

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **016746**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2012.07.30**

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

(21) Номер заявки  
**201070112**

(22) Дата подачи заявки  
**2008.07.07**

---

(54) **СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА**

---

(31) **2007903701**

(56) US-B1-6631626  
WO-A1-2004065869  
CA-A1-2586775  
US-B2-7165422  
US-B2-7237407

(32) **2007.07.09**

(33) **AU**

(43) **2010.10.29**

(86) **PCT/AU2008/001010**

(87) **WO 2009/006693 2009.01.15**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЭлЭнДжи ТЕКНОЛОДЖИ ПТИ ЛТД.**  
**(AU)**

(72) Изобретатель:  
**Бриджвуд Пол (AU)**

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

---

(57) Разработаны способ и система для сжижения углеводородного газа. Углеводородный сырьевой газ предварительно обрабатывают для удаления кислых веществ и воды из него. Затем предварительно обработанный сырьевой газ пропускают в зону охлаждения, в которой он охлаждается и расширяется для образования углеводородной жидкости. Замкнутая одноконтурная схема охлаждения со смесью холодильных агентов обеспечивает большую часть охлаждения в зоне охлаждения вместе со вспомогательной системой охлаждения. Вспомогательная система охлаждения и замкнутая одноконтурная схема охлаждения со смесью холодильных агентов соединены таким образом, что отходящее тепло, вырабатываемое газотурбинным приводом компрессора в замкнутой одноконтурной схеме охлаждения со смесью холодильных агентов, обеспечивает приведение в действие вспомогательной системы охлаждения, и вспомогательная система охлаждения обеспечивает охлаждение воздуха, поступающего в газовую турбину. Таким образом обеспечивается значительное повышение производительности системы.

---

**B1**

**016746**

**016746**

**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Изобретение относится к способу и системе для получения сжиженного природного газа. В частности, настоящее изобретение относится к способу и системе для сжижения углеводородного газа, такого как природный газ или газ угольных пластов.

### **Предпосылки создания изобретения**

Создание и эксплуатация установки для обработки и сжижения углеводородного газа, такого как природный газ или газ угольных пластов, и получения сжиженного метана или сжиженного природного газа (LNG) связаны со значительными капитальными и текущими затратами. В частности, при повышенной остроте восприятия и повышенном внимании к экологическим проблемам и нормативным документам, относящимся к выделению парниковых газов, создание подобной установки должно предусматривать включение элементов, которые обеспечивают повышение эффективности использования топлива и уменьшение выделений, где это возможно.

### **Краткое изложение сущности изобретения**

В соответствии с изобретением в его самом широком аспекте разработан способ и система для сжижения углеводородного газа, такого как природный газ или газ угольных пластов.

Соответственно, согласно первому аспекту настоящего изобретения разработан способ сжижения углеводородного газа, включающий в себя следующие операции:

- a) предварительную обработку углеводородного сырьевого газа для удаления кислых веществ и воды из него;
- b) создание зоны охлаждения, при этом охлаждение в зоне охлаждения обеспечивается посредством циркуляции смеси холодильных агентов из системы охлаждения со смесью холодильных агентов и вспомогательного холодильного агента из вспомогательной системы охлаждения через зону охлаждения;
- c) соединение системы охлаждения со смесью холодильных агентов и вспомогательной системы охлаждения так, чтобы при этом вспомогательная система охлаждения приводилась в действие, по меньшей мере частично, посредством отходящего тепла, выделенного смесью холодильных агентов; и
- d) пропускание предварительно обработанного сырьевого газа через зону охлаждения, в которой предварительно обработанный сырьевой газ охлаждается, и расширение охлажденного сырьевого газа для получения углеводородной жидкости.

В одном варианте осуществления изобретения операция циркуляции смеси холодильных агентов через зону охлаждения включает в себя:

- a) сжатие смеси холодильных агентов в компрессоре;
- b) пропускание сжатой смеси холодильных агентов по первому теплообменному каналу, проходящему через зону охлаждения, в котором сжатая смесь холодильных агентов охлаждается и расширяется для получения охлаждающего средства из смеси холодильных агентов;
- c) пропускание охлаждающего средства из смеси холодильных агентов по второму теплообменному каналу, проходящему через зону охлаждения, для получения смеси холодильных агентов; и
- d) возврат смеси холодильных агентов в компрессор посредством рециркуляции.

В другом варианте осуществления изобретения операция пропускания предварительно обработанного сырьевого газа через зону охлаждения включает в себя пропускание предварительно обработанного сырьевого газа по третьему теплообменному каналу в зоне охлаждения.

