужен, по меньшей мере, один расширитель или соответствующее расширяющее средство; вообще, предпочтительно наличие, по меньшей мере, двух расширяющих средств. В данной системе также может быть использовано более трех расширяющих средств для повышения эффективности охлаждения наличными ресурсами ЖА.

После прохождения через третий расширитель 62 и второй теплообменник 26 в последний раз, поток 45 головного продукта проходит через третий теплообменник 64, в котором дополнительно охлаждается поток 24 природного газа. Поток головного продукта, который ранее был назван ГА, выпускают в атмосферу через выпуск 66 ГА или распоряжаются иным образом. Если ГА выпускают в атмосферу, факел ГА должен обладать достаточной подъемной силой для широкого распространения и разбавления в атмосфере до того, как какая-либо значительная часть факела опустится к земле, что может потенциально вызвать опасный дефицит кислорода. Поскольку вероятно, что ГА обладает, по существу, нулевой относительной влажностью, а его удельный вес лишь немного меньше, чем у окружающего воздуха, вариантами осуществления изобретения должна быть обеспечена такая температура выпускаемого ГА, которая больше местной температуры окружающей среды, что повышает подъемную силу и улучшает рассеивание факела ГА. Специалистам в области вентиляции и вентиляционных труб известны альтернативные повышению температуры варианты рассеивания факела, включая изменение высоты трубы и обеспечение более высокой скорости на выходе из трубы, что может быть достигнуто, например, путем использования элемента Вентури в конструкции трубы.

Далее описана траектория движения природного газа через систему 10. Поступающий природный газ 20 с некоторым давлением или сжатый до нужного давления затем проходит через различные теплообменники, установленные последовательно, параллельно или способом, объединяющим последовательное и параллельное соединение, с целью его охлаждения хладагентом или хладагентами. Давление природного газа, поступающего в систему 10, обычно составляет от 20 бар абс. до 100 бар абс., при этом, верхний предел давления, вообще, ограничивается экономическими соображениями при выборе теплообменного оборудования. Учитывая совершенствование теплообменников в будущем, можно допустить давление газа на входе 200 бар абс. или более. В предпочтительном варианте осуществления изобретения давление поступающего природного газа выбирают равным, примерно, 90 бар абс. Специалистам в дан-

ной области известно, что увеличение давления поступающего природного газа, вообще, повышает эффективность теплопередачи в процессе сжижения. Как показано на фиг. 1, поступающий природный газ 20 сначала проходит через третий теплообменник 64. В третьем теплообменнике происходит предварительное охлаждение природного газа перед его поступлением во второй теплообменник 26, который является основным теплообменником системы 10. Третий теплообменник также позволяет нагревать ГА потока 45 головного продукта почти до температуры потока природного газа на входе. Если нужно, третий теплообменник 64 может быть исключен из системы 10.

После выхода из третьего теплообменника поток 24 природного газа охлаждают и конденсируют под давлением во втором теплообменнике 26, где поток природного газа охлаждается за счет нескольких проходов ГА потока 45 головного продукта. Поток 24 природного газа соединяют с продуктовым потоком 54 отделенного парникового газа, который, как описано выше, представляет собой парниковые газы, из которых, по существу, полностью удален ГА. Затем поток 24 природного газа пропускают через первый теплообменник 22, в котором для охлаждения потока 24 природного газа используется ЖА из системы 14 подачи ЖА. Если нужно, первый теплообменник 22 может быть исключен из системы 10. В этой точке природный газ потока 24 природного газа, по существу, полностью сжижен с образованием СПГ. Высокое давление конденсации СПГ снижают до давления, близкого атмосферному, при помощи устройства 68 снижения давления, которое может включать однофазную или многофазную гидравлическую турбину, клапан Джоуля-Томсона или подобное им устройство снижения давления. На фиг. 1 показано использование гидравлической турбины. Поток 70 СПГ, выходящий из устройства 68 снижения давления, затем может быть направлен на хранение в резервуарах, подан в береговые или плавучие танкеры, в надлежащий криогенный трубопровод или подобное средство транспорта с целью доставки СПГ в место сбыта.

Ректификационная колонна 32 блока 30 удаления парникового газа может допускать регулировку с целью обеспечения соответствия требованиям по содержанию парникового газа в потоке 45 головного продукта и содержанию азота в продуктивном потоке 36 парникового газа и/или продуктивном потоке 54 отделенного парникового газа. Вообще, температура и испаряемая часть потока 29 расширенного ЗГА оказывают влияние на относительную нагрузку конденсатора и ребойлера, при этом, большая испаряемая часть или более высокая температура потока 29 расширенного ЗГА ведут к увеличению нагрузки конденсатора и уменьшению нагрузки ребойлера при тех же требованиях, предъявляемых к продукту. Меньшая испаряемая часть или более низкая температура потока 29 расширенного ЗГА оказывают противоположное влияние. Кроме того, увеличение (или уменьшение) коэффициента теплопередачи в теплообменнике-тепловом насосе 40 влияет на увеличение (или уменьшение) нагрузки и конденсатора, и ребойлера, что воздействует на параметры продукта. Контроллер 72, обеспечивающий корректировку температуры и/или испаряемой части потока 29 расширенного ЗГА и коэффициента теплопередачи в теплообменнике-тепловом насосе 40, может быть использован как для уравнивания нагрузки конденсатора и ребойлера (с поправкой на энергию, добавляемую головным компрессором 38), так и регулировки параметров продукта ректификационной колонны 32. На практике такая регулировка может быть выполнена путем корректировки температуры на входе первого турбо-расширителя 28 и путем регулировки повышения давления головным компрессором 38 колонны. В качестве альтернативы, для достижения того же результата может осуществляться управление другими компонентами системы 10.

