

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040163**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.04.26

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

(21) Номер заявки
201792086

(22) Дата подачи заявки
2016.03.23

(54) **СЖИЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО И УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА**

(31) **62/136,839**

(32) **2015.03.23**

(33) **US**

(43) **2018.04.30**

(86) **PCT/CA2016/050342**

(87) **WO 2016/149828 2016.09.29**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ПТКС ТЕХНОЛОДЖИС ИНК. (CA)

(72) Изобретатель:
Никифорок Колин Ф. (CA)

(74) Представитель:
Рыбина Н.А., Рыбин В.Н. (RU)

(56) **US-A1-2009113928**
CA-A1-2512921
CN-A-102269509
US-A1-2013306520

(57) В способе сжижения промышленных газов или газовых смесей (углеводородных и/или неуглеводородных) используется модифицированная система абсорбционного охлаждения (ПАО) с жидким водным аммиаком, которую применяют для охлаждения газа или газовой смеси во время процесса сжижения. Газ может быть компрессирован выше своей критической точки, а тепло энергии компрессии может быть рекуперировано, чтобы обеспечить некоторое количество или всю тепловую энергию, необходимую для осуществления ПАО. В способе применяется процесс адиабатического расширения Джоуля-Томпсона (Дж-Т), который приводит к отсутствию необходимости в специальном криогенном вращающемся оборудовании. Система абсорбционного охлаждения с жидким водным аммиаком содержит пароабсорбционную колонну (ПАК), выполненную с возможностью осуществлять рекуперацию некоторого количества или всего тепла растворения и тепла энергии конденсации в системе, когда пар безводного аммиака абсорбируется в переохлажденный ненасыщенный водный раствор аммиака. Модифицированная ПАО с ПАК может обеспечить достижение рабочего давления всего лишь в 10 кПа, что приводит к рабочим температурам холодильной установки с аммиаком для газа всего лишь -71°C.

040163 B1

040163 B1

Область техники

Данное изобретение относится к системам и способам для сжижения промышленных и углеводородных газов или газовых смесей.

Уровень техники

Промышленные газы, такие как CO_2 , H_2S , N_2 , O_2 , H_2 , He , Ar , воздух и другие газы, и углеводородные газы, такие как метан, этан, пропан, этилен и другие углеводородные газы, или смеси газов, традиционно сжижают, используя циклы охлаждения на основе хорошо известного цикла Карно, или турбодетандерные циклы. Для криогенных температур, достигаемых во время этих промышленных процессов, позволяющих осуществлять сжижение, могут требоваться сложные каскадные циклы охлаждения, которые являются затратными с точки зрения стоимости, энергии и эксплуатационных расходов.

Соответственно, в данной области техники существует потребность в альтернативных способах сжижения промышленных и углеводородных газов или газовых смесей, которые могут быть относительно энергоэффективными, экономными и практически в отношении их реализации.

Сущность изобретения

В одном аспекте изобретение включает способ сжижения газа с использованием системы сжижения газа, включающей следующие непоследовательные этапы:

- a) получают впускной газ, имеющий впускное давление, на ступени получения газа;
- b) охлаждают газ, полученный на этапе (a), на ступени охлаждения, содержащей контур абсорбционного охлаждения с помощью по меньшей мере одного абсорбционного холодильника;
- c) осуществляют адиабатическое снижение давления охлажденного газа в ступени сжижения с помощью клапана Джоуля-Томсона для сжижения по меньшей мере части газа;
- d) нагревают насыщенный водно-аммиачный флюид в ректификаторе для выделения аммиачного газа, при этом получая ненасыщенный водно-аммиачный флюид;
- e) осуществляют переохлаждение водно-аммиачного флюида и его циркуляцию к верхней части пароабсорбционной колонны (ПАК);
- f) осуществляют конденсацию аммиачного газа, полученного в ректификаторе, и мгновенное выпаривание жидкого аммиака для получения охлажденного аммиачного газа для применения по меньшей мере в одном абсорбционном холодильнике;
- g) осуществляют абсорбцию аммиачного газа, отведенного по меньшей мере из одного абсорбционного холодильника ненасыщенным водно-аммиачным флюидом в ПАК, для получения насыщенного водно-аммиачного флюида, подаваемого на этап (d) при поддержании рабочего давления в верхней части ПАК ниже атмосферного с помощью зажатия испарительного клапана, регулирующего циркуляцию ненасыщенного водно-аммиачного флюида к верхней части ПАК, тем самым снижая давление всасывающей части насоса в насосе для отвода насыщенного водно-аммиачного флюида из ПАК, поддерживая при этом давление всасывающей части выше эффективного положительного напора, требуемого на всасывании для работы насоса, для гарантирования абсорбции паров безводного аммиака.

Газ может содержать промышленный газ или углеводородный газ или любую смесь промышленных или углеводородных газов. Указанный способ может приводить к сжижению по меньшей мере одного компонента газа, части газа или практически всего газа.

В другом аспекте изобретение может включать систему для сжижения газа, содержащую ступень получения для приема впускного газа при впускном давлении, ступень охлаждения, содержащую контур абсорбционного охлаждения для охлаждения полученного газа, и ступень сжижения, содержащую дроссельный клапан Джоуля-Томпсона для по меньшей мере частичного сжижения охлажденного газа. В одном варианте реализации изобретения указанная система может дополнительно содержать ступень компрессии для компрессии газа до необходимого давления и ступень рекуперации тепла энергии компрессии для переноса тепла от ступени компрессии к контуру абсорбционного охлаждения. В другом варианте реализации изобретения указанная система может содержать ступень рециркуляции газа для рециркуляции несжиженных компонентов газа в контуре рециркуляции пара с низким давлением, который дополнительно охлаждает сжатый и охлажденный газ, который потом направляется в ступень компрессии.

В одном варианте реализации изобретения контур абсорбционного охлаждения содержит ректификатор и пароабсорбционную колонну.

Краткое описание графических материалов

Далее изобретение будет описано с помощью типовых вариантов реализации с отсылкой на прилагающиеся упрощенные, схематические графические материалы.

Фиг. 1 представляет собой схематическое изображение одного варианта реализации данного изобретения.

Фиг. 2А и 2В вместе представляют собой схему технологического процесса (СТП) одного варианта реализации изобретения, в котором проводят компрессию газа до давления ниже критического.

Фиг. 3 представляет собой диаграмму Моля для диоксида углерода (CO_2), применяемого в одном варианте реализации данного изобретения. На этой и других диаграммах Моля изображены отдельные диаграммы энтальпия-давление, предоставленные корпорацией ChemicalLogic, США.

Фиг. 4 представляет собой схему технологического процесса (СТП), в котором используется способ

сжижения газа 2 для малосернистого природного газа при впускном давлении 170 кПа, воде, насыщенной 2% CO_2 и 98% CH_4 . В цикле сжижения используется одноразовое применение мгновенного сжижения для сохранения давления 170 кПа.

Фиг. 5А и 5В вместе представляют собой схему технологического процесса (СТП), в котором используется записывающее основное оборудование и обработка данных модифицированного абсорбционного цикла охлаждения. На схеме процесса изображены ключевые компоненты для 4-ступенчатой системы охлаждения NH_3 , пароабсорбционная колонна (ПАК), холодильная установка для ненасыщенного раствора, теплообменники для отработанного тепла, генератор, ректификационная колонна, обратный конденсатор (дефлегматор), аммиачный конденсатор и другое вспомогательное оборудование.

Фиг. 6А представляет собой диаграмму Моляе для метана (CH_4), применяемого в цикле сжижения, иллюстрирующую один вариант реализации данного изобретения. Фиг. 6В представляет собой диаграмму Моляе для метана, применяемого в альтернативном варианте реализации изобретения с необязательной подачей при высоком давлении.

Фиг. 7 представляет собой диаграмму Моляе для безводного аммиака (NH_3), которая изображает термодинамические точки для 4-ступенчатой системы сжижения-охлаждения, которые соответствуют давлению и температуре пара безводного аммиака, когда он поступает обратно в ПАК. Температура охлаждения системы, соответствующая температуре окружающей среды для этого примера, подразумевает температуру конденсации 22°C.

Фиг. 8 представляет собой РТХ-изображение для водного раствора аммиака, на котором представлены рабочие точки для ключевого процесса, в частности, рабочее давление, температура и концентрация раствора в ПАК и оставшейся части модифицированного абсорбционного цикла, применяемого в изобретении. РТХ-график для водного аммиака строили, используя обработанные данные, полученные на симуляторе процесса PROMAX™.

Фиг. 9 представляет собой схему технологического процесса (СТП) одного варианта реализации изобретения, в котором конечное охлаждение сжиженного газа происходит в теплообменнике тепла испарения сжиженного газа.

Фиг. 10 представляет собой диаграмму Моляе для сжижения воздуха, используемого в одном варианте реализации цикла сжижения, изображенного на фиг. 9.

Подробное описание предпочтительных вариантов реализации изобретения

В физике термин "газ" содержит состояние вещества, в котором вещество характеризуется превосходной молекулярной подвижностью и свойством неограниченного расширения. В контексте данного документа "газ" содержит вещества, являющиеся газообразными при стандартной температуре и давлении, такие как CO_2 , H_2S , N_2 , O_2 , H_2 , He , Ar , воздух или углеводородные газы, такие как метан, этан, пропан, этилен и другие углеводородные газы, или любые смеси газов. В контексте данного документа термин "сжиженный газ" означает любой газ или смесь газов, которые были сжижены для продажи, утилизации или применения в коммерческих, исследовательских или промышленных целях.

В контексте данного документа термин "клапан Джоуля-Томпсона" или "дроссельный клапан Джоуля-Томпсона" означает газовый клапан, выполненный с возможностью обеспечения адиабатического расширения газа в соответствии с эффектом Джоуля-Томпсона. Клапаны Джоуля-Томпсона хорошо известны в данной области техники и доступны на коммерческой основе.

В контексте данного документа термин "сепаратор низкого давления" или "СНД" означает емкость для сепарации, которая работает при определенном низком давлении и температуре на выходе после "дроссельного клапана Джоуля-Томпсона" так, чтобы сжиженный газ можно было удалять с пути потока или дополнительно обрабатывать в пределах пути потока.

В контексте данного документа термин "сепаратор высокого давления" или "СВД" означает емкость для сепарации, которая работает при необходимом для охлаждения газа давлении и расположена перед дроссельным клапаном Джоуля-Томпсона.