В еще одном варианте осуществления изобретения операция циркуляции вспомогательного холодильного агента через зону охлаждения включает в себя пропускание вспомогательного холодильного агента по четвертому теплообменному каналу, проходящему через часть зоны охлаждения. Второй и четвертый теплообменные каналы проходят с осуществлением в них теплообмена, противоточного по отношению к первому и третьему теплообменным каналам.

Авторы изобретения обнаружили, что тепло, вырабатываемое на операции сжатия посредством газотурбинного привода компрессора, которое в других обстоятельствах рассматривалось как сбросное тепло, предпочтительно может быть использовано в способе для получения пара в парогенераторе. Пар может быть использован для приведения в действие генератора с одной паровой турбиной (одного паротурбогенератора) и выработки электрической энергии, которая обеспечивает приведение в действие вспомогательной системы охлаждения.

Соответственно, в предпочтительном варианте осуществления изобретения способ дополнительно включает в себя приведение в действие вспомогательной системы охлаждения, по меньшей мере частично, посредством отходящего тепла, получаемого от операции сжатия в способе по настоящему изобретению.

В другом предпочтительном варианте осуществления изобретения способ дополнительно включает в себя охлаждение воздуха, поступающего в газовую турбину, непосредственно соединенную с компрессором, посредством вспомогательного холодильного агента. Предпочтительно поступающий воздух охлаждают до приблизительно 5-10°C. Авторы изобретения приблизительно подсчитали, что охлаждение воздуха, поступающего в газовую турбину, повышает производительность компрессора на 15-25%, в результате чего повышается производительность способа, поскольку производительность компрессора пропорциональна выходу сжиженного природного газа.

В одном варианте осуществления изобретения операция сжатия смеси холодильных агентов обеспечивает повышение давления смеси от приблизительно 30 до 50 бар.

Когда смесь холодильных агентов сжимается, ее температура повышается. В дополнительном варианте осуществления способ включает в себя охлаждение сжатой смеси холодильных агентов перед пропуском сжатой смеси холодильных агентов по первому теплообменному каналу. Таким образом, тепловая нагрузка на зону охлаждения уменьшается. В одном варианте осуществления сжатая смесь холодильных агентов охлаждается до температуры ниже 50°C.

В предпочтительном варианте осуществления сжатая смесь холодильных агентов охлаждается до приблизительно 10°C.

В другом варианте осуществления операция охлаждения сжатой смеси холодильных агентов включает в себя прохождение сжатой смеси холодильных агентов, выходящей из компрессора, в теплообменник, в частности воздухоохладитель или водяной охладитель. В альтернативном варианте осуществления изобретения операция охлаждения включает в себя прохождение сжатой смеси холодильных агентов из компрессора в теплообменник, как описано выше, и дополнительное прохождение сжатой смеси холодильных агентов, охлажденной в теплообменнике, в охлаждающий аппарат. Предпочтительно охлаждающий аппарат приводится в действие, по меньшей мере частично, посредством отходящего тепла, в частности отходящего тепла, получаемого от операции сжатия.

В одном варианте осуществления изобретения температура охлаждающего средства из смеси холодильных агентов находится на уровне температуры или ниже температуры, при которой предварительно обработанный сырьевой газ конденсируется. Предпочтительно температура охлаждающего средства из смеси холодильных агентов составляет менее -150°C.

В одном варианте осуществления изобретения смесь холодильных агентов содержит соединения, выбранные из группы, состоящей из азота и углеводородов, содержащих от 1 до 5 атомов углерода. Предпочтительно смесь холодильных агентов содержит азот, метан, этан или этилен, изобутан и/или н-бутан. В одном предпочтительном варианте осуществления состав смеси холодильных агентов таков при нижеприведенных диапазонах мольных долей, выраженных в процентах: азот: от приблизительно 5 до приблизительно 15; метан: от приблизительно 25 до приблизительно 35; C2 (углеводород с 2 атомами углерода): от приблизительно 33 до приблизительно 42; C3 (углеводород с 3 атомами углерода): от 0 до приблизительно 10; C4 (углеводород с 4 атомами углерода): от 0 до приблизительно 20; и C5 (углеводород с 5 атомами углерода): от 0 до приблизительно 20. Состав смеси холодильных агентов может быть выбран таким образом, что результирующие кривые охлаждения и нагрева смеси холодильных агентов будут согласованы друг с другом с расхождением в пределах приблизительно 2°C и что результирующие кривые охлаждения и нагрева будут по существу непрерывными.

В одном варианте осуществления изобретения углеводородный газ представляет собой природный газ или метан из угольных пластов. Предпочтительно углеводородный газ получают из зоны охлаждения при температуре, которая равна или ниже температуры сжижения метана.

