

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035364**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.06.02

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

(21) Номер заявки
201790168

(22) Дата подачи заявки
2017.02.09

**(54) СПОСОБ ИЗБЕЖАНИЯ МГНОВЕННОГО ИСПАРЕНИЯ СЖИЖЕННОГО
ПРИРОДНОГО ГАЗА ВО ВРЕМЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ**

(31) 16 51331
(32) 2016.02.18
(33) FR
(43) 2017.08.31

(56) RU-C2-2576410
RU-C2-2406949
EA-B1-020215
RU-C1-2137066

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
Л'ЭР ЛИКИД, СОСЬЕТЕ
АНОНИМ ПУР Л'ЭТЮД Э
Л'ЭКСПЛУАТАСЬОН ДЕ ПРОСЕДЕ
ЖОРЖ КЛОД (FR)

(72) Изобретатель:
Шамброн Николя, Жоли Лоик (FR)

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

(57) Предложен способ устранения испарения потока (26) сжиженного природного газа во время его транспортировки в хранилище, включающий следующие этапы: этап а) - сжижение потока (1) природного газа и потока (8) азота в основном теплообменнике (2) посредством цикла (7) охлаждения; этап b) - охлаждение потока (6) сжиженного природного газа, полученного на этапе а), во втором теплообменнике (15) за счет циркуляции указанного потока (6) сжиженного природного газа в противотоке по отношению к потоку (14) жидкого азота, который испаряется при одновременном охлаждении указанного потока сжиженного природного газа; отличающийся тем, что поток (14) жидкого азота, используемый на этапе b), получен на этапе а).

035364 B1

035364 B1

Настоящее изобретение относится к способу устранения испарения потока сжиженного природного газа во время его транспортировки в хранилище.

В частности, важно избежать испарения сжиженного природного газа во время его транспортировки от установки для сжижения к хранилищу, при этом сжиженный природный газ обладает способностью испаряться в большей или меньшей степени легко во время его транспортировки в зависимости от температуры, а также от содержания азота в нем.

В типовых установках для сжижения природного газа, в которых используется цикл со смесью холодильных агентов, потоки холодильных агентов используются для производства холода на разных уровнях основного теплообменника за счет испарения в противотоке по отношению к потоку углеводородов, подлежащих сжижению (как правило, природного газа). Смесью холодильных агентов, как правило, представляет собой смесь, содержащую углеводороды. Поток холодильного агента с равным успехом может представлять собой поток азота.

Желательно сжижать природный газ по определенному ряду причин. В качестве примера природный газ может храниться и транспортироваться на длинные расстояния в жидком состоянии легче, чем в газообразном виде, поскольку он занимает значительно меньший объем при заданной массе и не требует хранения при высоком давлении.

Известен ряд способов сжижения потока природного газа для получения сжиженного природного газа (СПГ).

Известно осуществление хранения и транспортировки определенных газов в жидком виде при очень низкой температуре (как правило, ниже -160°C) и под давлением, близким к атмосферному давлению. Тем не менее, резервуары, в которых данные сжиженные газы хранятся и транспортируются, не могут быть полностью и идеально изолированы, следовательно, они подвергаются воздействию потерь тепла.

Результатом этого является испарение жидкости, которое приводит к избыточному давлению в резервуарах, которое вследствие того, что оно быстро становится неприемлемым, требует отвода испарившегося газа.

Следовательно, должны были быть предусмотрены различные решения данной проблемы испарения, в частности во время транспортировки данного сжиженного газа. Таким образом, на танкерах, предназначенных для перевозки сжиженных природных газов и оснащенных движительной установкой, работающей на паре, отпарной газ отводят из резервуаров для хранения, подогревают и сжигают в котлах, которые обеспечивают непосредственную подачу в контур циркуляции пара, который обеспечивает приведение гребного винта танкера в движение посредством соответствующего редуктора.

К сожалению, в настоящее время существует тенденция к исчезновению движительных установок, работающих на паре, и они все в большей степени заменяются способами приведения в движение, которые являются более энергоэффективными, такими как приведение в движение посредством дизельных установок. Также существуют различные проекты, которые направлены на обработку отпарных газов независимо от приведения танкера в движение посредством устройств, для которых характерна тенденция устранения данного испарения другими средствами.

Например, известно повторное сжижение отпарных газов и последующее повторное введение их в резервуар, из которого они вышли. Однако данный способ влечет за собой использование установки для повторного сжижения, которая является еще более сложной и дорогой, поскольку хранящиеся и транспортируемые сжиженные газы, как правило, не являются чистыми, и поэтому их пары содержат неконденсирующиеся компоненты, которые должны быть подвергнуты особой обработке и сбросу в атмосферу, что является недостатком с точки зрения безопасности и защиты окружающей среды.