В контексте данного документа термин "плотная фаза", относящийся к любому газу или смеси газов, означает состояние газа, являющееся результатом его компрессии выше его критической температуры, которая представляет собой максимальное давление, выше которого газ не может существовать в газовой фазе вне зависимости от температуры, при температуре в диапазоне, определяемом приблизительно критической температурой, которая представляет собой температуру, соответствующую критической точке, являющейся комбинацией давления и температуры, при которой интенсивные свойства газовой и жидкой фаз вещества являются одинаковыми, и приблизительно равной его критической температуре, которая представляет собой максимальную температуру, выше которой природный газ не может существовать в жидкой фазе вне зависимости от давления. В плотной фазе газ имеет вязкость, сходную с газовой фазой, но может иметь плотность ближе к жидкой фазе.

В контексте данного документа термин "неконденсирующийся" означает любой газ, который не сжижается при рабочих давлении и температуре конкретной стадии или стадий для любого СНД в пределах пути потока.

В контексте данного документа термин "процесс абсорбционного охлаждения" или "ПАО" означает систему охлаждения, в которой используется известный в данной области техники термодинамический

процесс охлаждения на основе подводимого тепла для проведения процесса охлаждения.

В контексте данного документа термин "дополнительное тепло" означает подвод к системе тепла, источником которого является любое средство рекуперации отработанного тепла, теплообменная среда, электронагреватели или другие традиционные средства обеспечения подвода тепла к нагревательному контуру насыщенного раствора модифицированного ПАО согласно данному изобретению. Дополнительное тепло, как правило, поставляется из низкотемпературных источников тепла. Низкотемпературное тепло означает низко- и среднетемпературное тепло, которое имеет меньшую плотность эксэргии и не может быть эффективно преобразовано традиционным способом. Хотя единого стандарта для температурного диапазона низкотемпературного тепла не существует, понятно, что источник тепла с температурой ниже 37°C считается низкотемпературным источником тепла, так как считается, что ниже этой температуры тепло не может быть эффективно преобразовано с помощью парового цикла Ренкина. Основными низкотемпературными источниками тепла являются солнечная тепловая энергия, геотермическая энергия и тепловая энергия промышленных отходов.

В контексте данного документа термин "процесс механического охлаждения" означает систему охлаждения, в которой используется известный в данной области техники термодинамический процесс охлаждения на основе впускной компрессии для проведения процесса охлаждения.

В контексте данного документа термин "процесс турботандерного охлаждения" означает систему охлаждения, в которой используется известный в данной области техники термодинамический процесс охлаждения на основе адиабатического расширения и рекуперации работы для компрессии в качестве процесса охлаждения.

В одном аспекте варианты реализации данного изобретения включают систему, которая содержит ступень получения газа, ступень охлаждения, ступень или ступени сжижения и модифицированный ПАО, который управляет ступенью охлаждения. В предпочтительном варианте реализации, изобретение также может содержать ступень компрессии, ступень или ступени рекуперации тепла энергии компрессии и ступень рециркуляции газа. Один вариант реализации данного изобретения ориентирован на использование потенциальной энергии (энтальпии) впускного потока газа, и на рекуперацию тепла энергии компрессии на ступени компрессии процесса сжижения, для улучшения общей термодинамической эффективности процесса сжижения газа.

В одном варианте реализации изобретения, как схематически изображено на фиг. 1, изобретение включает систему для сжижения газа, которая скомбинирована с модифицированной системой абсорбционного охлаждения с водным аммиаком. Тепло энергии компрессии, генерируемое в результате работы компрессии над газом или газовой смесью, предназначенными для сжижения, может быть рекуперировано путем применения водного аммиака для абсорбции тепла из рабочего потока жидкого газа посредством теплообменника. В традиционных процессах обработки газа эту генерируемую в большом количестве низкотемпературную тепловую энергию отводят в окружающую среду посредством либо воздушного вентилятора, либо системы с водным охлаждением. В вариантах реализации данного изобретения используется рекуперированное тепло энергии компрессии в цикле абсорбционного охлаждения, что обеспечивает охлаждение и возможность сжижения газов.

Потенциальная энергия (энтальпия), имеющаяся в предназначенном для сжижения газе, прямо связана с давлением и температурой газа, поступающего в систему, и используется во время процессов охлаждения со снижением давления, таких как процесс со снижением давления Джоуля-Томпсона (Дж-Т) для охлаждения газа или газовой смеси посредством автоохлаждения вследствие адиабатического снижения давления. Процесс Джоуля-Томпсона является надежным и простым, и подходит для охлаждения с отсутствием практических ограничений на работу в пределах зоны газ-жидкость на фазовой диаграмме, и не требует применения специального криогенного вращающегося оборудования, которое является сложным, дорогостоящим и имеет практические ограничения, требующие работы за пределами зоны газ-жидкость фазовой диаграммы.

С источником тепла системы абсорбционного охлаждения, как правило, используют менее 5% сетевой электроэнергии по сравнению с энергией охлаждения, вырабатываемой системой абсорбционного охлаждения. Низкотемпературное тепло энергии компрессии, которое высвобождается вследствие выполнения работы компрессии над потоком сжижаемого газа, может обеспечивать некоторое количество, всю или избыток холодопроизводительности в зависимости от применения сжижения конкретного газа и способа, применяемого для сжижения. В применениях, в которых доступно недостаточное количество тепловой энергии, рекуперированной после цикла сжижения, может потребоваться дополнительная тепловая энергия в форме потоков другого доступного низкотемпературного отработанного тепла и/или других традиционных средств подвода тепла для обеспечения необходимой тепловой энергии для обеспечения необходимой холодопроизводительности, вырабатываемой системой абсорбционного охлаждения.

Система абсорбционного охлаждения содержит ректификатор, который использует тепловую энергию для выделения аммиака из насыщенного водного раствора аммиака, и пароабсорбционную колонну (ПАК), которая в одном варианте реализации изобретения обеспечивает возможность работы охлаждающего устройства при температуре -71°C при рабочем давлении 10 кПа. В конструкции ПАК используются термодинамические принципы для устранения необходимости в традиционных механических

вакуумных насосах для достижения необходимых вакуумных рабочих давлений. Конструкция ПАК также позволяет осуществлять по меньшей мере некоторую и, при возможности, полную рекуперацию тепла растворения и тепла энергии конденсации, когда безводный парообразный аммиак абсорбируется в ненасыщенном водном растворе аммиака в верхней части ПАК, и, необязательно, в дополнительных точках входа ПАК. Концентрация и температура раствора возрастают от верхней к нижней части ПАК, при этом гидравлическая головка поддерживает водный раствор аммиака в переохлажденном состоянии до достижения финальной концентрации насыщенного раствора. Тепло растворения и конденсации сохраняются в качестве полезной энергии в насыщенном растворе в отличие от традиционных абсорберов, которые отводят эту энергию к поглотителю тепла.

На стадии получения впускной газовой поток компрессируют или декомпрессируют до необходимого давления, которое может быть выше или ниже критического давления газа, перед началом процесса охлаждения/сжижения. Если впускной газовой поток имеет давление, превышающее необходимое, его можно дросселировать с помощью клапана Джоуля-Томпсона для инициации процесса при более низком давлении. В таких случаях не происходит рекуперации тепла компрессии для переноса его к модифицированному ПАО.

В одном варианте реализации изобретения указанный способ адаптирован для сжижения газа, который имеет впускное давление ниже критической точки для этого газа. В указанном способе используется компрессор (одна или более ступеней), система для рекуперации тепла энергии компрессии, модифицированный ПАО, один или более клапанов Джоуля-Томпсона, один или более СНД и холодильный компрессор для рециркулирующего газа с одной или более ступенями. Указанный способ сжижения газа снижает или устраняет необходимость во втором комплекте холодильных компрессоров, используемом в традиционной системе механического охлаждения, такой как цикл Карно. Сжижаемый газ действует как жидкий теплоноситель, когда происходит рециркуляция компонента парообразной фазы в результате быстрого открытия клапана Джоуля-Томпсона, и компонент жидкой фазы направляется в хранилище. Этот пример указанного способа можно применять для сжижения CO_2 , H_2S , пропана или добычи газоконденсатной жидкости C3+ (ГКЖ) с небольшой глубины, где температура, необходимая для сжижения, превышает -70°C .

Например, указанный способ можно применять для сжижения газа CO_2 , как схематически изображено на фиг. 2 в виде СТП и на фиг. 3 в виде диаграммы Мольте. Типичный диапазон хранения жидкого CO_2 находится от около -15°C до -29°C . С помощью процесса можно получать жидкий CO_2 при температуре около -23°C , при давлении около 1600 кПа. На впуск CO_2 доставляется при атмосферном давлении и температуре около 30°C , что значительно ниже критической точки газа. Затем газ поэтапно компрессируют, пропуская через теплообменники, которые рекуперировать тепло энергии компрессии, при этом теплообменники находятся в прямом контакте с насыщенным водным раствором аммиака, чтобы обеспечить всю или часть тепловой энергии, необходимой для питания системы модифицированного абсорбционного охлаждения. Затем сжатый CO_2 охлаждают с помощью по меньшей мере одной абсорбционной холодильной установки. Тепловая энергия для питания абсорбционной холодильной системы обеспечивается любой комбинацией рекуперированного тепла энергии компрессии и/или дополнительного тепла, которое может вырабатываться посредством прямого или непрямого обмена тепла сгорания или другими доступными потоками рекуперированного отработанного тепла с необходимыми температурными и массопереносными условиями.

Затем сжатый и охлажденный CO_2 поступает через клапан Джоуля-Томпсона в сепаратор низкого давления (СНД) при таком давлении высвобождения и такой температуре высвобождения, чтобы CO_2 находился в двухфазном состоянии газ-жидкость, что, в некоторых случаях, может происходить в переохлажденном состоянии. Жидкий CO_2 можно слить в емкость для хранения, тогда как газовую часть, содержащую какие-либо газы выветривания и/или неконденсирующиеся пары, направляют в рециркуляционный компрессор, спускной поток для вентиляции, топливного газа и/или дополнительной обработки в зависимости от ситуации. Рециркуляционный компрессор является частью рециркуляционного контура, в котором газовая часть вносится в газовый путь потока на стадии компрессии, как изображено на фиг. 2 на CO2-11 и CO2-11a.