Теперь, после описания одного из вариантов осуществления изобретения, перейдем к описанию дополнительных его аспектов. На фиг. 2 показана система 200 производства СПГ, аналогичная системе 10 фиг. 1. Система 200 производства СПГ дополнительно включает компрессор 202 природного газа и охладитель 204 природного газа, которые предназначены для повышения давления и охлаждения природного газа до оптимальных давления и температуры перед поступлением в третий, второй и первый теплообменники 64, 26, 22. Компрессор 202 природного газа и охладитель 204 природного газа могут представлять собой множество индивидуальных компрессоров и охладителей или одноступенчатый компрессор и охладитель. Компрессор 202 природного газа может принадлежать к типам компрессоров, широко известным специалистам в данной области, включающим центробежные, осевые, винтовые и поршневые компрессоры. Охладитель 204 природного газа может быть выбран из охладителей, принадлежащих к известным специалистам в данной области типам, включающим воздушные ребристые, двухтрубные, кожухотрубные, пластинчатые, типа "труба в трубе" и пластинчатые с вытравленными каналами теплообменники. Давление поступающего природного газа после компрессора 202 природного газа и охладителя 204 природного газа должно соответствовать ранее указанному диапазону (например, 20-100 бар абс. и до 200 бар абс. или более по мере совершенствования конструкции теплообменников).

На фиг. 3 показана система 300 производства СПГ, аналогичная системе 200 производства СПГ. Система 300 производства СПГ дополнительно включает расширитель 302 природного газа, установленный после компрессора 202 природного газа и охладителя 204 природного газа. Расширитель 302 природного газа может относиться к любому типу расширителей, такому как турбо-расширитель или другой тип устройств снижения давления, например, клапан J-T. В системе 300 производства СПГ давление на выходе компрессора 202 природного газа может быть увеличено и выходить за пределы указанного диапазона, продиктованного экономическим обусловленным выбором теплообменного оборудования, а избы-

точное давление компенсировано при помощи расширителя 302 природного газа. Сочетание сжатия, охлаждения и расширения обеспечивает дополнительное предварительное охлаждение поступающего природного газа перед его подачей в третий теплообменник 64 или второй теплообменник 26. Например, компрессор 202 природного газа может сжимать поступающий природный газ до давления более 135 бар абс, а в расширителе природного газа давление природного газа может быть снижено до менее, чем 200 бар абс, но ни в коем случае не более, чем давление, до которого природный газ сжимается в компрессоре. В одном из вариантов осуществления изобретения поток природного газа сжимают при помощи компрессора природного газа до давления более 200 бар абс. В другом варианте осуществления изобретения в расширителе природного газа давление природного газа снижают до менее, чем 135 бар абс. Однако, из-за размещения третьего теплообменника 64 по потоку после расширителя 302 природного газа (как показано на фиг. 3) существенно уменьшается температура ГА, проходящего через третий теплообменник 64. Температура охлажденного таким образом ГА может быть намного меньше местной температуры окружающей среды, тем самым, усложняются мероприятия по безопасному и/или эффективному выбросу ГА в атмосферу.

На фиг. 4 показана система 400 производства СПГ, аналогичная системе 300 производства СПГ. В системе 400 производства СПГ третий теплообменник 64 расположен так, что поступающий природный газ 20 проходит через третий теплообменник прежде, чем через компрессор 202 природного газа. Благодаря размещению третьего теплообменника 64 так, как показано на фиг. 4, уменьшается температура природного газа, поступающего в компрессор 202 природного газа, и, таким образом, снижается давление и энергия, потребляемая компрессором 202 природного газа. Кроме того, температура выпускаемого ГА 66 возвращается к уровню, подобному варианту осуществления изобретения, показанному на фиг. 1.

На фиг. 5 показана система 500 производства СПГ, аналогичная системам 300 и 400 производства СПГ. В системе 500 производства СПГ третий теплообменник 64 расположен между компрессором 202 природного газа и охладителем 204 природного газа. При таком размещении приносится в жертву потенциальное снижение энергии, потребляемой компрессором 202 природного газа, обеспечиваемое в системе 400 производства СПГ (фиг. 4), однако достигается существенное увеличение температуры выпускаемого ГА, что значительно повышает подъемную силу и улучшает рассеяние факела ГА. При таком размещении также уменьшается тепловая нагрузка охладителя 204 природного газа, и, следовательно, уменьшается размер, капиталовложения и стоимость эксплуатации охладителя 204 природного газа и сопутствующих систем обеспечения (например, подвода охлаждающей воды, энергообеспечения и т.д.).

На фиг. 6 показана система 600 производства СПГ, аналогичная системе 400 производства СПГ. В системе 600 производства СПГ ГА потока 45 головного продукта подвергают дополнительному охлаждению в системе теплового насоса, когда поток головного продукта циркулирует через второй теплообменник 26 и второй и третий расширители 60, 62. Как показано на фиг. 6, система теплового насоса включает компрессор 602 азота, охладитель 604 азота и рекуперационный теплообменник 606, установленные по потоку до третьего расширителя 62. Добавление этого сочетания компрессора 602 азота, охладителя 604 азота и рекуперационного теплообменника 606 приводит к увеличению давления на входе третьего расширителя 62 при очень небольшом повышении температуры на входе третьего расширителя 62. Благодаря сочетанию компрессора 602 азота, охладителя 604 азота и рекуперационного теплообменника 606 повышается энергия, вырабатываемая третьим расширителем 62, и увеличивается количество тепла, отводимого от ГА в потоке 45 головного продукта, проходящего через эту часть системы 600 производства 600. Благодаря такому сочетанию ГА повторно поступает во второй теплообменник 26 при меньшей температуре, чем на фиг. 4, а также повышается эффективность использования поступающего ЖА в системе 600 производства СПГ.