В соответствии со вторым аспектом изобретения разработана система сжижения углеводородного газа, содержащая:

- a) смесь холодильных агентов;
- b) компрессор, предназначенный для сжатия смеси холодильных агентов;
- c) охлаждающий теплообменник, предназначенный для охлаждения предварительно обработанного сырьевого газа для получения углеводородной жидкости, при этом охлаждающий теплообменник имеет первый теплообменный канал, сообщающийся по текучей среде с компрессором, второй теплообменный канал и третий теплообменный канал, причем первый, второй и третий теплообменные каналы проходят через зону охлаждения, и четвертый теплообменный канал, проходящий через часть зоны охлаждения, при этом второй и четвертый теплообменные каналы расположены с осуществлением в них теплообмена, противоточного по отношению к первому и третьему теплообменным каналам; детандер, сообщающийся по текучей среде с выходом из первого теплообменного канала и входом во второй теплообменный канал;
- d) трубопровод для рециркуляции смеси; холодильных агентов, сообщающийся по текучей среде с выходом из второго теплообменного канала и входом в компрессор;
- e) вспомогательную систему охлаждения, имеющую вспомогательный холодильный агент, сообщающийся посредством текучей среды с четвертым теплообменным каналом;
- f) источник предварительно обработанного сырьевого газа, сообщающийся по текучей среде с входом третьего теплообменного канала; и
- g) трубопровод для углеводородной жидкости, сообщающийся по текучей среде с выходом третьего теплообменного канала.

В одном варианте осуществления изобретения компрессор представляет собой одноступенчатый компрессор. Предпочтительно компрессор представляет собой одноступенчатый центробежный компрессор, приводимый в действие непосредственно (без редуктора) газовой турбиной. В альтернативном варианте осуществления компрессор представляет собой двухступенчатый компрессор с промежуточ-

ным охладителем и промежуточным скруббером, возможно снабженный редуктором.

В другом варианте осуществления газовая турбина соединена с парогенератором в конфигурации, при которой при использовании отходящее тепло из газовой турбины способствует образованию пара в парогенераторе. В дополнительном варианте осуществления система содержит генератор с одной паровой турбиной [один паротурбогенератор], выполненный с конфигурацией, обеспечивающей возможность выработки электрической энергии. Предпочтительно количество электрической энергии, вырабатываемой генератором с одной паровой турбиной [одним паротурбогенератором], достаточно для приведения в действие вспомогательной системы охлаждения.

В еще одном варианте осуществления изобретения вспомогательный холодильный агент содержит низкотемпературный аммиак, и вспомогательная система охлаждения содержит один или несколько аммиачных охлаждающих агрегатов. Предпочтительно один или несколько аммиачных охлаждающих агрегатов охлаждаются посредством воздухоохладителей или водяных охладителей.

В предпочтительном варианте осуществления вспомогательная система охлаждения сообщается с газовой турбиной с обеспечением теплообмена, при этом сообщение с обеспечением теплообмена выполняется так, чтобы осуществить охлаждение воздуха, поступающего в газовую турбину, посредством вспомогательной системы охлаждения.

В дополнительном варианте осуществления изобретения система содержит охладитель, предназначенный для охлаждения сжатой смеси холодильных агентов перед поступлением сжатой смеси холодильных агентов в охлаждающий теплообменник. Предпочтительно охладитель представляет собой теплообменник с воздушным охлаждением или теплообменник с водяным охлаждением. В альтернативном варианте осуществления изобретения охладитель дополнительно содержит охлаждающий аппарат, используемый последовательно в комбинации с теплообменником с воздушным охлаждением или водяным охлаждением. Предпочтительно охлаждающий аппарат приводится в действие, по меньшей мере частично, посредством отходящего тепла, получаемого от компрессора, в частности посредством отходящего тепла, получаемого от газотурбинного привода.

В еще одном дополнительном варианте осуществления изобретения углеводородная жидкость в трубопроводе для углеводородной жидкости расширяется посредством детандера для дополнительного охлаждения углеводородной жидкости.

#### Описание чертежей

Предпочтительные варианты осуществления, включающие в себя все аспекты изобретения, будут описаны далее только в качестве примера со ссылкой на сопровождающие чертежи, в которых

фиг. 1 представляет собой схему технологического процесса для способа сжижения текучего материала, например, такого как природный газ или газ угольных пластов (CSG), в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения; и

фиг. 2 представляет собой результирующую кривую охлаждения и нагрева для смеси холодильных агентов из одноконтурной схемы охлаждения и для текучего материала.

#### Подробное описание предпочтительного варианта осуществления

На фиг. 1 показан способ охлаждения текучего материала до криогенных температур в целях его сжижения. К иллюстративным примерам текучего материала относятся природный газ и газ угольных пластов (CSG-coal seam gas), но текучие материалы не ограничены вышеуказанными. Несмотря на то что данный конкретный вариант осуществления изобретения описан в отношении производства сжиженного природного газа (LNG - liquefied natural gas) из природного газа или газа угольных пластов, предусмотрено, что способ может быть применен для других текучих материалов, которые могут быть сжижены при криогенных температурах.