В другом варианте реализации в данном изобретении предложен способ сжижения газа, который получен выше критической точки или сжат выше критической точки, в котором используется компрессор (одна или более ступеней), система для рекуперации тепла энергии компрессии, модифицированный ПАО, один или более клапанов Джоуля-Томпсона, один или более СНД и холодильный компрессор для рециркулирующего газа с одной или более ступенями. В способе используется путь потока, включая, но не ограничиваясь этим, холодильный цикл, использующий компрессию газа до давления, практически соответствующего плотной фазе, чтобы обеспечить сжижение посредством охлаждения газа плотной фазы с помощью любой комбинации из системы для рекуперации тепла энергии компрессии, системы абсорбционного охлаждения и теплообменника с потоком пара рециркулирующего газа при низком давлении из одного или более СНД, одного или более клапанов Джоуля-Томпсона и холодильного компрессора для рециркулирующего газа с одной или более ступенями компрессии. В зависимости от давления и температуры подачи поступающего в процесс сжижения газа на входе может быть целесообразно допол-

нительно компрессировать газ до плотной фазы, в значительной степени выше критического давления и температуры газа, чтобы оптимизировать отвод тепла (изменение энтальпии) во время процесса охлаждения для конкретного газа или газовой смеси, предназначенной для сжижения.

Давление, выбираемое для процесса охлаждения для конкретного газа или газовой смеси напрямую связано с изменением наклона изотермы газа или газовой смеси выше критической точки, как представлено на диаграмме Моляе для зависимости давления от удельной энтальпии. Точка, в которой наклон изотермы является вертикальным (бесконечный наклон), обеспечивает максимальный потенциал для существенного переноса тепла для заданного газа или газовой смеси при заданной температуре. Реальное выбранное давление не обязательно должно соответствовать этой точке, так как следует учитывать комбинацию факторов, таких как практические пределы давления и температуры для компрессии и оборудование для теплообмена, а также минимальная температура, доступная или обеспечиваемая системой абсорбционного охлаждения. Наклон изотермы для конкретного газа можно определить по диаграмме Моляе (по оси X - удельная энтальпия, по оси Y - абсолютное значение давления), чтобы помочь в выборе оптимального давления для охлаждения заданного газа или газовой смеси перед этапом сжижения. Этот процесс выбора будет дополнительно описан ниже.

В примерах этого варианта реализации изобретения газ получают при впускном давлении, соответствующем необходимому давлению плотной фазы, или, если впускное давление не соответствует необходимому давлению плотной фазы, проводят компрессию или декомпрессию газа до необходимого давления плотной фазы, требуемого для сжижения. В случае компрессии тепло энергии компрессии может быть рекуперировано посредством теплообменника и перенесено к насыщенному водному раствору аммиака, чтобы обеспечить всю или часть тепловой энергии, необходимой для питания модифицированной системы абсорбционного охлаждения. Если тепловой энергии, рекуперированной из тепла компрессии, недостаточно, можно обеспечить дополнительное тепло посредством любого прямого или непрямого обмена тепла сгорания или других доступных потоков рекуперированного отработанного тепла с необходимыми температурными и массопереносными условиями.

Впускной газ можно сжимать в одно- или, в случае необходимости, многоступенчатом компрессоре для достижения необходимого конечного давления, равного давлению на впуске клапана Джоуля-Томпсона. В общем случае в одном варианте реализации изобретения температура на выходе любой конкретной ступени компрессии ограничена значением от около 150 до 160°C в зависимости от спецификаций конкретного оборудования для компрессии.

Сжатый газ охлаждают посредством по меньшей мере одной и предпочтительно 2-х, 3-х или 4-х ступеней абсорбционной холодильной установки до минимальной температуры -70°C. В одном варианте реализации изобретения сжатый газ может быть сначала охлажден рециркулирующим потоком пара при низком давлении из СНД, как обсуждается ниже.

Охлажденный промышленный газ или газовую смесь подают через клапан Джоуля-Томпсона в сепаратор низкого давления (СНД) при таком давлении высвобождения и такой температуре высвобождения, чтобы газ находился в парообразной фазе качества "X" в пределах двухфазной области газа. На фиг. 6A и 6B $X = 0,53$ при M17 и M12 соответственно.

Жидкость, вытекает из СНД в емкость для хранения, а пар направляют в рециркулирующий поток пара при низком давлении. Этот рециркулирующий поток содержит теплообменник, который изначально охлаждает промышленный газ или газовую смесь в плотной фазе до необходимой температуры перед охлаждением газа в плотной фазе в абсорбционной холодильной установке. Следовательно, рециркулирующий поток пара при низком давлении нагревают до температуры, подходящей для впуска в оборудование для компрессии, затем компрессируют на одной или более ступенях до достижения необходимого давления сжижения плотной фазы, а затем комбинируют с впускным газовым потоком.

Неконденсирующиеся пары из СНД можно направлять в отводной поток для: вентиляции, дополнительной обработки или в виде топливного газа, в зависимости от свойств конкретного промышленного газа или газовой смеси и применения процесса.

Можно осуществлять дополнительные стадии быстрого испарения жидкости, удаляемой из СНД, для дополнительного снижения температуры и давления сжиженного промышленного газа или газовой смеси, при необходимости, используя дополнительные клапаны Джоуля-Томпсона, СНД и стадии компрессии.

Для некоторых газов установки абсорбционного охлаждения не работают при достаточно низкой температуре для обеспечения простого быстрого испарения посредством клапана Джоуля-Томпсона, охлажденной до плотной фазы жидкости до переохлажденного состояния при необходимой конечной температуре сжижения, но обеспечивают быстрое испарение до необходимой конечной температуры и давления до определенного качества пара "X" в пределах фазового состояния для газа на диаграмме газ-жидкость. Жидкую часть удаляют из СНД и направляют в емкость для хранения, тогда как газовую фазу удаляют из сепаратора, при этом холодную газовую фазу при низком давлении можно применять для дополнительного охлаждения более теплого потока газа в плотной фазе, который был охлажден на последней ступени теплообменника абсорбционной холодильной установки.

В одном варианте реализации изобретения путем охлаждения потока газа в плотной фазе рецирку-

лирующий поток пара при низком давлении из СНД нагревают до температуры, приближающейся к конечной рабочей температуре абсорбционной холодильной установки. Затем он может быть направлен в другой теплообменник, который дополнительно нагревает рециркулирующий газ в контуре компрессора до температуры, приемлемой для выбранного оборудования рециркуляционного компрессора (-29°C или более для того, чтобы применять стандартные материалы из чугуна с шаровидным графитом или углеродистой стали и избежать необходимости в нержавеющей стали, необходимой для криогенных операций). После того, как произошел достаточный обмен энергией и подходящий нагрев рециркулирующего газа с низким давлением, его можно смешивать с впускным газовым потоком и компрессировать, как описано в данном документе.

В зависимости от конкретного применения может генерироваться избыточное охлаждение, доступное для других процессов, или может производиться дополнительная тепловая энергия, необходимая для обеспечения генерации достаточной холодопроизводительности оборудованием для абсорбционного охлаждения. После рекуперации тепла энергии компрессии из впускного потока и рециркулирующего потока (смешанный поток равен впускному потоку + рециркулирующий поток ("Y")) данный поток дополнительно охлаждают с помощью одной или большего количества ступеней системы абсорбционного охлаждения до достижения необходимой конечной температуры с помощью системы абсорбционного охлаждения. Рециркулирующий поток пара при низком давлении из СНД имеет массовый поток, равный "Y" или $X/(1-X)$, умноженный на впускной поток, предназначенный для сжижения. Массовый поток жидкости, вытекающей из СНД, равен впускному массовому потоку газа или газовой смеси, поступающих в систему, минус какой-либо топливный газ или отводной поток для предотвращения образования неконденсирующихся газов при необходимых системных условиях сжижения.

Описанные в данном документе способы сжижения газа могут минимизировать необходимость в дополнительном оборудовании, требуемом для традиционных процессов охлаждения с каскадными многоступенчатыми процессами внешнего охлаждения или смешанных холодильных систем, которые на данный момент используются в крупномасштабных установках для сжижения СПГ и для которых требуются значительные затраты электроэнергии и денежных средств на строительство, и оборотных средств в процессе ее работы и эксплуатационной поддержки. Кроме того, не нужны паянный алюминиевый теплообменник (ПАТО) и криогенное вращающееся оборудование.

В случае необходимости в более охлажденном и находящемся при более низком давлении сжиженном газе или смешанных газовых продуктах можно добавлять дополнительные ступени быстрого испарения посредством клапана Джоуля-Томпсона, которые приводят к дополнительным рециркулирующим или отводным потокам газа. В зависимости от свойств сжижаемого газа или газовой смеси может быть целесообразно использовать один или комбинацию потоков пара для топливного газа или в виде впускного потока для рекуперации неконденсирующихся газов в другом процессе сжижения при других рабочих давлении и температурах, которые обеспечивают сжижение неконденсирующегося газа или газовых смесей. Один пример указанного способа подходит для применений при температурах сжижения до -170°C и, в частности, подходит для производства СПГ или добычи C_2+ с большой глубины.

С помощью описанных выше способов, в которых используется газ в плотной фазе, можно охлаждать газ до температуры -71°C перед адиабатическим расширением, что достаточно для сжижения метана. В другом варианте реализации изобретения, в котором необходима температура сжижения ниже, изобретение может включать дополнительный этап охлаждения, на котором испарение отдельно сжиженного промышленного газа дополнительно охлаждает газ, сжижение которого требуется осуществить. В этом способе сжижения газов используется компрессор (с одной или большим количеством ступеней), система для рекуперации тепла энергии компрессии, модифицированный ПАО, один или более клапанов Джоуля-Томпсона, один или более СНД, холодильный рециркуляционный компрессор с одной или более ступенями, и один или более газовых испарительных теплообменников.

В этом варианте реализации изобретения сжиженный газ получают, используя вышеописанные этапы и дополнительно добавляя этап применения теплообменника с испарителем сжиженного газа для охлаждения другого газа в плотной фазе от температуры последней ступени абсорбционной холодильной установки до достаточно низкой температуры так, чтобы охлажденный газ в плотной фазе можно было дополнительно охладить потоком рециркулирующего пара из СНД, чтобы обеспечить сжижение промышленного газа или газовой смеси посредством адиабатического расширения посредством клапана Джоуля-Томпсона до пара качества "X" при необходимом значении температуры и давления. Если СПГ используют в испарителе сжиженного газа, то на каждые 0,35 кг испаренного СПГ можно сжижать приблизительно один кг воздуха, используя вариант реализации способа, изображенный на фиг. 9 и 10.