На фиг. 7 показана система 700 производства СПГ, аналогичная системе 10, в которой применен альтернативный вариант использования продуктового потока 54 отделенного парникового газа. Вместо смешивания продуктового потока 54 отделенного парникового газа с потоком 24 природного газа, как показано на фиг. 1, продуктовый поток 54 отделенного парникового газа может быть использован в качестве источника топливного газа 702 после приведения к надлежащему давлению насосом 58 парникового газа и повторного испарения в одном или нескольких теплообменниках. В качестве примера на фиг. 7 показано прохождение продуктового потока 54 отделенного парникового газа через третий теплообменник 64. Также возможны другие варианты использования продуктового потока отделенного парникового газа, вообще, известные специалистам в данной области.

На фиг. 8 показана система 800 производства СПГ, аналогичная системам 10, 200, 400 и 600 производства СПГ. В системе 800 производства СПГ очень сухой ГА потока 45 головного продукта используется для дополнительного охлаждения в системе 800 производства СПГ. Психрометрическое охлаждение ГА в потоке 45 головного продукта может понизить температуру этого потока до, с точностью до нескольких градусов Цельсия, температуры замерзания воды или примерно 2-5 градусов Цельсия при добавлении (и насыщении) воды 802 к потоку 45 головного продукта после того, как поток 45 головного продукта прошел через третий теплообменник 64, как показано на фиг. 8. Теперь поток 804 влажного или насыщенного ГА с более низкой температурой может быть повторно пропущен через третий теплообменник 64 (или другой надлежащий теплообменник) с целью дополнительного предварительного охлаж-

дения поступающего потока природного газа. Специалистам в данной области понятно, что имеется много способов осуществления психрометрического охлаждения, включая распыление воды через аэрозольные или иные сопла в поток ГА или пропускание ГА и воды через тарелки, насадочный материал или другое(ие) тепло- и массообменное(ые) устройство(а) в башне, колонне или устройстве, подобном градирне. В качестве альтернативы, охлаждающая вода или другая теплопередающая текучая среда может быть дополнительно охлаждена посредством такого психрометрического охлаждения в результате пропускания очень сухого ГА через устройство, подобное градирне. Такая дополнительно охлажденная охлаждающая вода затем может быть использована для предварительного охлаждения других потоков в системе 800 производства СПГ с целью повышения эффективности использования поступающего ЖА. Наконец, в результате добавления водяного пара к очень сухому, в других случаях, газообразному азоту уменьшается удельный вес ГА и увеличивается подъемная сила и рассеивание факела ГА, если ГА выпускают в атмосферу через выпуск 806.

На каждой из прилагаемых фигур устройство 30 удаления парникового газа показано как часть системы 10, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 производства СПГ, и блок удаления парникового газа представлено как основанное на технологиях и методиках ректификации. Для удаления загрязняющего парникового газа из поступающего ЖА 14 могут быть использованы альтернативные системы и способы. Эти альтернативные способы подробно не показаны, однако, они могут включать: процессы адсорбции, включая адсорбцию со сдвигом давления, сдвигом температуры или с сочетанием сдвига давления и температуры; адсорбцию или абсорбцию в объеме, например, слоем активированного угля; или каталитические процессы.

В раскрытых вариантах осуществления изобретения теплообменники описаны как охлаждаемые только ЖА, ГА или их сочетанием, происходящими из поступающего ЖА 14. Однако возможно повышение охлаждающей способности любого из описанных теплообменников посредством использования дополнительной системы охлаждения, не соединенной жидкостной связью с линиями природного газа или азота системы 10 производства СПГ. Хладагент, используемый в дополнительной системе охлаждения, может включать надлежащий углеводородный газ (например, алкены или алканы, такие как метан, этан, этилен, пропан и т.д.), инертные газы (например, азот, гелий, аргон и т.д.) или другие хладагенты, известные специалистам в данной области. На фиг. 9 показана дополнительная система 900 охлаждения, обеспечивающая дополнительную охлаждающую способность теплообменника-теплового насоса 40 блока 30 удаления парникового газа посредством использования потока 902 аргона в качестве хладагента. Дополнительная система 900 охлаждения включает дополнительный компрессор 904, сжимающий поток 902 аргона до надлежащего давления. Поток 902 аргона затем пропускают через дополнительный теплообменник, показанный на фиг. 9 как охладитель 906. Затем поток 902 аргона проходит через дополнительное устройство 908 снижения давления, такое как клапан Джоуля-Томсона или расширитель. Затем поток 902 аргона пропускают через теплообменник-тепловой насос 40, чтобы усилить охлаждающее действие ГА в головном потоке 34 ректификационной колонны по охлаждению парниковых газов в продуктовом потоке 36 парникового газа. Затем поток 902 аргона рециркулируют через дополнительный компрессор 904, как описано ранее.

Дополнительная система охлаждения, подобная дополнительной системе 900 охлаждения, может быть использована для повышения охлаждающей способности других теплообменников, описанных в настоящем документе, таких как первый теплообменник 22, второй теплообменник 26, третий теплообменник 64 и/или рекуперационный теплообменник 606. Кроме того, хотя хладагент дополнительной системы 900 охлаждения не соединен жидкостной связью с системой 10 производства СПГ, в некоторых вариантах осуществления изобретения источником этого хладагента могут быть потоки природного газа и/или потоки азота системы производства СПГ. Кроме того, в дополнительном теплообменнике 906 может осуществляться обмен теплом (или холодом) с газообразными потоками и/или жидкими потоками системы 10 производства СПГ, такими как поток 12 ЖА, поток 24 природного газа, поток 27 ЗГА или продуктовый поток 36 парникового газа.

На фиг. 10 показан способ 1000 производства СПГ с использованием ЖА в качестве первичного хладагента в соответствии с раскрытыми аспектами изобретения. В блоке 1002 обеспечивается поступление потока природного газа. В блоке 1004 обеспечивается поступление потока сжиженного азота. В блоке 1006 поток природного газа и поток сжиженного азота пропускают через первый теплообменник, в котором происходит теплообмен между потоком сжиженного азота и потоком природного газа и, в результате, по меньшей мере частичное, испарение потока сжиженного азота и, по меньшей мере частичная, конденсация потока природного газа. Поток сжиженного азота проходит через первый теплообменник, по меньшей мере, один раз, но предпочтительно, по меньшей мере, три раза. В блоке 1008 давление потока, по меньшей мере частично, испаренного азота может быть снижено, предпочтительно, с использованием по меньшей мере одного расширяющего средства. В блоке 1010 парниковый газ удаляют из потока, по меньшей мере частично, испаренного азота с использованием блока удаления парникового газа, такого как блок 30 удаления парникового газа.