Производство сжиженного природного газа в общих чертах осуществляется посредством предварительной обработки (очистки) природного газа или сырьевого газа угольных пластов для удаления воды, диоксида углерода и, возможно, других веществ, которые могут затвердевать при дальнейшей обработке при температурах, приближающихся к температуре сжижения, и последующего охлаждения предварительно обработанного сырьевого газа до криогенных температур, при которых образуется сжиженный природный газ.

Как показано на фиг. 1, сырьевой газ 60 поступает в процесс при регулируемом давлении, составляющем приблизительно 900 фунтов на кв. дюйм (6205,284 кПа). Диоксид углерода удаляют из него посредством пропускания его через установку 62 для отгона CO<sub>2</sub> с традиционной комплектацией, в которой CO<sub>2</sub> удаляется до достижения его концентраций, составляющих приблизительно 50-150 частей на миллион. Иллюстративные примеры установки 62 для отгона CO<sub>2</sub> включают аминовое комплектное оборудование (amine package), имеющее аминовый контактор (например, метилдиэтиламин (MDEA)) и ребойлер десорбера (регенератора) амина. Как правило, газ, выходящий из аминового контактора, насыщен водой (например, ~70 фунтов на миллион стандартных кубических футов (~0,00112196 кг на миллион кубических метров)). Для удаления массы воды газ охлаждают до температуры, близкой к температуре образования его гидрата (например, ~15°C), посредством охлаждающего аппарата 66. Предпочтительно охлаждающий аппарат 66 использует охлаждающую способность вспомогательной системы 20 охлаждения. Конденсированная вода удаляется из потока охлажденного газа и возвращается в аминовое ком-

плектное оборудование для подпитки.

Вода должна быть удалена из потока охлажденного газа для достижения ее концентраций, составляющих  $\leq 1$  части на миллион, перед сжижением для избежания замораживания, когда температура потока газа снижается до температуры ниже температуры замерзания гидрата. Соответственно, поток охлажденного газа с уменьшенным содержанием воды (например, ~20 фунтов на миллион стандартных кубических футов (~0,00032056 кг на миллион кубических метров)) проходит в установку 64 для дегидратации. Установка 64 для гидратации содержит три резервуара с молекулярными ситами. Как правило, два резервуара с молекулярными ситами работают в режиме адсорбции, в то время когда третий резервуар подвергается регенерации или находится в режиме ожидания. Боковая фракция осушенного газа, выходящая из работающего резервуара, используется для получения регенерационного газа. Осуществляется охлаждение влажного регенерационного газа посредством использования воздуха и отделение конденсированной воды. Поток насыщенного газа нагревается и используется в качестве топливного газа. Отпарной газ (BOG-boil-off gas) предпочтительно используется в качестве регенерационного/топливного газа (как будет описано позже), и любой дефицит восполняется из потока осушенного газа. Никакой рециркуляционный компрессор не требуется для регенерационного газа.

Если требуется, сырьевой газ 60 может подвергаться дополнительной обработке для удаления других кислых веществ или тому подобного, таких как соединения серы, хотя следует понимать, что многие соединения серы могут быть удалены одновременно с диоксидом углерода в установке 62 для отгона  $\text{CO}_2$ .

В результате предварительной обработки сырьевой газ 60 становится нагретым до температур, составляющих до  $50^\circ\text{C}$ . В одном варианте осуществления настоящего изобретения предварительно обработанный сырьевой газ, если требуется, может быть охлажден посредством охлаждающего аппарата (непоказанного) до температуры, составляющей от приблизительно  $10^\circ$  до  $-50^\circ\text{C}$ . К соответствующим примерам охлаждающего аппарата, которые могут быть использованы в способе по настоящему изобретению, относятся аммиачный абсорбционный охлаждающий аппарат, бромистолитиевый абсорбционный охлаждающий аппарат и тому подобное, или вспомогательная система 20 охлаждения, но возможные охлаждающие аппараты не ограничены вышеуказанными.

Предпочтительно в зависимости от состава сырьевого газа охлаждающий аппарат может обеспечить конденсацию тяжелых углеводородов в предварительно обработанном потоке. Данные конденсированные компоненты или могут образовывать поток дополнительного продукта, или могут быть использованы в качестве топливного газа или в качестве регенерационного газа в различных частях системы.

Основным преимуществом охлаждения потока предварительно обработанного газа является значительное уменьшение расхода холода, необходимого для сжижения, в некоторых случаях на целых 30% по сравнению с предшествующим уровнем техники.

Поток охлажденного предварительно обработанного газа подают по трубопроводу 32 в зону 28 охлаждения, где указанный поток сжижается.