Соответственно, ступени для альтернативных вариантов реализации изобретения похожи, но могут отличаться требуемыми рабочими значениями температуры, давления, и баланса тепла и материалов для применений в сжижении газа. Концентрация раствора ненасыщенного и насыщенного водного раствора аммиака и скорости потоков зависят, главным образом, от внешней (температуры теплопоглотителя) и необходимой рабочей температуры конечной ступени холодильной установки. Скорость циркуляции заданной смеси растворов зависит от общей требуемой тепловой нагрузки и доступного подвода тепла к системе. Расчет и определение этих параметров находится в компетенции специалиста в данной области

техники, которому потребуется информация данной заявки.

Один из признаков данного изобретения включает рекуперацию значительного количества и, в некоторых случаях, всего тепла растворения и тепла энергии конденсации в ПАК, которое в традиционных конфигурациях ПАО отводится в окружающую среду или к теплопоглотителю. Другой признак одного варианта реализации сегмента ПАО согласно изобретению состоит в возможности достижения очень сильного охлаждения до -71°C на конечной ступени холодильной установки без необходимости во вращающемся вакуумном насосе, обеспечивая, таким образом, более простое и менее затратное решение для достижения сжижения СПГ с минимумом вращающегося оборудования и, в частности, отсутствием вращающегося криогенного оборудования.

Примеры

Следующие примеры описаны для изображения конкретных вариантов реализации заявляемого изобретения и не предназначены для ограничения заявляемого изобретения.

На фиг. 2 и 3 газ CO_2 получают при атмосферном давлении при около 30°C , а затем компрессируют до давления около 4400 кПа посредством трех ступеней сжатия (STG-1, STG-2 и STG-3) с охлаждением с помощью теплообменников (WHX-1, WHX-2 и WHX 3). Затем газ охлаждают сначала с помощью рециркулирующего потока пара из конечного сепаратора (Сеп. МР), а затем абсорбционной холодильной установки ($\text{NH}_3\text{-CH}_1$ (10)). WHX-1, WHX-2 и WHX 3 переносят тепло в водно-аммиачную систему для питания абсорбционной холодильной системы.

Затем охлажденный CO_2 проходит через клапан Джоуля-Томпсона в сепаратор (Сеп. МР) при таком давлении высвобождения и такой температуре высвобождения, чтобы CO_2 находился в двухфазном состоянии газ-жидкость, что в некоторых случаях может происходить в переохлажденном состоянии. Жидкую часть выливают в емкость для хранения, тогда как газовую часть, содержащую какие-либо газы выветривания и/или неконденсирующиеся пары, направляют в рециркуляционный компрессор, отводной поток для: вентиляции, топливного газа и/или дополнительной обработки в зависимости от ситуации;

На фиг. 4 и 5 приведены СТП, изображающие способ сжижения и систему для сжижения малосернистого природного газа, тогда как на фиг. 6 изображена диаграмма Молье для пути потока природного газа. В прилагаемой табл. 1 обобщен баланс тепла и материалов для этих примеров.

На фиг. 8 изображен путь потока модифицированного ПАО и ПАК на РТХ-графике при давлении вниз по шкале, вплоть до 10 кПа, чтобы изобразить путь потока в этом примере. Традиционные РТХ-графики для водного аммиака в общем случае не распространяются ниже 100 кПа и не учитывают работу систем ПАО, работающих ниже атмосферного давления. На фиг. 8 изображен путь потока 4-ступенчатой системы охлаждения газа с безводным аммиаком для обеспечения работы в верхней части ПАК при давлениях всего 10 кПа и -71°C . В табл. 1 обобщены свойства газа, метанола, водного раствора аммиака и безводного аммиака по мере их прохождения по пути потока, получаемые из доступных диаграмм Молье для метана и безводного аммиака, находящихся в открытом доступе таблиц, графиков и диаграмм с термодинамическими свойствами водных растворов аммиака, пара и таблицами пара. Расчеты ожидаемой производительности и рабочих параметров для модифицированного ПАО и ПАК были сделаны автором изобретения как часть изобретения. Ручные расчеты подвергают округлению, упрощению, оценке и аппроксимации, что необходимо для получения ключевых параметров и ключевых рабочих параметров системы. Например, были исключены неконденсирующиеся газы, а безводный аммиак считался чистым для упрощения необходимых ручных расчетов (по сравнению с целевой степенью очистки 99,5%). Математическое моделирование с помощью программного обеспечения для моделирования процессов может привести к уточнению расчетов для обеспечения подробной разработки процесса необходимых отводных потоков для контура сжижения газа и системы модифицированного ПАО и ПАК.

Способ сжижения насыщенного водой малосернистого природного газа (98% CH_4 и 2% CO_2) изображен на фиг. 4, 5 и 6А. Природный газ подается в путь потока через впускной сепаратор на М1 при давлении 170 кПа и 17°C . Газ компрессируют на впуске на 1-ой ступени (COMP-IN) и компрессируют до 650 кПа (М2), такого же давления, как и у рециркулирующего газа на первой ступени (STG-1, М3). Тепло компрессии с впуска 1-ой ступени рекуперировать в WHX-IN (от М2 до М2а), тепло компрессии с впуска первой ступени (от М3 до М3а) используют для нагрева рециркулирующего газа (от М20 до М21) по меньшей мере до -29°C , что является минимальной приемлемой температурой для работы в компрессоре, сконструированном из стандартных материалов (не криогенном). Комбинированная температура на впуске рециркуляционного компрессора 2-ой ступени составляет 47°C (М4). Температуру и давление на М4 следует проверять, чтобы убедиться, что гидраты или замерзание не составляют проблемы; в данном примере это не составляет проблемы, но коэффициент рециркуляции для впускного газа и содержание воды могут меняться в зависимости от применения.

Комбинированный впускной и рециркулирующий газ компрессируют на 2-ой ступени рециркуляции до 2200 кПа (М5), газ охлаждают, а тепло компрессии рекуперировать в WHX-1 (от М5 до М6). Газ дополнительно компрессируют на 3-ей ступени рециркуляции (STG-3), а тепло компрессии рекуперировать, начиная с 160°C , в WHX-2 (от М7 до М8) до 47°C .

Теперь газ попадает в точку пути потока для предварительной обработки при подготовке к процессу сжижения. HSX-5 используют для обеспечения регуляции температуры перед тем, как газ из пути по-

тока попадет в аминный контактор (M9), в котором содержание CO_2 снижается от 20000 м.д. до менее чем 50 м.д. для предотвращения отвердевания CO_2 в процессе сжижения. Газ, выходящий из аминного контактора в точке M10, насыщен водой, когда он попадает в ТЭГ-гликолевый дегидратор, в котором при выходе из точки M11 содержание паров воды было снижено до $0,065 \text{ кг}/10^3 \text{ м}^3$. В точке M12 инжeksiруют 11,7 кг метанола, чтобы гарантировать наличие приблизительно 75/25 смеси метанол/вода, когда начинается конденсация вдоль пути потока до СВД при 8200 кПа и -88°C (M14). Конденсированную смесь метанола и воды удаляют из СВД (M16), оставляя обезвоженный поток пара со следовыми количествами $\text{MeOH}/\text{H}_2\text{O}$, которая будет отвердевать по мере испарения газа через клапан Дж-Т-1 до 170 кПа и -152°C , и может быть удалена путем фильтрования жидкого продукта. Этот метод обезвоживания не используется или не признан в известном уровне техники как способ обезвоживания потока газа во время производства криогенных газов, таких как СПГ, и представляет собой способ, который можно использовать в изобретении для устранения необходимости в традиционных методах молекулярного сита для обезвоживания.

Возвращаясь к M12, точке инъекции метанола на пути потока, газ последовательно охлаждают от 22°C (M12) до -88°C (M14) посредством аммиачных холодильных установок $\text{NH}_3\text{-CH}_1$, $\text{NH}_3\text{-CH}_2$, $\text{NH}_3\text{-CH}_3$, $\text{NH}_3\text{-CH}_4$ и GGX-2. В этом примере вследствие большей температуры окружающей среды HSX-3 не обеспечивает какую-либо преимущественную передачу тепла. В более холодном климате HSX-3 может обеспечивать существенное охлаждение, что может снизить функцию охлаждения $\text{NH}_3\text{-CH}_1$. В результате термический КПД процесса сжижения газа будет увеличиваться при снижении внешней температуры во время зимних месяцев.

После того, как охлажденный газ в плотной фазе достигает СВД, конденсированную жидкость $\text{MeOH}/\text{H}_2\text{O}$ удаляют в точке M16, как указывалось ранее, обезвоженный охлажденный газ при высоком давлении покидает СВД в точке M15 (-88°C , 8200 кПа) и испаряется через клапан Джоуля-Томпсона Дж-Т-1, проходя далее через точку M17 (170 кПа, -152°C и паровая фракция $X = 0,53$) в СНД. Жидкий СПГ удаляют из СНД посредством M-18 с помощью гравитации в систему для хранения СПГ (при этом следовые твердые частицы $\text{MeOH}/\text{H}_2\text{O}$ фильтруются и удаляются из СПГ), а холодный пар рециркулирующего газа возвращается обратно, действуя как жидкость для переноса тепла, охлаждая поток газа в GGX-2 (от M13 до M-15) и нагревая от M-19 до M20 (от -152°C до -71°C), близкие перепады температуры получают при применении криогенного теплообменника высокого давления. Затем рециркулирующий газ дополнительно нагревают в GGX-1, криогенном теплообменнике низкого давления, до -29°C , чтобы сделать возможным применение некриогенного оборудования для компрессии, которое может быть как возвратно-поступательным, так и центрифужным по мере увеличения установки для сжижения газа.

Насыщенный раствор получают на впуске насоса для насыщенного водного раствора аммиака в точке Aq1 у дна ПАК в переохлажденном состоянии при 50°C или менее и 10,4 мас.% в этом применении. Более теплые внешние условия по сравнению с холодными зимними внешними условиями приводят к снижению общего количества насыщенных и ненасыщенных растворов, применяемых для ПАО с модифицированной абсорбцией. В этом примере концентрация для насыщенного раствора составляет 5 мас.%, а для ненасыщенного - 10,4 мас.%.

ПАК, в которую поступает безводный аммиачный пар из четырех холодильных установок для газа ($\text{NH}_3\text{-CH}_1$, $\text{NH}_3\text{-CH}_2$, $\text{NH}_3\text{-CH}_3$, $\text{NH}_3\text{-CH}_4$), в этом примере работает при 10 кПа в верхней части и температуре переохлаждения ненасыщенного раствора 22°C .