На фиг. 11 показан способ 1100 удаления являющегося загрязняющей примесью парникового газа из потока жидкого азота, используемого для сжижения потока природного газа. В блоке 1102 поток при-

родного газа и поток сжиженного азота пропускают через первый теплообменник, в котором происходит теплообмен между потоком сжиженного азота и потоком природного газа и, в результате, по меньшей мере частичное, испарение потока сжиженного азота и, по меньшей мере частичная, конденсация потока природного газа. Поток сжиженного азота проходит через первый теплообменник, по меньшей мере, один раз, предпочтительно, по меньшей мере, три раза. В блоке 1104 давление потока, по меньшей мере частично, испаренного азота может быть снижено, предпочтительно, с использованием, по меньшей мере, одного расширяющего средства. В блоке 1106 обеспечивается блок удаления парникового газа, которое включает ректификационную колонну и систему теплового насоса- конденсатора и ребойлера. В блоке 1108 давление и температуру конденсации головного потока ректификационной колонны увеличивают. В блоке 1110 головной поток ректификационной колонны и кубовый поток ректификационной колонны подвергают перекрестному теплообмену с целью воздействия на нагрузку головного конденсатора и на нагрузку кубового ребойлера ректификационной колонны. В блоке 1112, после стадии перекрестного теплообмена, давление головного потока ректификационной колонны уменьшают с целью получения головного потока ректификационной колонны сниженного давления. В блоке 1114 головной поток ректификационной колонны сниженного давления разделяют, получая головной поток первого сепаратора, состоящий из газообразного азота, который покидает блок удаления парникового газа как поток, из которого удалены парниковые газы. В блоке 1116 головной поток первого сепаратора выпускают в атмосферу.

Эти варианты осуществления и аспекты изобретения обеспечивают эффективный способ удаления являющихся загрязняющими примесями парниковых газов из потока ЖА, используемого для сжижения природного газа. Преимуществом изобретения является то, что система теплового насоса блока 30 удаления парникового газа устраняет потребность во внешних источниках нагрева и охлаждения для отделения парниковых газов от азота.

Другим преимуществом эффективного удаления парниковых газов из ЖА является то, что оборудование для хранения ЖА может рентабельно использоваться для хранения СПГ, тем самым, уменьшается площадь, занимаемая оборудованием для обработки природного газа.

Еще одним преимуществом является то, что газообразный азот может быть выпущен в атмосферу без нежелательного сопутствующего выброса парниковых газов.

Хотя примерные варианты осуществления изобретения, описанные в настоящем документе со ссылкой на фиг. 1-11, направлены на производство СПГ с использованием ЖА в качестве первичного хладагента, специалистам в данной области понятно, что эти принципы применимы к другим способам охлаждения и хладагентам. Например, раскрываемые способы и системы могут быть использованы там, где оборудование для централизованного хранения СПГ и ЖА отсутствует, и желательно просто очищать хладагент, использованный для получения СПГ и в других способах сжижения.

Варианты осуществления изобретения могут включать любое сочетание способов и систем, представленных в нижеследующих пронумерованных абзацах. Это не следует рассматривать как исчерпывающий список всех возможных вариантов осуществления изобретения, так как на основании вышеизложенного может быть создано любое количество вариантов.

1. Система производства сжиженного природного газа с использованием жидкого азота в качестве первичного хладагента, содержащая

источник природного газа;

источник сжиженного азота;

по меньшей мере один теплообменник, выполненный с возможностью обеспечения теплообмена между потоком сжиженного азота из источника сжиженного азота и потоком природного газа из источника природного газа, для по меньшей мере частичного испарения потока сжиженного азота, и по меньшей мере частичной конденсации потока природного газа;

по меньшей мере одно расширяющее средство для снижения давления по меньшей мере частично испаренного потока азота;

блок удаления парникового газа, содержащий ректификационную колонну, содержащую систему теплового насоса конденсатора и ребойлера, при этом блок удаления парникового газа выполнен с возможностью удаления парникового газа из по меньшей мере частично испаренного потока азота, причем парниковый газ содержит, по меньшей мере, один газ, выбранный из метана, этана, пропана, бутана, этена, пропена и бутена, и при этом система теплового насоса конденсатора и ребойлера содержит

компрессор, выполненный с возможностью повышения давления и температуры конденсации головного потока ректификационной колонны,

теплообменник-тепловой насос для перекрестного теплообмена между головным потоком ректификационной колонны и кубовым потоком ректификационной колонны,

устройство снижения давления, соединенное с выпуском теплообменника-теплового насоса и предназначенное для снижения давления головного потока ректификационной колонны после того, как головной поток ректификационной колонны прошел через теплообменник-тепловой насос, и

сепаратор, соединенный с выпуском устройства снижения давления и предназначенный для производства головного потока первого сепаратора, при этом, головной поток первого сепаратора представля-

ет собой газообразный азот, выходящий из блока удаления парникового газа, из которого удалены парниковые газы; и

контроллер для корректировки температуры на входе первой из, по меньшей мере, одного расширяющего средства.

2. Система по п.1, в которой поток сжиженного азота проходит через первый по меньшей мере из одного теплообменника по меньшей мере три раза.

3. Система по п.1 или 2, дополнительно содержащая по меньшей мере одно расширяющее средство для снижения давления по меньшей мере частично испаренного потока азота.

4. Система по любому из пп.1-3, в которой блок удаления парникового газа включает по меньшей мере одну ректификационную колонну, систему абсорбции, систему адсорбции и каталитическую систему.