Содержание азота в природном газе представляет собой основной параметр для определения (при давлении в хранилище) необходимой равновесной температуры, то есть температуры, которая должна быть обеспечена для избежания испарения сжиженного природного газа.

Когда содержание азота является высоким, равновесная температура сжиженного природного газа при заданном давлении будет более низкой.

Нижеприведенная таблица иллюстрирует требуемый уровень равновесной температуры в зависимости от содержания азота в потоке сжиженного природного газа.

Содержание азота в природном газе (% по объему)	Равновесная температура при атмосферном давлении ($^{\circ}\text{C}$)
0	$-161,3$
5	$-172,5$
10	$-179,2$
15	$-183,1$

Если равновесная температура не достигается за счет переохлаждения сжиженного природного газа, будет происходить испарение сжиженного природного газа, что будет приводить к значительной потере природного газа и, следовательно, энергии.

Другой аспект проблемы, которая должна быть решена, заключается в изменении содержания азота в природном газе с течением времени. Для широких диапазонов содержания азота должны быть отрегулированы различные равновесные температуры, чтобы избежать испарения природного газа. Это может привести к отклонениям параметров процесса, используемого в установке для сжижения природного газа, что приводит к потере эффективности или даже к невозможности функционирования.

Авторы настоящего изобретения разработали решение, которое обеспечивает возможность решения проблем, поднятых выше, при одновременной оптимизации затрат энергии.

Предметом настоящего изобретения является способ устранения испарения потока сжиженного природного газа во время его транспортировки в хранилище, включающий следующие этапы:

этап а) - сжижение потока природного газа и потока азота в основном теплообменнике посредством цикла охлаждения;

этап б) - охлаждение потока сжиженного природного газа, полученного на этапе а), во втором теплообменнике за счет циркуляции указанного потока сжиженного природного газа в противотоке по отношению к потоку жидкого азота, который испаряется при одновременном охлаждении указанного потока сжиженного природного газа;

отличающийся тем, что поток жидкого азота, используемый на этапе б), получен на этапе а).

В соответствии с другими вариантами осуществления настоящее изобретение относится к:

способу, подобному описанному выше, отличающемуся тем, что поток азота, полученный на этапе б), подается в цикл охлаждения, используемый на этапе а), после охлаждения потока сжиженного природного газа за счет того, что он вводится на самом холодном уровне указанного основного теплообменника и затем за счет циркуляции в противотоке по отношению к потокам, подлежащим сжижению во время этапа а), доходит до самого горячего уровня указанного основного теплообменника, где указанный поток азота испаряется;

способу, подобному описанному выше, отличающемуся тем, что по меньшей мере одна часть указанного потока испарившегося азота образует поток азота, подлежащий сжижению в основном теплообменнике, используемом на этапе а);

способу, подобному описанному выше, включающему этап с) - расширение потока жидкого азота, полученного на этапе а), после выхода из основного теплообменника на его самом холодном уровне и последующее введение указанного расширенного таким образом потока во второй теплообменник во время этапа б);

способу, подобному описанному выше, отличающемуся тем, что поток жидкого азота, полученный на этапе а), подвергают переохлаждению во втором теплообменнике перед этапом с);

способу, подобному описанному выше, отличающемуся тем, что цикл охлаждения представляет собой азотный цикл типа Turbo-Brayton;

способу, подобному описанному выше, отличающемуся тем, что природный газ, введенный на этапе а), содержит по меньшей мере 50 об.% метана;

способу, подобному описанному выше, отличающемуся тем, что охлажденный сжиженный природный газ, полученный на этапе б), транспортируют в хранилище;

способу, подобному описанному выше, отличающемуся тем, что параметры цикла охлаждения регулируют во время процесса в зависимости от температуры, заданной для потока сжиженного природного газа, получаемого на этапе б), и в зависимости от состава указанного потока природного газа;

способу, подобному описанному выше, отличающемуся тем, что параметры цикла охлаждения регулируют во время процесса в зависимости от содержания азота в указанном потоке природного газа;

способу, подобному описанному выше, отличающемуся тем, что поток природного газа, подлежащий сжижению, вводят во время этапа а) на самом горячем уровне основного теплообменника и выпускают в жидком виде на самом холодном уровне указанного основного теплообменника, затем вводят во время этапа б) на самом горячем уровне второго теплообменника и затем выпускают на самом холодном уровне указанного второго теплообменника.