В общем случае, чем меньше внешняя температура или чем доступнее теплопоглотители, тем меньше становится функция охлаждения $\text{NH}_3\text{-CH}_1$, в этом примере, так как HSX-3 не может снизить температуру пути потока в M12a ниже 22°C , его функция минимальна. Более низкая внешняя температура также приводит к снижению рабочей температуры конденсации HSX-2 (конденсатора безводного аммиака). Влияние снижения внешней температуры на модифицированный ПАО и ПАК изображено графически на фиг. 8 (РТХ-диаграмма для рабочего давления абсорбера вплоть до 10 кПа). Более низкое давление конденсации аммиака (HSX-2) и снижение функциональной нагрузки на ненасыщенный водный раствор аммиака ($\text{NH}_3\text{-CH}_1$) обеспечивают возможность для дополнительной оптимизации концентрации и скорости циркуляции насыщенного и ненасыщенного растворов.

Возвращаясь к насосу для насыщенного водного раствора аммиака, давление на выходе из насоса является прямой функцией температуры конденсации (и давления) конденсатора аммиака (HSX-2). В этом примере необходимо давление 950 кПа для Aq-2, в этой точке пути потока происходит переохлаждение 10,4 мас.% насыщенного раствора. Сначала насыщенный раствор попадает на этап рекуперации тепла компрессии, разделяясь параллельно с разделением скоростей потока, пропорциональных функции рекуперации отработанного тепла каждого обменника (WHX-IN, WHX-1, WHX-2), при этом температура повышается от 50°C (Aq2) до $72,5^\circ\text{C}$ (Aq10) при 10,4 мас.% и 940 кПа, при этом насыщенный раствор все еще остается переохлажденным.

Следующей точкой на пути потока является обменник насыщенного/ненасыщенного раствора, в котором насыщенный раствор дополнительно нагревается до 143°C , и в точке Aq12 насыщенный раствор попадает в ректификационную колонну ПАО.

В результате рабочего давления при температуре конденсации 22°C (HSX-2) было рассчитано, что

модифицированная система ПАО в этом примере требует 924 кВт мощности дополнительного тепла, которое может поступать из доступных низкотемпературных потоков рекуперированного отработанного тепла, но для достижения концентрации ненасыщенного раствора 5 мас.% требуется окончательная температура 159°C. Дополнительное отработанное тепло может поступать непосредственно в генератор/уравнительный резервуар или по нагревательному контуру теплообменника для насыщенного раствора.

После обеспечения достаточного количества дополнительного тепла в ректификационной колонне достигается необходимое орошение и движение пара. Дефлегматор DPX требует 436 кВт мощности для охлаждения и достижения температуры 50°C на выходе, что приводит к потоку аммиака, который предположительно является 99,5 мас.% аммиаком на основании принятого коэффициента орошения 2 и концентрации слабо насыщенного раствора 5 мас.% (Aq14).

Ненасыщенный раствор Aq14 переохлаждают в обменнике для ненасыщенного и насыщенного раствора, а температуру снижают от 159 до 85°C (Aq15). В этом примере ненасыщенный раствор дополнительно охлаждают в HSX-1 до 22°C в точке Aq16 пути потока. Переохлажденный 5 мас.% ненасыщенный раствор инжeksiруют в верхнюю часть колонны ПАК, приблизительно на 10,6 м выше всасывающей части насоса насыщенного Aq. Ненасыщенный водный раствор аммиака при 5 мас.% переохлаждают при 22°C, чтобы обеспечить поступление аммиака из NH3-19 в путь потока (при -71°C и 10 кПа) для полного растворения в переохлажденном ненасыщенном растворе и для пребывания в переохлажденном состоянии после учета увеличения температуры из-за тепла раствора и тепла энергии конденсации, а также смешивания энтальпии аммиачных паров и ненасыщенного раствора.

Рабочее давление 10 кПа получают путем заклинивания клапана для быстрого впуска ненасыщенного водного аммиака, тем самым снижая давление всасывающей части насоса в насосе для насыщенного водного аммиака, но поддерживая давление всасывающей части выше NPSHR и переохлажденного ненасыщенного раствора, чтобы гарантировать абсорбцию паров безводного аммиака.

Возвращаясь к точке на пути потока, где пары аммиака (NH3-1) выходят из верхней части DPX, пары продолжают двигаться до конденсатора аммиака (HSX-2). Именно температура конденсации указанного теплообменника устанавливает рабочее давление для стороны насыщенного раствора ПАО. В этом примере HSX-2 потребляет 230 кВт для конденсации необходимого потока аммиачного пара.

После NH3-2 аммиак полностью конденсируется, а на фиг. 7 на диаграмме Моэля для безводного аммиака детализированы термодинамические аспекты этой части изобретения. Аммиак находится при давлении конденсации 900 кПа и температуре 22°C и быстро переводится к соответствующим давлениям для 4 холодильных установок, как изображено на СТП для аспектов изобретения, связанных с модифицированным ПАО и ПАК. Как изображено на фиг. 5, с холодильными установками для аммиака связаны клапаны для спуска NH3 1, 2, 3 и 4. В этом примере в целях упрощения ручных расчетов не используются отводные потоки. Однако на практике может потребоваться приблизительно 5% отводной поток для каждой холодильной установки для аммиака для предотвращения накопления H2O в холодильных установках для аммиака, что может привести к неисправности системы. Реальный отводной поток зависит от чистоты аммиака, производимого ректификационной колонной, которая в этом примере была установлена на равной 99,5% чистоты.

В верхней части ПАК аммиак, поступающий в ПАК, находится на высоте, при температуре и скорости потока массы, которые приводят к получению водного раствора аммиака с увеличивающейся концентрацией и температурой по мере того, как раствор стекает вниз ПАК. Как изображено на фиг. 8, в этом примере РТХ-диаграмма раствора остается переохлажденной для потоков NH3-19 (Aq1 7 24,6°C, 10 кПа, 5,5 мас.%), NH3-15 (Aq 18 28,1°C, 13 кПа, 6,2 мас.%), NH3-11 (Aq19 34,1°C, 30 кПа, 7,3 мас.%) и NH3-6 (Aq20, 49,8°C, 72 кПа, 10,4 мас.%) для четырех холодильных установок газового пути потока. Если в самой низкой точке смешивания (Aq20) возникает перегретый раствор, можно использовать теплообменник HSX-4 для отведения избытка тепла, чтобы переохладить насыщенный водный раствор аммиака перед всасыванием в насос (Aq1) для поддержания необходимого рабочего давления в верхней части ПАК.

В другом примере, изображенном на фиг. 8 и 9, который изображает сжижение воздуха, впускной газ поступает при давлении ниже критической точки. Сжиженный воздух получают, используя испаритель для сжиженного газа, чтобы обеспечить дополнительное охлаждение на пути потока после абсорбционной холодильной установки последней ступени (которая работает при -70°C), чтобы обеспечить достижение условий температуры и давления, которые приводят к тому, что испаряемый газ или газовая смесь имеет необходимые температуру и давление, соответствующие фазовой диаграмме газ-жидкость при определенном качестве "X".

Например, природный газ можно сжижать, используя описанные выше способы, а затем СПГ можно испарять, чтобы обеспечить дополнительное охлаждение потока воздуха вдобавок к охлаждению, обеспечиваемому последней ступенью холодильной установки системы охлаждения с модифицированной абсорбцией. Затем испаренный природный газ может стать исходным материалом для контура сжижения СПГ с применением альтернативного варианта реализации изобретения, как описано выше, или источником газообразного топлива, если установка для сжижения воздуха расположена в месте приме-

нения СПГ в качестве источника топлива. Этот способ может подходить для сжижения газа, требующего очень низких температур (ниже -170°C) сжижения, и минимизации дополнительного оборудования, необходимого для традиционных процессов охлаждения с каскадными многоступенчатыми процессами внешнего охлаждения.

Определения и интерпретация

Все отсылки на температуру и давление в приведенном в данном документе описании следует воспринимать, как модифицируемые термином "около", что означает отклонение на $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ или $\pm 25\%$ от указанного значения. Например, "около" 50% в некоторых вариантах реализации изобретения может включать отклонение от 45 до 55%. В случае числовых диапазонов термин "около" может включать одно или два числа, больше и/или меньше указанного числового значения с каждой стороны диапазона. Если в данном документе не указано иное, считается, что термин "около" включает значения и диапазоны, близкие к указанному диапазону, которые являются эквивалентными в контексте функциональности описываемой композиции или варианта реализации изобретения. Термин "около" также может отображать любую неточность инструментов, устройств или способов, применяемых для измерения указанного значения.

Как понятно для специалистов в данной области техники, можно осуществлять различные модификации, адаптации и вариации вышеприведенного описания изобретения, не отступая от объема заявляемого в данном документе изобретения. Различные элементы изобретения, описанные в данном документе, можно комбинировать отличным от конкретных описанных или заявляемых в данном документе примеров образом, не отступая от объема изобретения. Другими словами, любой элемент или признак можно комбинировать с любым другим элементом или признаком в разных вариантах реализации изобретения, если не имеется очевидной или закономерной несовместимости между ними или если они явным образом не исключены.

Форма единственного числа включает множественные отсылки, если иное четко не следует из контекста. Таким образом, например, отсылка на "установку" включает множество таких установок. Дополнительно следует отметить, что пункты формулы изобретения могут быть составлены так, чтобы исключить любой необязательный элемент. Следовательно, это утверждение должно служить основанием для применения исключающей терминологии, такой как "исключительно", "только" и т.д., в связи с перечислением заявляемых элементов или применения "отрицательного" ограничения. Термины "предпочтительно", "предпочтительный", "предпочитать", "необязательно", "может" и подобные термины используются для указания того, что предмет, условие или этап, на который приводится ссылка, является необязательным (не необходимым) признаком изобретения.

Термин "и/или" означает любой из предметов, любую комбинацию предметов или все предметы, с которыми связан этот термин. Выражение "один или более" понятно специалисту в данной области техники, в частности, при употреблении в контексте его применения.

Как понятно специалисту в данной области техники, все числовые значения, включая выражающие количества реагентов или ингредиентов, свойства, такие как молекулярная масса, условия реакции и так далее, являются приближениями и считаются необязательно модифицируемыми во всех случаях термином "около". Эти значения могут варьироваться в зависимости от необходимых свойств, предполагаемых для получения специалистами в данной области техники с помощью идей приведенного в данном документе описания. Также понятно, что такие значения закономерно содержат вариабельность, обязательно возникающую вследствие стандартных отклонений во время проведения соответствующих измерений.