5. Система по п.1, дополнительно включающая по меньшей мере одно расширяющее средство для снижения давления по меньшей мере частично испаренного потока азота, при этом входящий поток ректификационной колонны является выходящим потоком первого по меньшей мере из одного расширяющего средства.

6. Система по п.1, в которой контроллер дополнительно выполнен с возможностью управления компрессором для корректировки увеличения давления головного потока ректификационной колонны и, тем самым, изменения общей теплопередачи в теплообменнике-тепловом насосе.

7. Система по любому из пп.1 или 6, дополнительно включающая систему выпуска азота, обеспечивающую выпуск головного потока первого сепаратора в атмосферу.

8. Система по любому из пп.1 или 6-7, дополнительно включающая второй теплообменник, в котором происходит теплообмен между головным потоком первого сепаратора и потоком природного газа для увеличения температуры головного потока первого сепаратора, по меньшей мере, до температуры окружающей среды перед поступлением головного потока первого сепаратора в систему выпуска азота.

9. Система по любому из пп.1-8, дополнительно включающая устройство снижения давления для снижения давления по меньшей мере частично сконденсированного потока природного газа.

10. Система по п.9, в которой устройство снижения давления представляет собой одно или несколько устройств, выбранных из гидротурбины и клапана Джоуля-Томсона.

11. Система по любому из пп.1-10, дополнительно включающая насос, выполненный с возможностью нагнетания потока сжиженного азота до давления по меньшей мере 20 бар абс.

12. Система по любому из пп.1-11, в которой парниковые газы, удаленные, по меньшей мере, из частично испаренного потока азота, включают продуктовый поток парникового газа, и которая дополнительно включает насос парникового газа, выполненный с возможностью увеличения давления продуктового потока парникового газа.

13. Система по п.12, в которой продуктовый поток парникового газа соединяют с по меньшей мере частично сконденсированным потоком природного газа.

14. Система по п.12 или 13, в которой продуктовый поток парникового газа повторно испарен для образования сжатого газообразного продукта.

15. Система по любому из пп.1-14, дополнительно включающая систему теплового насоса, через которую проходит, по меньшей мере, частично испаренный поток азота после прохождения через первый по меньшей мере из одного расширяющего средства.

16. Система по любому из пп.1-15, в которой система теплового насоса включает компрессор азота, охладитель азота и рекуперационный теплообменник.

17. Система по любому из пп.1-16, дополнительно включающая психометрический теплообменник, в котором, по меньшей мере, частично испаренный поток азота используется для предварительного охлаждения потока природного газа перед подачей потока природного газа по меньшей мере в один теплообменник.

18. Система по п.17, в которой удельный вес по меньшей мере частично испаренного потока азота уменьшен по меньшей мере на 0,2% в психометрическом теплообменнике.

19. Способ производства сжиженного природного газа (СПГ) с использованием жидкого азота в качестве первичного хладагента и с использованием системы по пп.1-18, при этом включающий этапы, на которых

обеспечивают поток природного газа из источника природного газа;

обеспечивают поток сжиженного азота из источника сжиженного азота;

пропускают поток природного газа и поток сжиженного азота через первый теплообменник, в котором осуществляют теплообмен между потоком сжиженного азота и потоком природного газа для по меньшей мере частичного испарения потока сжиженного азота и по меньшей мере частичной конденсации потока природного газа;

удаляют парниковый газ по меньшей мере из частично испаренного потока азота при помощи блока удаления парникового газа, включающего ректификационную колонну и систему теплового насоса конденсатора и ребойлера;

увеличивают давление и температуру конденсации головного потока ректификационной колонны;

осуществляют перекрестный теплообмен между головным потоком ректификационной колонны и кубовым потоком ректификационной колонны;

снижают давление головного потока ректификационной колонны после перекрестного теплообмена для получения головного потока ректификационной колонны пониженного давления;

разделяют головной поток ректификационной колонны пониженного давления для получения головного потока первого сепаратора, при этом головной поток первого сепаратора представляет собой газообразный азот, выходящий из блока удаления парникового газа, из которого удалены парниковые газы; и

обеспечивают второй теплообменник, в котором осуществляют теплообмен между головным потоком первого сепаратора и потоком природного газа для увеличения температуры головного потока первого сепаратора, по меньшей мере, до температуры окружающей среды перед выпуском головного потока первого сепаратора в атмосферу.

20. Способ по п.19, дополнительно включающий выпуск головного потока первого сепаратора в атмосферу.

21. Способ по п.19, дополнительно включающий снижение давления, по меньшей мере, частично испаренного потока азота с использованием по меньшей мере одного расширяющего средства; и регулирование температуры на входе по меньшей мере одного расширяющего средства.

22. Способ по п.21, дополнительно включающий регулирование увеличения давления и температуры конденсации головного потока ректификационной колонны и, тем самым, изменения общей теплопередачи в ходе перекрестного теплообмена.

23. Способ по любому из пп.19-22, дополнительно включающий объединение парникового газа, удаленного, по меньшей мере, из частично испаренного потока азота, с потоком природного газа.

24. Способ по любому из пп.19-23, дополнительно включающий пропускание, по меньшей мере, частично испаренного потока азота через систему теплового насоса после прохождения через первое по меньшей мере из одного расширяющего средства.

25. Способ по любому из пп.19-24, в котором поток сжиженного азота проходит через первый теплообменник по меньшей мере три раза.