Несмотря на то, что способ в соответствии с настоящим изобретением может быть применен к различным потокам углеводородного сырья, он особенно подходит для потоков природного газа, подлежащих сжижению. Кроме того, специалист в данной области техники легко поймет, что после сжижения сжиженный природный газ при желании может быть подвергнут дополнительной обработке.

Поток углеводородов, подлежащий сжижению, как правило, представляет собой поток природного газа, полученный из резервуаров для природного газа или нефти.

В альтернативном варианте поток природного газа может быть также получен из другого источника, включая также процесс синтеза, такой как процесс синтеза Фишера-Тропша.

Обычно поток природного газа состоит в основном из метана. Подаваемый поток предпочтительно содержит по меньшей мере 60 мол.% метана, предпочтительно по меньшей мере 80 мол.% метана.

В зависимости от источника природный газ может содержать некоторые количества углеводородов, более тяжелых, чем метан, таких как этан, пропан, бутан и пентан, а также определенные ароматические углеводороды. Поток природного газа может также содержать продукты, не являющиеся углеводородами, такие как H_2O , N_2 , CO_2 , H_2S и другие серосодержащие соединения, и другие продукты.

Подаваемый поток, содержащий природный газ, может быть подвергнут предварительной обработке перед вводом в основной теплообменник. Данная предварительная обработка может включать уменьшение содержания и/или удаление нежелательных компонентов, таких как CO_2 и H_2S , или другие этапы, такие как предварительное охлаждение и/или повышение давления. С учетом того, что данные меры хорошо известны специалисту в данной области техники, они не описаны подробно в данном документе.

Выражение "природный газ", используемое в настоящей заявке, относится к любой смеси, содержащей углеводороды, включая, по меньшей мере, метан. Данная смесь включает "сырую" смесь (перед какой-либо обработкой, такой как очистка или мокрая очистка), а также любую смесь, которая была частично, в основном или полностью подвергнута обработке для уменьшения содержания и/или удаления одного или более соединений, включая серу, диоксид углерода, воду и углеводороды, имеющие два или более атомов углерода, но возможные соединения не ограничены вышеуказанными. Сепаратор может представлять собой любую установку, колонну или устройство, пригодную (пригодное) для разделения смеси холодильных агентов на поток парообразного холодильного агента и поток жидкого холодильного агента. Подобные сепараторы известны в предшествующем уровне техники и не описаны подробно в данном документе.

Теплообменник, задействованный в изобретении, предпочтительно представляет собой пластинчатый теплообменник, но может представлять собой любую колонну, установку или другое устройство, пригодную (пригодное) для обеспечения возможности прохождения определенного числа потоков и, таким образом, обеспечивающую (обеспечивающее) возможность прямого или непрямого теплообмена между одним или более трубопроводами для холодильных агентов и одним или более подаваемыми потоками.

Предложенное решение имеет следующие преимущества:

позволяет избежать испарения сжиженного природного газа во время транспортировки в хранилище; обеспечивает возможность регулирования температуры сжиженного природного газа в зависимости от колебаний содержания азота без изменения параметров процесса сжижения природного газа.

С этой целью жидкий азот используется для переохлаждения сжиженного природного газа по потоку за установкой для сжижения. В зависимости от содержания азота в природном газе температура переохлаждения, необходимая для избежания испарения, изменяется: чем выше содержание азота, тем ниже температура переохлаждения.

Использование жидкого азота обеспечивает возможность регулирования температуры переохлаждения в зависимости от содержания азота в потоке природного газа.

Настоящее изобретение особенно предпочтительно для установки для сжижения с циклом охлаждения на основе азота (обратным циклом Брейтона). Поскольку азот представляет собой средство охлаждения для цикла охлаждения данного типа, азот может быть отведен непосредственно под давлением из контура циркуляции холодильного агента и затем подвергнут сжижению посредством теплообменника, используемого для сжижения природного газа. После выпуска через самый холодный конец основного теплообменника жидкий азот может быть расширен при низком давлении перед испарением в переохладителе для переохлаждения сжиженного природного газа. При выходе из основного теплообменника поток азота затем смешивают с азотом из цикла охлаждения.

Изобретение будет описано более подробно посредством ссылки на чертеж, который иллюстрирует схему одного конкретного варианта осуществления способа в соответствии с изобретением.

На чертеже поток 1 природного газа, который, возможно, ранее был подвергнут предварительной обработке (как правило, подвергнут отделению от части по меньшей мере одного из следующих компонентов: воды, CO_2 , метанола, серосодержащих соединений), вводят в основной теплообменник 2 для его сжижения.