Как понятно специалисту в данной области техники, в любых и во всех целях, в частности, в контексте обеспечения письменного описания, все перечисленные в данном документе диапазоны также включают все возможные поддиапазоны и комбинации поддиапазонов, а также отдельные значения, составляющие диапазон, в частности, целые значения. Перечисленные диапазоны (например, массовые проценты или группы углерода) включают каждое отдельное значение, целое число, десятичную дробь или тождественное равенство в пределах диапазона. Любой приведенный диапазон может считаться в достаточной мере описывающим и включающим такой же диапазон, поделенный по меньшей мере на одинаковые половины, трети, четверти, пятые или десятые части. В качестве неограничивающего примера каждый обсуждаемый в данном документе диапазон можно легко разделить на нижнюю треть, среднюю треть и верхнюю треть и т.д.

Как также понятно специалисту в данной области техники, все выражения, такие как "до", "по меньшей мере", "больше чем", "меньше чем", "более", "или более" и т.д., включают указанное число, и такие термины относятся к диапазонам, которые впоследствии могут быть разбиты на поддиапазоны, как обсуждалось выше. Точно так же все перечисленные в данном документе отношения также включают все промежуточные отношения, входящие в более широкое отношение. Соответственно, конкретные значения, приведенные для радикалов, заместителей и диапазонов предназначены исключительно для иллюстрации; они не исключают других определенных значений или других значений в пределах определенных диапазонов для радикалов и заместителей.

Специалисту в данной области техники также понятно, что когда элементы сгруппированы вместе

общим образом, как в случае группы Маркуша, изобретение включает не только всю группу, приведенную как одно целое, но также каждого представителя группы отдельно и возможные подгруппы основной группы. Кроме того, во всех целях, изобретение включает не только основную группу, но также основную группу с отсутствующим одним или более представителями группы. Следовательно, изобретение предусматривает однозначное исключение любого одного или более представителей приведенной группы. Соответственно, к любой из раскрытых категорий или вариантов реализации можно применять условие, подразумевающее, что любой один или большее количество из перечисленных элементов, видов или вариантов реализации может быть исключен из таких категорий или вариантов реализации, например, как в случае применения однозначного отрицательного ограничения.

Таблица 1

Название потока-Сжатый-Контур метана	M1	M2	M2a	M3	M3a	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Давление (кПа)	170	650	600	650	600	600	2200	2100	8600	8520	8500	8450	8400
Температура (°C)	17	123	65	69	32	47	157	47	160	47	22	22	22
Плотность пара (кг/м³)	102	3.3	3.25	3.9	4	3.7	10.5	12.5	38	57	61	61	61
Плотность жидкости (кг/м³)													
Доля пара	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MeOH (% мас. от жидкости)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Энтальпия (кДж/кг)	892	1140	995	1005	920	955	1220	940	1200	885	820	820	820
Приблизительная масса в кг с 28,3 едм³/д-изходом													
С1 (0,98 моль сух. об.) (кг/д)	18500	18500	18500	20860	20860	39360	39360	39360	39360	39360	39360	39360	39360
CO ₂ (0,02 моль сух. об.) (кг/д)	575	575	575	0	0	575	575	575	575	575	575	0.5	0.5
H ₂ O (пар) (кг/д)	250	250	250	0	0	250	250	250	250	18	18	18	3.9
H ₂ O (жидкость) (кг/д)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	232	0	0	0
MeOH (кг/д)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Оценка общего потока массы (кг/д)	19325	19325	19325	20860	20860	40185	40185	40185	40185	40185	39953	39379	39364
Поток массы (кг/с)	0.224	0.224	0.224	0.241	0.241	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465	0.462	0.456	0.456

Название потока-Сжатый-Контур метана	M12	M12a	M12b	M12c	M12d	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21
Давление (кПа)	8400	8300	8275	8200	8225	8200	8200	8200	8200	200	200	200	185	170
Температура (°C)	22	22	-39	-54	-64	-70	-88	-88	-88	-152	-152	-152	-70	-29
Плотность пара (кг/м³)	61	61	105	155	205	245	300	300	300	410	410	3.3	16	1.3
Плотность жидкости (кг/м³)														
Доля пара	1	1	1	1	1	0.939	0.939	1	0	0.53	0	1	1	1
MeOH (% мас. от жидкости)	0	0	0	0	0	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0	0	0
Энтальпия (кДж/кг)	820	820	610	500	435	385	290	265		285	30	525	705	790
Приблизительная масса в кг с 28,3 едм³/д-изходом														
С1 (0,98 моль сух. об.) (кг/д)	39360	39360	39360	39360	39360	39360	39360	39360	0	39360	18500	20860	20860	20860
CO ₂ (0,02 моль сух. об.) (кг/д)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0
H ₂ O (пар) (кг/д)	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	0.04	0.04	0.04	0	0.04	0.04	0	0	0
H ₂ O (жидкость) (кг/д)	0	0	0	0	0	3.86	3.86	0	3.86	0	0	0	0	0
MeOH (кг/д)	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	0.12	11.58	0.12	0.12	0	0	0
Оценка общего потока массы (кг/д)	39376.1	39376	39376	39376	39376	39376	39376	39361	15.44	39361	18500.66	20860	20860	20860
Поток массы (кг/с)	0.456	0.456	0.456	0.456	0.456	0.456	0.456	0.456	0.000	0.458	0.214	0.241	0.241	0.241

Название потока-Абсорб. охладж.-Аq-N	Aq1	Aq2	Aq3	Aq4	Aq5	Aq6	Aq7	Aq8	Aq9	Aq10	Aq11	Aq12	Aq13	Aq14
Давление (кПа)	110	950	950	950	950	950	940	940	940	940	940	900	900	910
Температура (°C)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	72.5	72.5	72.5	72.5	143.0	50.0	50.0	160.0
Температура (°F)	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	162.5	162.5	162.5	162.5	289.4	122.0	122.0	320.0
Переохлажденный	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да
Насыщенный														
Перегретый														
% мас. раствора водн. NH ₃	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104		0.560	0.050
Плотность раствора водн. NH ₃	937													
Общая энтальпия вод. смеси (кДж/кг) (прям. 1)	126	126	126	126	126	126	225	225	225	225	527		7	638
Общая энтальпия вод. смеси (БТЕ/фунт) (прям. 1)	54	54	54	54	54	54	98	98	98	98	227		3	275
Приблизительная масса в кг с 28,3 едм³/д-изходом														
Масса раств. водн. аммиака (кг/с)	3.1715	15030	16685	13350	0.3330	0.3330	1.3350	15030	3.1715	3.1715				2.9900
Масса пара водн. аммиака (кг/с)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000				0.0000
Общая масса водн. аммиака (кг/с)	3.1715	3.1715	15030	16685	1.3350	0.3330	1.3350	15030	3.1715	3.1715				2.9900

Название потока-Абсорб. охладж.-Контур Aq-NH3	Aq15	Aq16	Aq17	Aq18	Aq19	Aq20
Давление (кПа)	890	860	10	13	30	72
Температура (°C)	85.0	22.0	24.6	28.1	34.1	49.8
Температура (°F)	185.0	71.6	76.3	82.6	93.4	121.6
Переохлажденный	да	да	да	да	да	да
Насыщенный						
Перегретый						
% мас. раствора водн. NH ₃	0.050	0.050	0.055	0.062	0.073	0.104
Плотность раствора водн. NH ₃						
Общая энтальпия вод. смеси (кДж/кг) (прям. 1)	319	55	58	99	74	125
Общая энтальпия вод. смеси (БТЕ/фунт) (прям. 1)	137	15	25	17	32	54
Приблизительная масса в кг с 28,3 едм³/д-изходом						
Масса раств. водн. аммиака (кг/с)	2.9900	2.9900	3.0058	3.0274	3.0663	3.1715
Масса пара водн. аммиака (кг/с)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Общая масса водн. аммиака (кг/с)	2.9900	2.9900	3.0058	3.0274	3.0663	3.1715

Название потока-Абсорб. охладж.-Контур NH3	NH3-1	NH3-2	NH3-3	NH3-4	NH3-5	NH3-6	NH3-7	NH3-8	NH3-9	NH3-10	NH3-11	NH3-12	NH3-13	NH3-14
Давление (кПа)	900	900	72	72	72	72	72	30	30	30	30	30	13	13
Температура (°C)	50.0	22.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-55.0	-55.0	-55.0	-55.0	-55.0	-65.0	-65.0
Температура (°F)	122.0	71.6	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-40.0	-67.0	-67.0	-67.0	-67.0	-67.0	-85.0	-85.0
Переохлажденный														
Насыщенный	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да	да
Перегретый														
Доля пара чистого аммиака (95,5% мас.)	1	0	0.2	0.35	1	1	0	0.85	0.098	1	1	0	0.06	1
Плотность пара (кг/м³)	5.7		0.61	0.61	0.61	0.61		0.27	0.27	0.27	0.27		0.13	0.13
Плотность жидкости (кг/м³)			610	685	685		685	710	710			710	715	
Энтальпия NH3-I (кДж/кг, из диагр. Моппе)			440	160	160		160	95	95			95	50	
Энтальпия NH3-ч (кДж/кг, из диагр. Моппе)	1705		1550	1550	1550	1550		1525	1525	1525	1525	1510	1510	1510
Скорр. энтальпия NH3-I (кДж/кг) - 1938		92	-188	-188			-188	-253	-253			-253		
Скорр. энтальпия NH3-ч (кДж/кг) - 1938	1357		1202	1202	1202	1202		1177	1177	1177	1177		1162	1162
Приблизительная масса в кг с 28,3 едм³/д-изходом														
Масса NH3-I (кг/с)		0.1815	0.1452	0.0689	0.0000	0.0000	0.0763	0.0725	0.0351	0.0000	0.0000	0.0374	0.0203	0.0000
Масса NH3-ч (кг/с)	0.1815		0.0353	0.0563	0.1052	0.1052	0.0000	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0000	0.0013	0.0216
Общая масса NH3 (кг/с)	0.1815	0.1815	0.1815	0.1052	0.1052	0.1052	0.0763	0.0763	0.0389	0.0038	0.0038	0.0374	0.0216	0.0216