Хотя вышеизложенное направлено на варианты осуществления настоящего изобретения, возможны другие и дополнительные варианты осуществления изобретения, не выходящие за рамки основного объема изобретения и объема изобретения, определяемого нижеследующей формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система производства сжиженного природного газа с использованием жидкого азота в качестве первичного хладагента, содержащая

источник природного газа;

источник сжиженного азота;

по меньшей мере один теплообменник, выполненный с возможностью обеспечения теплообмена между потоком сжиженного азота из источника сжиженного азота и потоком природного газа из источника природного газа, по меньшей мере, для частичного испарения потока сжиженного азота и, по меньшей мере, частичной конденсации потока природного газа;

по меньшей мере одно расширяющее средство для снижения давления, по меньшей мере, частично испаренного потока азота;

блок удаления парникового газа, содержащий ректификационную колонну, содержащую систему теплового насоса конденсатора и ребойлера, при этом блок удаления парникового газа выполнен с возможностью удаления парникового газа, по меньшей мере, из частично испаренного потока азота, причем парниковый газ содержит по меньшей мере один газ, выбранный из метана, этана, пропана, бутана, этена, пропена и бутена, и при этом система теплового насоса конденсатора и ребойлера содержит

компрессор, выполненный с возможностью повышения давления и температуры конденсации головного потока ректификационной колонны,

теплообменник-тепловой насос для перекрестного теплообмена между головным потоком ректификационной колонны и кубовым потоком ректификационной колонны,

устройство снижения давления, соединенное с выпуском теплообменника-теплового насоса и предназначенное для снижения давления головного потока ректификационной колонны после того, как головной поток ректификационной колонны прошел через теплообменник-тепловой насос, и

сепаратор, соединенный с выпуском устройства снижения давления и предназначенный для производства головного потока первого сепаратора, при этом головной поток первого сепаратора представляет собой газообразный азот, выходящий из блока удаления парникового газа, из которого удалены парниковые газы; и

контроллер для корректировки температуры на входе первого по меньшей мере из одного расширяющего средства.

2. Система по п.1, в которой поток сжиженного азота проходит через первый по меньшей мере из

одного теплообменника по меньшей мере три раза.

3. Система по п.1 или 2, дополнительно содержащая по меньшей мере одно расширяющее средство для снижения давления, по меньшей мере, частично испаренного потока азота.

4. Система по любому из пп.1-3, в которой блок удаления парникового газа включает по меньшей мере одну ректификационную колонну, систему абсорбции, систему адсорбции и каталитическую систему.

5. Система по п.1, дополнительно включающая по меньшей мере одно расширяющее средство для снижения давления, по меньшей мере, частично испаренного потока азота, при этом входящий поток ректификационной колонны является выходящим потоком первого по меньшей мере из одного расширяющего средства.

6. Система по п.1, в которой контроллер дополнительно выполнен с возможностью управления компрессором для корректировки увеличения давления головного потока ректификационной колонны и тем самым изменения общей теплопередачи в теплообменнике-тепловом насосе.

7. Система по любому из пп.1 или 6, дополнительно включающая систему выпуска азота, обеспечивающую выпуск головного потока первого сепаратора в атмосферу.

8. Система по любому из пп.1 или 6-7, дополнительно включающая второй теплообменник, в котором происходит теплообмен между головным потоком первого сепаратора и потоком природного газа для увеличения температуры головного потока первого сепаратора, по меньшей мере, до температуры окружающей среды перед поступлением головного потока первого сепаратора в систему выпуска азота.

9. Система по любому из пп.1-8, дополнительно включающая устройство снижения давления для снижения давления, по меньшей мере, частично сконденсированного потока природного газа.

10. Система по п.9, в которой устройство снижения давления представляет собой одно или несколько устройств, выбранных из гидротурбины и клапана Джоуля-Томсона.

11. Система по любому из пп.1-10, дополнительно включающая насос, выполненный с возможностью нагнетания потока сжиженного азота до давления по меньшей мере 20 бар абс.

12. Система по любому из пп.1-11, в которой парниковые газы, удаленные, по меньшей мере, из частично испаренного потока азота, включают продуктовый поток парникового газа и которая дополнительно включает насос парникового газа, выполненный с возможностью увеличения давления продуктового потока парникового газа.

13. Система по п.12, в которой продуктовый поток парникового газа соединяют, по меньшей мере, с частично сконденсированным потоком природного газа.

14. Система по п.12 или 13, в которой продуктовый поток парникового газа повторно испарен для образования сжатого газообразного продукта.

15. Система по любому из пп.1-14, дополнительно включающая систему теплового насоса, через которую проходит, по меньшей мере, частично испаренный поток азота после прохождения через первый по меньшей мере из одного расширяющего средства.

16. Система по любому из пп.1-15, в которой система теплового насоса включает компрессор азота, охладитель азота и рекуперационный теплообменник.

17. Система по любому из пп.1-16, дополнительно включающая психометрический теплообменник, в котором, по меньшей мере, частично испаренный поток азота используется для предварительного охлаждения потока природного газа перед подачей потока природного газа по меньшей мере в один теплообменник.

18. Система по п.17, в которой удельный вес, по меньшей мере, частично испаренного потока азота уменьшен по меньшей мере на 0,2% в психометрическом теплообменнике.

19. Способ производства сжиженного природного газа (СПГ) с использованием жидкого азота в качестве первичного хладагента и с использованием системы по пп.1-18, при этом включающий этапы, на которых

обеспечивают поток природного газа из источника природного газа;

обеспечивают поток сжиженного азота из источника сжиженного азота;

пропускают поток природного газа и поток сжиженного азота через первый теплообменник, в котором осуществляют теплообмен между потоком сжиженного азота и потоком природного газа, по меньшей мере, для частичного испарения потока сжиженного азота и по меньшей мере частичной конденсации потока природного газа;

удаляют парниковый газ, по меньшей мере, из частично испаренного потока азота при помощи блока удаления парникового газа, включающего ректификационную колонну и систему теплового насоса конденсатора и ребойлера;

увеличивают давление и температуру конденсации головного потока ректификационной колонны;

осуществляют перекрестный теплообмен между головным потоком ректификационной колонны и кубовым потоком ректификационной колонны;

снижают давление головного потока ректификационной колонны после перекрестного теплообмена для получения головного потока ректификационной колонны пониженного давления;

разделяют головной поток ректификационной колонны пониженного давления для получения го-

ловного потока первого сепаратора, при этом головной поток первого сепаратора представляет собой газообразный азот, выходящий из блока удаления парникового газа, из которого удалены парниковые газы; и

обеспечивают второй теплообменник, в котором осуществляют теплообмен между головным потоком первого сепаратора и потоком природного газа для увеличения температуры головного потока первого сепаратора, по меньшей мере, до температуры окружающей среды перед выпуском головного потока первого сепаратора в атмосферу.