Следовательно, чертеж показывает процесс сжижения подаваемого потока 1. Подаваемый поток 1 может представлять собой подвергнутый предварительной обработке поток природного газа, в котором содержание одного или более веществ, таких как сера, диоксид углерода, вода, уменьшено для обеспечения его совместимости с криогенными температурами, как известно в предшествующем уровне техники.

Если требуется, подаваемый поток 1 может быть подвергнут одному или более этапам предварительного охлаждения, как известно в предшествующем уровне техники. Один или более из этапов предварительного охлаждения могут включать один или более контуров циркуляции холодильных агентов. В качестве примера подаваемый поток природного газа, как правило, подвергают обработке, начиная с исходной температуры, составляющей $30\text{--}50^\circ\text{C}$. После одного или более этапов предварительного охлаждения температура подаваемого потока природного газа может быть снижена до $(-30^\circ\text{C})\text{--}(-70^\circ\text{C})$.

На чертеже теплообменник 2 предпочтительно представляет собой паяный алюминиевый пластинчатый криогенный теплообменник. Криогенные теплообменники известны в предшествующем уровне техники и могут иметь различные конфигурации подаваемого(ых) потока(ов) и потоков холодильных агентов. Кроме того, подобные теплообменники могут также иметь одну или более магистралей для обеспечения возможности прохождения других потоков, таких как потоки холодильных агентов, для

других этапов процесса охлаждения, например в процессах сжижения. Данные другие магистрали или потоки не показаны на фигуре для большей простоты.

Подаваемый поток 1 поступает в теплообменник 2 через элемент 3 для ввода подаваемого потока и проходит через теплообменник по магистрали 4, затем отводится из теплообменника на выходе 5 для получения потока 6 сжиженных углеводородов. Когда сжиженный поток 6 представляет собой сжиженный природный газ, температура может составлять приблизительно от -150 до -170°C . Сжижение подаваемого потока 1 выполняют посредством контура 7 циркуляции холодильного агента. В данном контуре 7 циркуляции холодильного агента циркулирует холодильный агент, предпочтительно азот.

Поток 6 сжиженного природного газа затем вводят во второй теплообменник 15 через впускной элемент 24 на самом горячем уровне данного второго теплообменника 15 для его переохлаждения до температуры T3, более низкой, чем температура T2. Подвергнутый переохлаждению таким образом поток 26 природного газа выпускается из теплообменника 15 через выпускной элемент 25, расположенный на самом холодном конце теплообменника 15. Как правило, температура T3 является более низкой, чем температура T2, то есть более низкой, чем -160°C , при этом указанная температура обеспечивает возможность избежания испарения переохлажденного после этого сжиженного природного газа 26 у выпускного элемента 25.

В схеме функционирования теплообменника 2, показанного на фигуре, поток 8 газообразного азота, представляющего собой холодильный агент, вводится в основной теплообменник 2 во впускном элементе 9 при температуре T1 (например, между 0 и 40°C), затем он проходит через данный впускной элемент и подвергается сжижению и переохлаждению вдоль магистрали 10, проходящей через теплообменник 2 к выпускному элементу 11, для получения потока 12 жидкого азота.

Температура T2 выпускного элемента 11 является более низкой, чем температура впускного элемента 9 теплообменника 2. Температура T2, как правило, составляет между -80 и -175°C , например, -170°C . При прохождении потока 8 газообразного холодильного агента по магистрали 10 данный поток сжижается.

Таким образом, поток 8 азота и поток 1 природного газа сжижаются в одном и том же основном теплообменнике 2 посредством одного и того же цикла 7 охлаждения.

Поток 12 азота, представляющего собой холодильный агент, затем расширяется в детандере 13, например посредством использования клапана, для получения потока 14 холодильного агента с пониженным давлением. Данный поток 14 холодильного агента затем вводится в нижнюю часть второго теплообменника 15 через впускной элемент 16 (на самом холодном конце теплообменника 15). Температура T3 впускного элемента 16 является более низкой, чем температура T2. Ввод потока 14 в теплообменник 15 через впускной элемент 16 в этом случае таков, что прохождение данного потока 14 холодильного агента по магистрали 17 в теплообменнике 15 происходит в направлении вверх к выпускному элементу 18 теплообменника 15. Температура данного выпускного элемента 18, по существу, равна температуре T2.

Поток 19 холодильного агента, отбираемый у выпускного элемента 18 теплообменника 15, затем вводится через впускной элемент 20 в самую холодную часть основного теплообменника 2 при температуре, по существу, равной температуре выпускного элемента 11. Поток азота, представляющего собой холодильный агент, затем повторно нагревают посредством основного теплообменника 2 до выпускного элемента 21 при температуре T1.