Название потока-Абсорб. охладж. контур NH3	NH3-15	NH3-16	NH3-17	NH3-18	NH3-19
Давление (кПа)	13	13	10	10	10
Температура (°C)	-65	-65	-71	-71	-71
Переохлажденный					
Насыщенный	да	да	да	да	да
Перегретый					
Доля пара чистого аммиака	1	0	0.018	1	1
Плотность пара (кг/м³)	0.13		0.1	0.1	0.1
Плотность жидкости (кг/м³)		715	725		
Энтальпия NH3-I (кДж/кг, из диатр. Моле)		50	30		
Энтальпия NH3-ч (кДж/кг, из диатр. Моле)	1510		1506	1500	1500
Свояр. энтальпия NH3-I (кДж/кг) - 1938 (Прим. 2)		-298	-318		
Свояр. энтальпия NH3-ч (кДж/кг) - 1938 (Прим. 2)	1162		1152	1152	1152
Приблизительная масса в кг с 28,3 едм³/ед-выходом					
Масса NH3-I (кг/с)	0.0000	0.0158	0.0155	0.0000	0.0000
Масса NH3-ч (кг/с)	0.0215	0.0000	0.0000	0.0158	0.0158
Общая масса NH3 (кг/с)	0.0215	0.0158	0.0155	0.0158	0.0158

Прим. 1 - Энтальпия для воды, аммиака из 1938 - Jennings and Shannon Tables - Lehigh University
Bethlehem, Pennsylvania

Прим. 2 - (до нуля (кДж/кг) диатр. Моле безводн. аммиака и табл. воды, аммиака 1938 - 348

Название оборудования	IAQR/ptp	DPK	AqRUX Trim-Heat	WHX-1	WHX-2
Общий поток массы (кг/с)	3.172		2.990	0.455	0.455
Изменение энтальпии (кДж/кг)			-319	-280	-315
Тепло вход/выход (кВт)		-436	-954	-130	-147
Работа вход/выход (кВт)	10				

Название оборудования	WHX-IN	COMP-IN	STG-1	STG-2	STG-3
Общий поток массы (кг/с)	0.224	0.224	0.241	0.455	0.455
Изменение энтальпии (кДж/кг)	-145	248	215	265	260
Тепло вход/выход (кВт)	-32				
Работа вход/выход (кВт)		55	52	123	121

Название оборудования	HSX-1	HSX-2	HSX-3	HSX-4	HSX-5
Общий поток массы (кг/с)	2.990	0.182	0.455	3.172	0.452
Изменение энтальпии (кДж/кг)	-264	-1253	0	0	-65
Тепло вход/выход (кВт)	-849	-230	0	0	-30
Работа вход/выход (кВт)					

Название оборудования	NH3-CH1	NH3-CH2	NH3-CH3	NH3-CH4	GGX-1	GGX-2
Общий поток массы (кг/с)	0.456	0.456	0.456	0.456	0.241	0.241
Изменение энтальпии (кДж/кг)	-210	-110	-65	-50	85	180
Тепло вход/выход (кВт)	-96	-50	-30	-23	21	43
Работа вход/выход (кВт)						

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ сжижения газа с использованием системы сжижения газа, включающий следующие последовательные этапы:

- получают впускной газ, имеющий впускное давление, на ступени получения газа;
- охлаждают газ, полученный на этапе (а), на ступени охлаждения, содержащей контур абсорбционного охлаждения с помощью по меньшей мере одного абсорбционного холодильника;
- осуществляют адиабатическое снижение давления охлажденного газа в ступени сжижения с помощью клапана Джоуля-Томсона для сжижения по меньшей мере части газа;
- нагревают насыщенный водно-аммиачный флюид в ректификаторе для выделения аммиачного газа, при этом получая ненасыщенный водно-аммиачный флюид;
- осуществляют переохлаждение ненасыщенного водно-аммиачного флюида и его циркуляцию к верхней части пароабсорбционной колонны (ПАК);
- осуществляют конденсацию аммиачного газа, полученного в ректификаторе, и мгновенное выпаривание жидкого аммиака для получения охлажденного аммиачного газа для применения по меньшей мере в одном абсорбционном холодильнике;
- осуществляют абсорбцию аммиачного газа, отведенного по меньшей мере из одного абсорбционного холодильника ненасыщенным водно-аммиачным флюидом в ПАК, для получения насыщенного водно-аммиачного флюида, подаваемого на этап (d) при поддержании рабочего давления в верхней части ПАК ниже атмосферного с помощью зажатия испарительного клапана, регулирующего циркуляцию ненасыщенного водно-аммиачного флюида к верхней части ПАК, тем самым снижая давление всасывающей части насоса в насосе для отвода насыщенного водно-аммиачного флюида из ПАК, поддерживая при этом давление всасывающей части выше эффективного положительного напора, требуемого на всасывании для работы насоса, для гарантирования абсорбции паров безводного аммиака.

2. Способ по п.1, при том, что газ частично сжижен на этапе (с), дополнительно включает этапы, на которых удаляют сжиженный газовый продукт и осуществляют рециркуляцию оставшегося газа в контуре рециркуляции пара, который охлаждает поток газа перед адиабатическим снижением давления, после чего газ компрессируют и смешивают с потоком впускного газа.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что впускной газ содержит промышленный газ или углеводородный газ, или любую смесь промышленных или углеводородных газов.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что газ на этапе (а) дополнительно компрессируют ниже критической точки газа, при этом достигается температура сжижения газа выше чем -71°C перед адиабатическим расширением.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что газ на этапе (а) дополнительно компрессируют выше критической точки газа, при этом достигается температура сжижения газа около -71°C перед адиабатическим расширением.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере один абсорбционный холодильник содержит выпуск для жидкого потока для предотвращения повышения концентрации воды в аммиачном хладагенте.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что рабочее давление, которое ниже атмосферного, в верхней части ПАК поддерживают за счет использования достаточной массы переохлажденного ненасыщенного водно-аммиачного флюида в точке смешивания паров безводного аммиака и ненасыщенного водно-аммиачного флюида, чтобы дать возможность газообразному аммиаку полностью раствориться в переохлажденном водно-аммиачном флюиде в ПАК.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что некоторое количество или все тепло растворения и тепло

энергии конденсации смешивания паров безводного аммиака и ненасыщенного водно-аммиачного флюида рекупируют в ПАК.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что рекуперацию тепла в ПАК обеспечивают за счет гидростатического напора и предварительного охлаждения сырьевого потока ненасыщенного водного аммиака ПАК.

10. Способ по п.1, дополнительно включающий этапы, на которых охлаждают охлажденный поток газа с этапа (b) с помощью теплообменников газ/газ для дополнительного снижения температуры потока газа перед этапом (c).

11. Способ по п.1, дополнительно включающий этап, на котором обезвоживают газ после компрессии и перед поступлением в абсорбционный холодильник.

12. Способ по п.11, отличающийся тем, что газ обезвоживают путем добавления в путь потока спирта в достаточном количестве и осуществляют последующую конденсацию спирта и воды перед этапом адиабатического снижения давления.

13. Способ по п.1, отличающийся тем, что сжиженный газ фильтруют после адиабатического снижения давления для удаления каких-либо твердых частиц из сжиженного газового продукта.

14. Способ по п.1, дополнительно включающий следующий непоследовательный этап: охлаждают второй газ с применением теплообменника с испарителем сжиженного газа с использованием сжиженного газа.

15. Система сжижения газа для осуществления способа по п.1, содержащая ступень получения для получения впускного газа, ступень охлаждения, содержащую контур абсорбционного охлаждения для охлаждения газа, а также

ступень сжижения, содержащую клапан Джоуля-Томсона, по меньшей мере, для частичного сжижения газа,

при этом контур абсорбционного охлаждения содержит:

(i) по меньшей мере один абсорбционный холодильник для охлаждения газа;

(ii) ректификатор для высвобождения газообразного аммиака из насыщенного водно-аммиачного флюида для получения ненасыщенного водно-аммиачного флюида и

(iii) пароабсорбционную колонну (ПАК) для абсорбции газообразного аммиака, отведенного по меньшей мере из одного абсорбционного холодильника ненасыщенным водно-аммиачным раствором для получения насыщенного водно-аммиачного раствора;

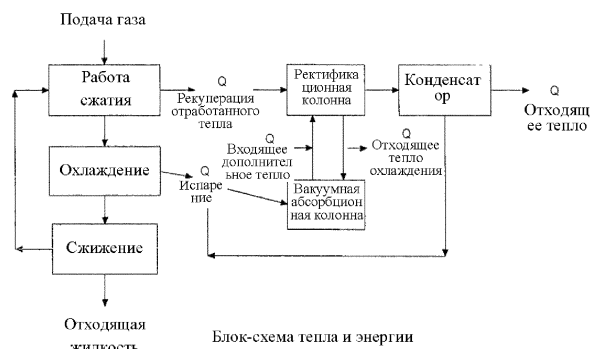
(iv) испарительный клапан для регулирования циркуляции ненасыщенного водно-аммиачного флюида от ректификатора к верхней части ПАК; а также

(v) насос для удаления насыщенного водно-аммиачного флюида из ПАК;

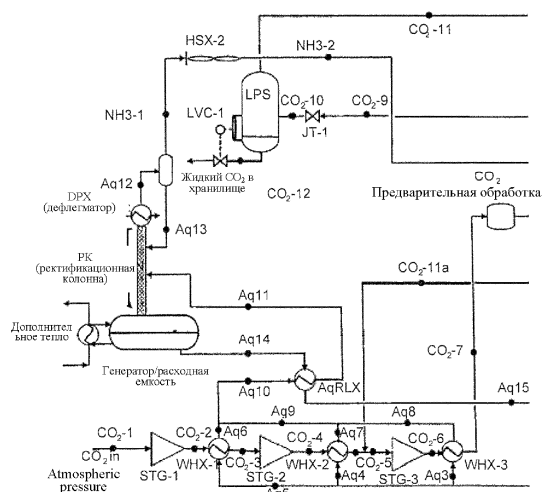
при этом испарительный клапан выполнен с возможностью быстрого впуска ненасыщенного водно-аммиачного флюида, чтобы снизить давление всасывающей части насоса для отвода насыщенного водно-аммиачного флюида, и при этом поддерживать давление всасывающей части выше эффективного положительного напора, требуемого на всасывании для работы насоса, отводящего насыщенный водно-аммиачный флюид, чтобы поддерживать в верхней части ПАК давление ниже атмосферного.

16. Система по п.15, дополнительно содержащая ступень компрессии для компрессии газа и ступень рекуперации энергии компрессии для переноса тепла от ступени компрессии к контуру абсорбционного охлаждения.