Зона 28 охлаждения содержит охлаждаемый теплообменник, при этом охлаждение в нем обеспечивается смесью холодильных агентов и вспомогательной системой 20 охлаждения. Предпочтительно теплообменник содержит теплообменные трубки с припаянными алюминиевыми пластинчатыми ребрами, заключенные в продуваемый стальной корабчатый корпус.

Охлаждаемый теплообменник имеет первый теплообменный канал 40, сообщающийся по текучей среде с компрессором 12, второй теплообменный канал 42 и третий теплообменный канал 44. Каждый из первого, второго и третьего теплообменных каналов 40, 42, 44 проходит через охлаждаемый теплообменник, как показано на фиг. 1. Охлаждаемый теплообменник также предусмотрен с четвертым теплообменным каналом 46, который проходит через часть охлаждаемого теплообменника, в частности через его холодную часть. Второй и четвертый теплообменные каналы 42, 46 расположены с осуществлением в них теплообмена, противоточного по отношению к первому и третьему теплообменным каналам 40, 44.

Охлаждение в зоне 28 охлаждения обеспечивается посредством циркуляции смеси холодильных агентов через нее. Смесью холодильных агентов из барабана 10 для всасывания холодильных агентов проходит в компрессор 12. Компрессор 12 предпочтительно представляет собой два параллельных одноступенчатых центробежных компрессора, каждый из которых приводится в действие непосредственно газовой турбиной 100, в частности газовой турбиной на базе авиационного двигателя. Альтернативно, компрессор 12 может представлять собой двухступенчатый компрессор с промежуточным охладителем и промежуточным скруббером. Как правило, компрессор 12 представляет собой компрессор такого типа, который работает с коэффициентом полезного действия, составляющим от приблизительно 75% до приблизительно 85%.

Отходящее тепло от газовых турбин 100 может быть использовано для генерирования пара, который, в свою очередь, используется для приведения в действие электрогенератора (непоказанного). Таким образом, может быть выработано достаточное количество энергии для снабжения электроэнергией всех электрических компонентов установки для сжижения, в частности вспомогательной системы 20 охлаждения.

Пар, который генерируется посредством отходящего тепла от газовых турбин 100, также может быть использован для нагрева ребойлера десорбера (регенератора) амина, предусмотренного в установке 62 для отгона  $\text{CO}_2$ , для регенерации молекулярных сит установки 64 для дегидратации, регенерационного газа и топливного газа.

Смесь холодильных агентов подвергается сжатию до давления, находящегося в диапазоне от приблизительно 30 бар до 50 бар, и, как правило, до давления, составляющего от приблизительно 35 бар до приблизительно 40 бар. Температура сжатой смеси холодильных агентов повышается вследствие сжатия в компрессоре 12 до температуры, находящейся в интервале от приблизительно  $120^\circ\text{C}$  до приблизительно  $160^\circ\text{C}$  и, как правило, до приблизительно  $140^\circ\text{C}$ .

Затем сжатая смесь холодильных агентов пропускается по трубопроводу 14 в охладитель 16 для снижения температуры сжатой смеси холодильных агентов до температуры ниже  $45^\circ\text{C}$ . В одном варианте осуществления охладитель 16 представляет собой теплообменник из оребренных труб с воздушным охлаждением, в котором сжатая смесь холодильных агентов охлаждается посредством пропускания сжатой смеси холодильных агентов в противотоке с текучей средой, такой как воздух или тому подобное. В альтернативном варианте осуществления охладитель 16 представляет собой кожухотрубный теплообменник, в котором сжатая смесь холодильных агентов охлаждается посредством пропускания сжатой смеси холодильных агентов в противотоке с текучей средой, такой как вода или тому подобное.

Охлажденная сжатая смесь холодильных агентов проходит в первый теплообменный канал 40 зоны 28 охлаждения, в котором она дополнительно охлаждается и расширяется посредством детандера 48, предпочтительно посредством использования эффекта Джоуля-Томсона, в результате чего она обеспечивает охлаждение для зоны 28 охлаждения в качестве охлаждающего средства из смеси холодильных агентов. Охлаждающее средство из смеси холодильных агентов проходит по второму теплообменному каналу 42, в котором оно нагревается в противоточном теплообмене со сжатой смесью холодильных агентов и предварительно обработанным сырьевым газом, проходящими соответственно по первому и третьему теплообменным каналам 40, 44. Смесь газообразных холодильных агентов затем возвращается в барабан 10 для всасывания холодильных агентов перед входом в компрессор 12, таким образом завершается замкнутый цикл в одноконтурной схеме охлаждения со смесью холодильных агентов.

Приготовление (пополнение) смеси холодильных агентов осуществляется из текучего материала или отпарного газа (метана и/или углеводородов  $\text{C}_2\text{-C}_5$  (с числом атомов углерода от 2 до 5)), генератора азота (азота) с любым одним или несколькими из компонентов холодильных агентов, подаваемых извне.