Поток 22 газообразного азота, представляющего собой холодильный агент, циркулирует в схеме 7 циркуляции холодильного агента за выпускным элементом 21 основного теплообменника 2 при температуре окружающей среды (то есть при температуре, измеряемой в пространстве, в котором размещено устройство, предназначенное для осуществления способа, который является предметом настоящего изобретения. Данная температура составляет, например, от -20 до 45°C).

Следует понимать, что температура, по существу, равная другой температуре, означает температуру, равную температуре в пределах $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Охлажденный сжиженный природный газ 26 в конце способа, который представляет собой предмет настоящего изобретения, можно, например, транспортировать затем в устройство для хранения или транспортировки.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ устранения испарения потока (26) сжиженного природного газа во время его транспортировки в хранилище, включающий следующие этапы:

этап а), на котором сжижают поток (1) природного газа и поток (8) азота в основном теплообменнике (2) посредством цикла (7) охлаждения с получением потока (6) сжиженного природного газа и потока (12) жидкого азота;

этап б), на котором охлаждают поток (6) сжиженного природного газа, полученного на этапе а), во втором теплообменнике (15) за счет циркуляции потока (6) сжиженного природного газа в противотоке по отношению к потоку (14) жидкого азота, который испаряют при одновременном охлаждении потока сжиженного природного газа, при этом испаренный поток азота (19) подают в основной теплообменник (2);

этап с), на котором расширяют поток (12) жидкого азота, полученного на этапе а), после выпуска из

основного теплообменника (2) на его самом холодном уровне (11) и впоследствии вводят расширенный таким образом поток (14) во второй теплообменник (15) во время этапа b);

отличающийся тем, что поток (12) жидкого азота, полученный на этапе а), подвергают переохлаждению во втором теплообменнике (15) перед этапом с).

2. Способ по предшествующему пункту, отличающийся тем, что поток (19) азота, полученный на этапе b), подается в цикл (7) охлаждения, используемый на этапе а), после охлаждения потока (26) сжиженного природного газа за счет того, что его вводят на самом холодном уровне (20) указанного основного теплообменника (2) и затем за счет циркуляции в противотоке по отношению к потокам, подлежащим сжижению во время этапа а), доходит до самого горячего уровня (21) указанного основного теплообменника (2), где указанный поток азота испаряют.

3. Способ по предшествующему пункту, отличающийся тем, что по меньшей мере одна часть указанного потока (22) испарившегося азота образует поток (8) азота, подлежащий сжижению в основном теплообменнике (2), используемом на этапе а).

4. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что цикл (7) охлаждения представляет собой азотный цикл типа Turbo-Brayton.

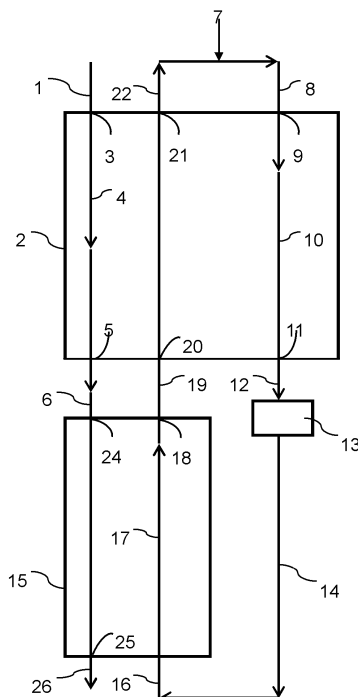
5. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что природный газ (1), вводимый на этапе а), содержит по меньшей мере 50 об.% метана.

6. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что охлажденный сжиженный природный газ (26), полученный на этапе b), транспортируют в хранилище.

7. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что параметры цикла охлаждения регулируют во время процесса в зависимости от температуры, заданной для потока (26) сжиженного природного газа, получаемого на этапе b), и в зависимости от состава указанного потока природного газа.

8. Способ по предшествующему пункту, отличающийся тем, что параметры цикла охлаждения регулируют во время процесса в зависимости от содержания азота в указанном потоке природного газа.

9. Способ по одному из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что поток (1) природного газа, подлежащий сжижению, вводят во время этапа а) на самом горячем уровне (3) основного теплообменника (2) и выпускают в жидком виде (6) на самом холодном уровне (5) указанного основного теплообменника (2), затем вводят во время этапа b) на самом горячем уровне (24) второго теплообменника (15) и затем выпускают на самом холодном уровне (25) указанного второго теплообменника (15).



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2