20. Способ по п.19, дополнительно включающий выпуск головного потока первого сепаратора в атмосферу.

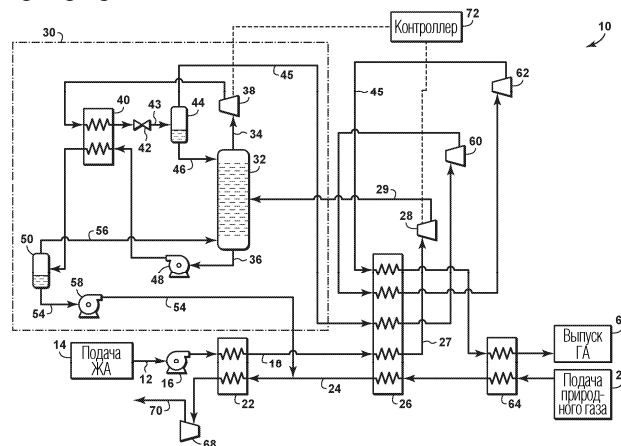
21. Способ по п.19, дополнительно включающий снижение давления, по меньшей мере, частично испаренного потока азота с использованием по меньшей мере одного расширяющего средства; и регулирование температуры на входе по меньшей мере одного расширяющего средства.

22. Способ по п.21, дополнительно включающий регулирование увеличения давления и температуры конденсации головного потока ректификационной колонны и тем самым изменения общей теплопередачи в ходе перекрестного теплообмена.

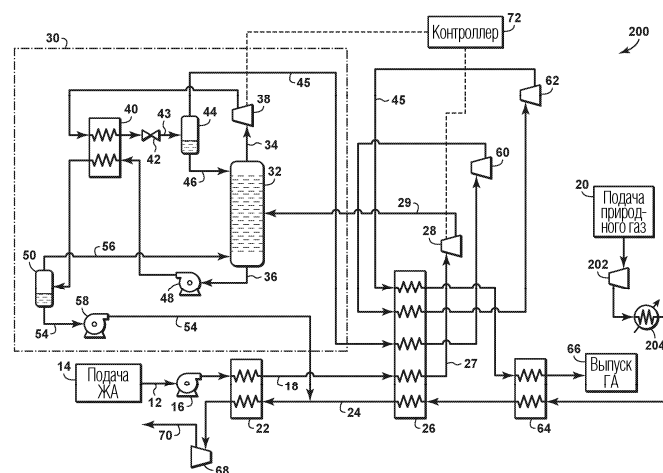
23. Способ по любому из пп.19-22, дополнительно включающий объединение парникового газа, удаленного, по меньшей мере, из частично испаренного потока азота, с потоком природного газа.

24. Способ по любому из пп.19-23, дополнительно включающий пропускание, по меньшей мере, частично испаренного потока азота через систему теплового насоса после прохождения через первое по меньшей мере из одного расширяющего средства.

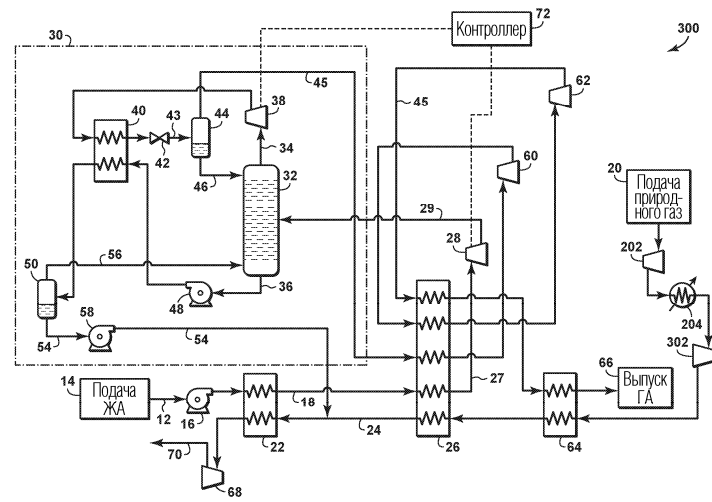
25. Способ по любому из пп.19-24, в котором поток сжиженного азота проходит через первый теплообменник по меньшей мере три раза.