Смесь холодильных агентов содержит соединения, выбранные из группы, состоящей из азота и углеводородов, содержащих от 1 до 5 атомов углерода. В том случае, когда текучий материал, подлежащий охлаждению, представляет собой природный газ или газ угольных пластов, пригодный состав для смеси холодильных агентов при нижеприведенных диапазонах мольных долей, выраженных в процентах, таков: азот: от приблизительно 5 до приблизительно 15; метан: от приблизительно 25 до приблизительно 35;  $\text{C}_2$  (углеводород с 2 атомами углерода): от приблизительно 33 до приблизительно 42;  $\text{C}_3$  (углеводород с 3 атомами углерода): от 0 до приблизительно 10;  $\text{C}_4$  (углеводород с 4 атомами углерода): от 0 до приблизительно 20; и  $\text{C}_5$  (углеводород с 5 атомами углерода): от 0 до приблизительно 20. В предпочтительном варианте осуществления смесь холодильных агентов содержит азот, метан, этан или этилен, изобутан и/или н-бутан.

Фиг. 2 показывает результирующую (комплексную) кривую охлаждения и нагрева для смеси холодильных агентов в одноконтурной схеме охлаждения и для природного газа. Непосредственная близость кривых [с расхождением] в пределах приблизительно  $2^\circ$  указывает на эффективность способа и системы по настоящему изобретению.

Дополнительное охлаждение может быть предусмотрено для зоны 28 охлаждения посредством вспомогательной системы 20 охлаждения. Вспомогательная система 20 охлаждения содержит один или несколько аммиачных охлаждающих агрегатов, охлаждаемых воздухоохладителями. Вспомогательный холодильный агент, такой как холодный аммиак, проходит по четвертому теплообменному каналу 46, находящемуся в холодной зоне зоны 28 охлаждения. Посредством этого до приблизительно 70% холодопроизводительности, обеспечиваемой вспомогательной системой 20 охлаждения, может быть "направлено" в зону 28 охлаждения. Вспомогательное охлаждение обладает эффектом получения дополнительных 20% сжиженного природного газа, а также обеспечивает повышение КПД установки, например, расход топлива в газовой турбине 100 снижается отдельно на 20%.

Во вспомогательной системе 20 охлаждения отходящее тепло, выделяемое из горячих отработавших газов из газовой турбины 100, используется для образования холодильного агента для вспомогательной системы 20 охлаждения. Тем не менее, следует понимать, что дополнительное отходящее тепло, вырабатываемое другими компонентами в установке для сжижения, также может быть использовано для регенерации холодильного агента для вспомогательной системы 20 охлаждения, например, может быть доступным отходящее тепло от других компрессоров, первичных источников энергии (первичных двигателей), используемых при выработке энергии, от горячих сжигаемых в факелах газов, отработавших газов или жидкостей, солнечной энергии и тому подобного.

Вспомогательная система 20 охлаждения также используется для охлаждения воздуха, поступающего в газовую турбину 100. Важное значение имеет то, что охлаждение воздуха, поступающего в газовую турбину, обеспечивает увеличение производственной мощности установки на 15-25%, поскольку производительность компрессора приблизительно пропорциональна выходу сжиженного природного газа.

Сжиженный газ отводится из третьего теплообменного канала 44 зоны 28 охлаждения по трубопроводу 72 при температуре от приблизительно  $-150^{\circ}\text{C}$  до приблизительно  $-170^{\circ}\text{C}$ . После этого происходит расширение сжиженного газа посредством детандера 74, вследствие чего температура сжиженного газа снижается до приблизительно  $-160^{\circ}\text{C}$ . К соответствующим примерам детандеров, которые могут быть использованы в настоящем изобретении, относятся расширительные клапаны, клапаны Джоуля-Томсона, устройства Вентури и вращающийся механический детандер, но возможные детандеры не ограничены вышеуказанными.

Сжиженный газ затем направляется в резервуар 76 для хранения по трубопроводу 78.

Отпарные газы (BOG), образующиеся в резервуаре 76 для хранения, могут быть поданы в компрессор 81, предпочтительно в компрессор низкого давления, по трубопроводу 80. Сжатый отпарной газ 80 подается в зону 28 охлаждения по трубопроводу 82 и проходит через часть зоны 28 охлаждения, в которой указанный сжатый отпарной газ охлаждается до температуры от приблизительно  $-150^{\circ}\text{C}$  до приблизительно  $-170^{\circ}\text{C}$ .