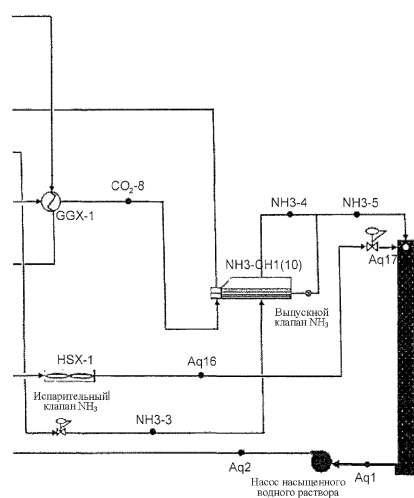
17. Система по п.16, дополнительно содержащая ступень рециркуляции газа для рециркуляции не-сжиженных компонентов газа в контуре рециркуляции пара с низким давлением, при этом указанный контур дополнительно охлаждает сжатый и охлажденный газ, который затем направляется на ступень компрессии.



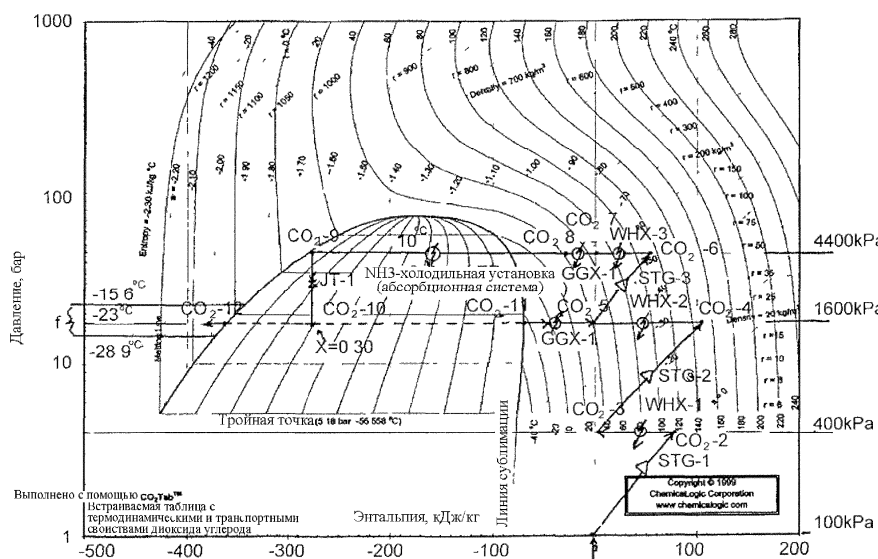
Фиг. 1



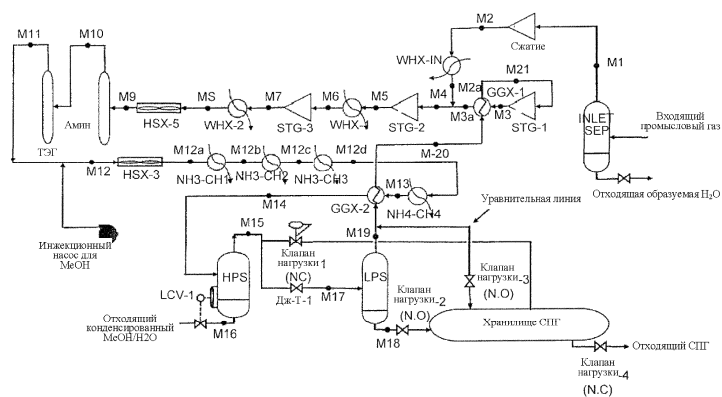
Фиг. 2А



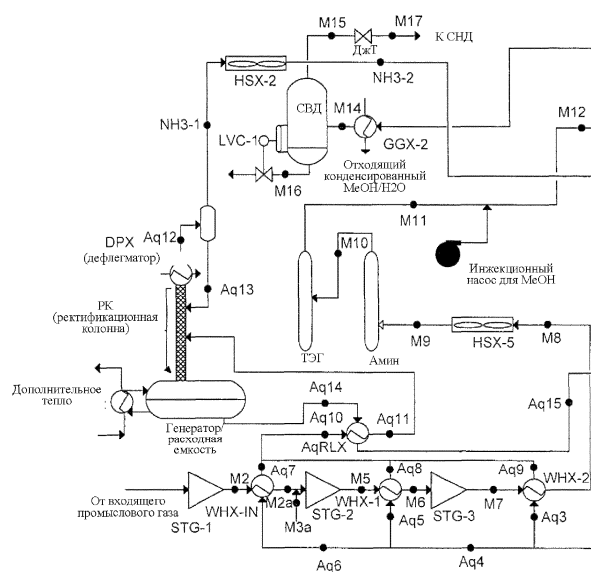
Фиг. 2В



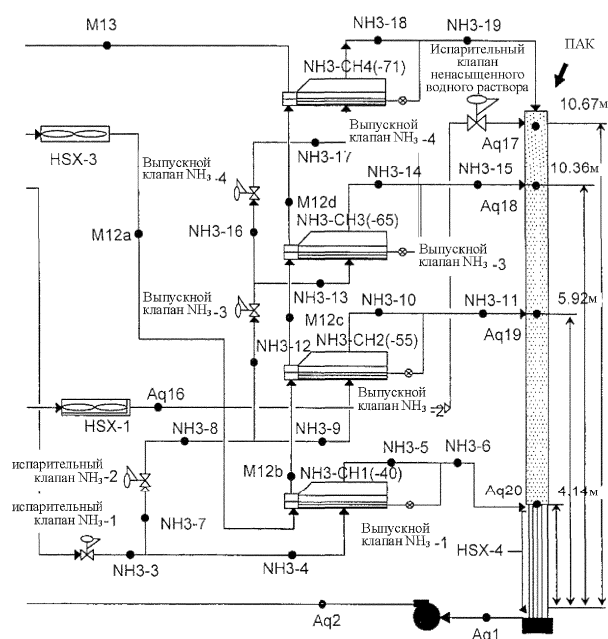
Фиг. 3



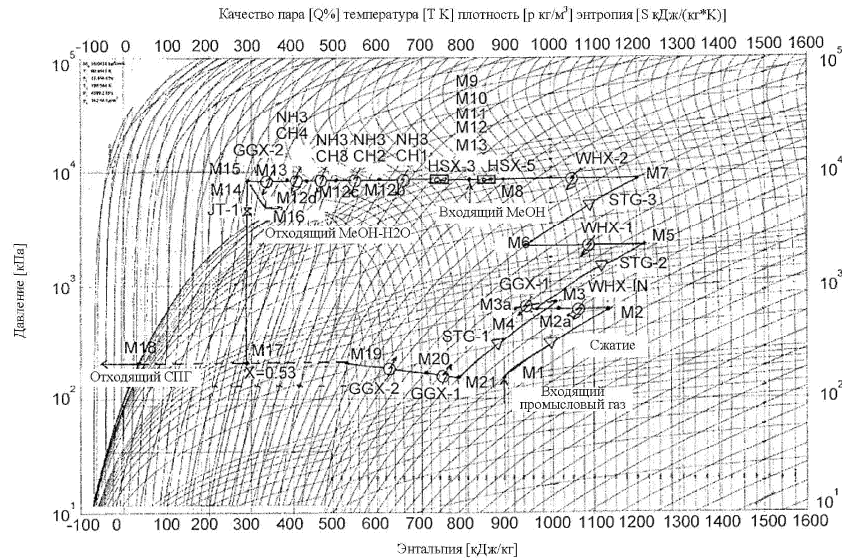
Фиг. 4



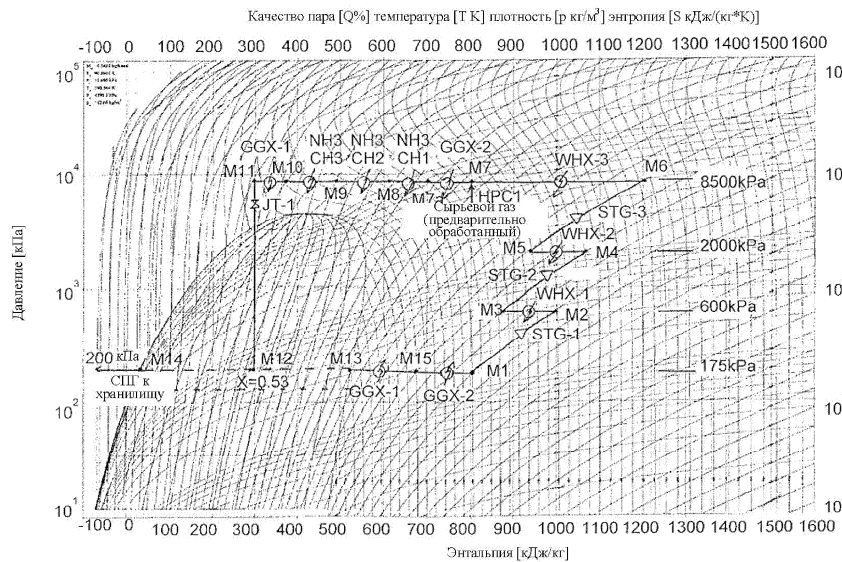
Фиг. 5A



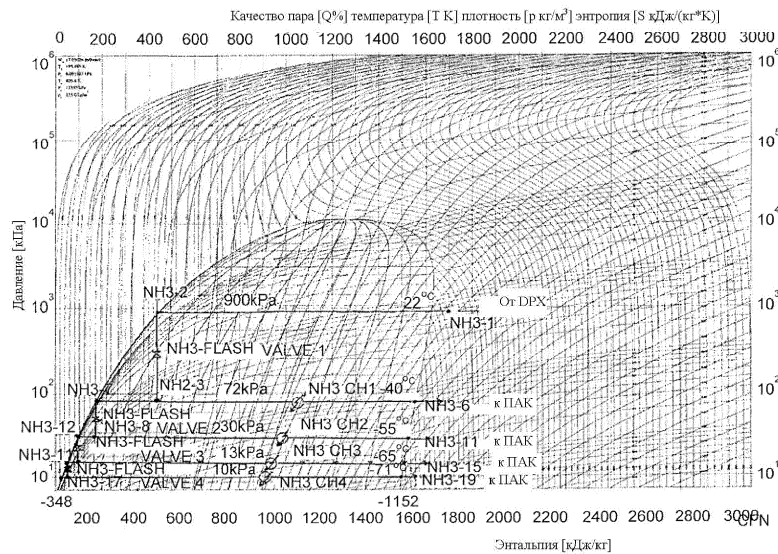
Фиг. 5B



Фиг. 6А



Фиг. 6В



Фиг. 7