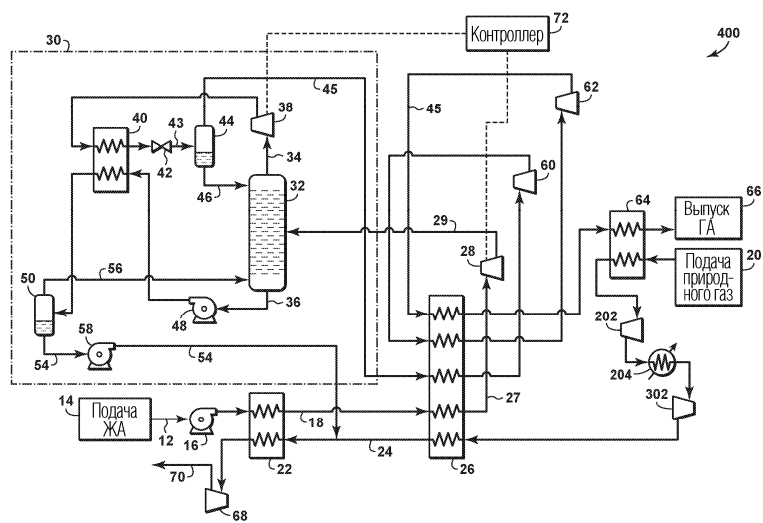
Фиг. 1



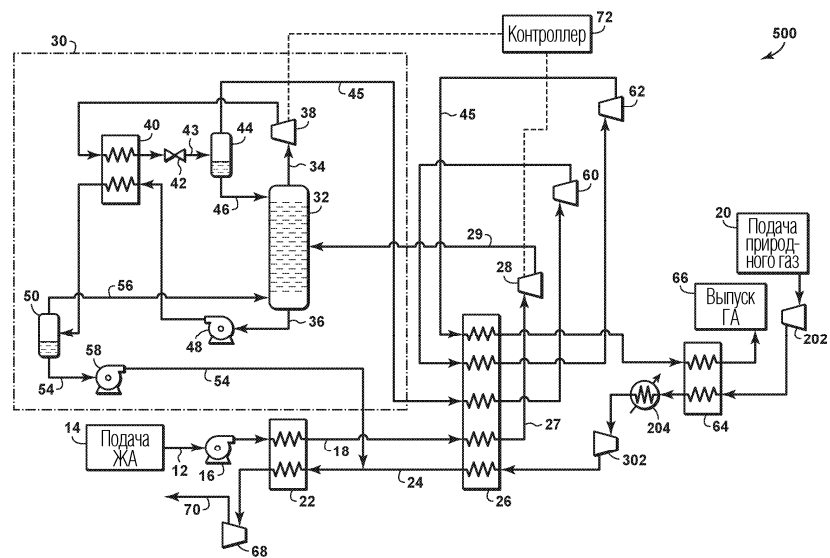
Фиг. 2



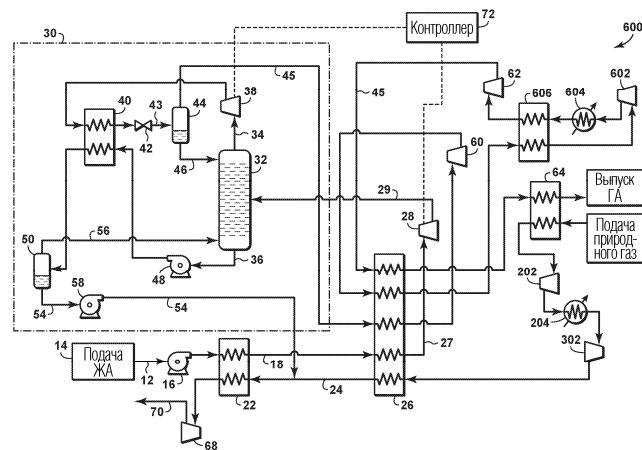
ФИГ. 3



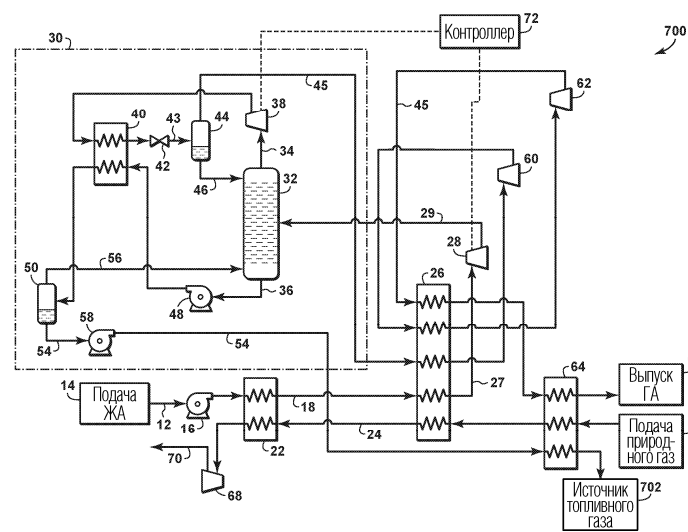
ФИГ. 4



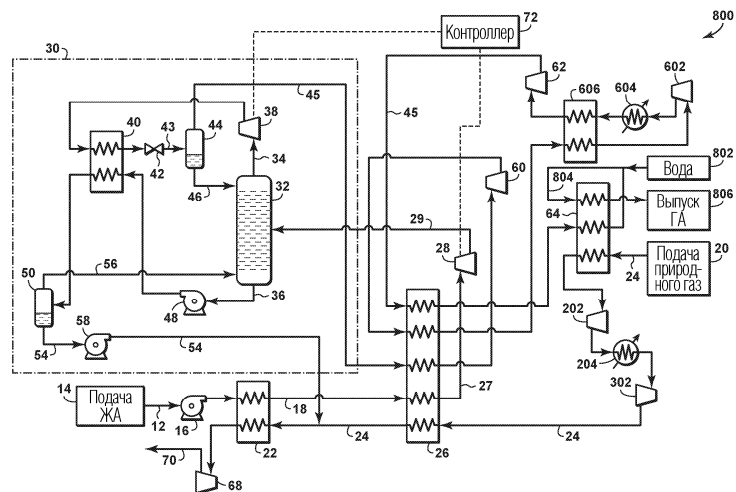
ФИГ. 5



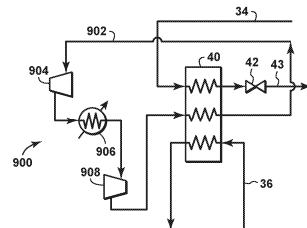
Фиг. 6



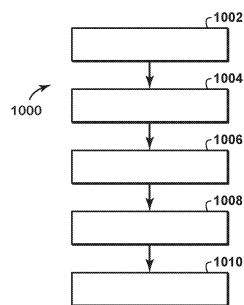
Фиг. 7



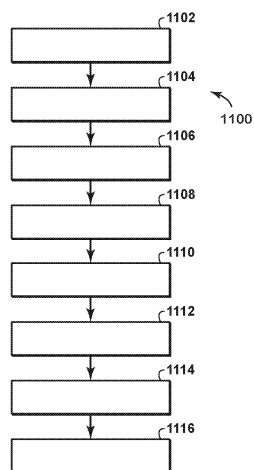
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