При данных температурах часть отпарного газа конденсируется до жидкой фазы. В частности, жидкая фаза охлажденного отпарного газа в значительной степени содержит метан. Несмотря на то что паровая фаза охлажденного отпарного газа также содержит метан, концентрация азота в паровой фазе больше концентрации азота в жидкой фазе, при этом увеличение концентрации азота, как правило, составляет от приблизительно 20% до приблизительно 60%. Результирующий состав указанной паровой фазы пригоден для использования в качестве топливного газа.

Образующаяся в результате двухфазная смесь проходит в сепаратор 84 по трубопроводу 86, после чего отделенная жидкая фаза снова направляется обратно в резервуар 76 для хранения по трубопроводу 88.

Охлажденная газовая фаза, отделенная в сепараторе 84, проходит в компрессор, предпочтительно в компрессор высокого давления, и используется в установке в качестве топливного газа и/или регенерационного газа посредством трубопровода.

В альтернативном варианте охлажденная газовая фаза, отделенная в сепараторе 84, пригодна для использования в качестве охлаждающей среды, предназначенной для циркуляции по криогенной системе трубопроводов, предназначенной для транспортирования криогенных текучих сред, например, таких как сжиженный природный газ или жидкий метан из газа угольных пластов, из резервуара 76 для хранения в принимающие/наливные средства, для поддержания температуры системы трубопроводов на уровне криогенных температур или температур, в самой малой степени превышающих криогенные температуры.

На фиг. 1 показаны основной транспортный трубопровод 92 и трубопровод 94 возврата пара, которые оба обеспечивают соединение по текучей среде резервуара 76 для хранения с наливным/принимающим средством (непоказанным). Резервуар 76 для хранения предусмотрен с насосом 96 для перекачивания сжиженного природного газа из резервуара 76 для хранения по основному транспортному трубопроводу 92.

Как описано ранее, охлажденная газовая фаза, отделенная в сепараторе 84, пригодна для использования в качестве охлаждающей среды, предназначенной для циркуляции по криогенной системе трубопроводов, предназначенной для транспортирования криогенных жидкостей. Соответственно, охлажденная газовая фаза, отделенная в сепараторе 84, направляется по трубопроводу 98 в основной транспортный трубопровод 92, после чего охлажденная газовая фаза циркулирует по основному транспортному трубопроводу 92 и трубопроводу 94 возврата пара для поддержания температуры криогенной системы трубопроводов на уровне криогенных температур или температур, в самой малой степени превышающих криогенные температуры.

Предпочтительно трубопровод 94 возврата пара соединен по текучей среде с входом компрессора 78, так что отпарные газы, образующиеся во время операций транспортирования, могут быть рациональным образом обработаны в соответствии со способом обработки отпарных газов, подобным представленному в общих чертах выше.

Предусмотрено, что перед началом операций транспортирования дополнительное охлаждение и заполнение основного транспортного трубопровода 92 может быть осуществлено посредством заполнения указанного трубопровода 92 путем пропускания жидкой фазы, отделенной в сепараторе 84, или жидкого текучего материала, выходящего из теплообменника 28, по указанному трубопроводу 92 через средство трубопровода 98. Ожидается, что любая жидкая фаза, остающаяся в трубопроводе 98 после завершения операций транспортирования, сможет сама «вернуться» обратно в резервуар 76 для хранения под действием собственного (внутреннего) давления, создаваемого в трубопроводе 99 самой жидкой фазой

под действием нагрева, вызываемого окружающей средой.

Способ и система, описанные выше, имеют следующие преимущества над традиционными установками для сжижения природного газа:

(1) В интегрированных технологических системах для комбинированной выработки электроэнергии и тепла (CHP - combined heat and power) используется отходящее тепло от газовых турбин 100, а также некоторое вспомогательное сжигание извлекаемого отпарного газа (который представляет собой низкокалорийный отходящий газ) для удовлетворения всех потребностей в нагреве и электроэнергии посредством паротурбогенератора для установки для сжижения природного газа. Отходящее тепло также используется для приведения в действие аммиачных охлаждающих компрессоров стандартной комплектации, предусмотренных во вспомогательной системе 20 охлаждения, которая обеспечивает дополнительное охлаждение для:

охлаждения воздуха, поступающего в газовую турбину, в результате чего производительность (производственная мощность) установки повышается на 15-25%;

охлаждения во всем технологическом процессе, в результате чего уменьшается размер установки для дегидратации и обеспечивается баланс регенерационного газа и топливного газа, необходимого для приведения в действие газовых турбин 100;

дополнительного охлаждения зоны охлаждения, в результате чего производительность (производственная мощность) установки повышается на величину, составляющую до 20%, и эффективность использования энергии повышается на величину, составляющую до 20%.

(2) Система со смесью холодильных агентов выполнена с возможностью обеспечения достаточно точного согласования кривых охлаждения, в результате чего максимизируется холодильный коэффициент (эффективность охлаждения). Интеграция вспомогательной системы 20 охлаждения с зоной 28 охлаждения обеспечивает увеличение теплопередачи на теплом конце теплообменника за счет увеличения средней логарифмической разности температур (среднеарифметического температурного напора - LMTD-log mean temperature difference), что обеспечивает уменьшение размера теплообменника. Это также обеспечивает низкую температуру смеси холодильных агентов, всасываемых в компрессор, что вызывает значительное повышение производительности компрессора.

(3) Высокая эффективность, использование комбинированной выработки тепла и электроэнергии для удовлетворения всех потребностей установки в тепле и электроэнергии и использование камер сгорания с малым выходом сухих загрязняющих веществ в газовых турбинах 100 приводят к очень малым суммарным выбросам.

(4) Эффективное улавливание отпарного газа. Система выполнена с возможностью улавливания мгновенно выделяющегося газа и образующегося отпарного газа из резервуара 76 для хранения и из принимающего/наливного средства (например, судов) во время загрузки. Отпарной газ подвергается сжатию в компрессоре 78, при этом он повторно сжимается в зоне 28 охлаждения для извлечения метана в виде жидкости. Жидкий метан возвращается в резервуар 76 для хранения, а мгновенно выделяющийся газ, который концентрируется в виде азота, используется для дополнительного сжигания отработанного газа из газовой турбины 100. Это представляет собой экономичный и эффективный с точки зрения использования энергии способ обработки отпарного газа и удаления азота из системы, и в то же время это позволяет минимизировать или устранить факельное сжигание во время загрузки.

(5) Эффективная система транспортных трубопроводов. Система выполнена с конфигурацией, обеспечивающей снижение потерь тепла из транспортных трубопроводов и сопутствующее уменьшение образования в них отпарного газа, часть которого была бы подвергнута факельному сжиганию при условиях, соответствующих предшествующему уровню техники. В настоящем изобретении любой отпарной газ, который образуется в транспортных трубопроводах, путем рециркуляции может быть направлен в компрессор 78 и зону 28 охлаждения для сжижения и может быть использован в качестве охлаждающей среды. Кроме того, способ и система позволяют устранить необходимость в дополнительных транспортных трубопроводах и взаимодействующих с ними насосах для циркуляции, в результате чего уменьшаются капитальные затраты на указанную систему.

(6) Более низкие капитальные и текущие/эксплуатационные расходы, связанные с установкой. Меньшее число единиц оборудования и модульных агрегатов приводит к меньшему объему строительных работ, механических работ, работ по сооружению трубопроводов, электротехнических работ и работ, связанных с контрольно-измерительным оборудованием, и выполнению графика строительства в меньшие сроки; все это способствует снижению затрат. В результате этого обеспечиваются простые операции, требующие меньшего количества обслуживающего и ремонтного персонала.

Следует понимать, что несмотря на то что применение по предшествующему уровню техники и публикации, относящиеся к предшествующему уровню техники, могут иметь отношение к тому, что описано здесь, подобный ссылочный материал не является признанием правильным того, что что-либо из этого образует часть известных общедоступных сведений в данной области техники, в Австралии или в любой другой стране.

Следует четко понимать, что для данного описания слово "содержащий" означает "включающий в себя, но не ограниченный (этим)", и что слово "содержит" имеет соответствующее значение.

Очевидны многочисленные варианты и модификации настоящего изобретения для специалистов в соответствующей области техники помимо тех, которые уже описаны, при этом данные варианты и модификации не будут отходить от базовых идей изобретения. Все подобные варианты и модификации должны рассматриваться как находящиеся в пределах объема настоящего изобретения, сущность которого должна определяться из вышеприведенного описания.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ сжижения углеводородного газа, в котором:
  - a) предварительно обрабатывают углеводородный сырьевой газ для удаления кислых веществ и воды из него;
  - b) создают зону охлаждения посредством циркуляции смеси холодильных агентов из системы охлаждения со смесью холодильных агентов и вспомогательного холодильного агента из вспомогательной системы охлаждения через зону охлаждения;
  - c) соединяют систему охлаждения со смесью холодильных агентов и вспомогательную систему охлаждения так, чтобы при этом вспомогательная система охлаждения приводилась в действие, по меньшей мере частично, посредством отходящего тепла, выделенного смесью холодильных агентов; и
  - d) пропускают предварительно обработанный сырьевой газ через зону охлаждения, в которой его охлаждают и расширяют для получения углеводородной жидкости, причём циркуляция смеси холодильных агентов через зону охлаждения состоит из следующих стадий, где:
    - i) сжимают смесь холодильных агентов в компрессоре;
    - ii) пропускают сжатую смесь холодильных агентов по первому теплообменному каналу, проходящему через зону охлаждения, в котором сжатую смесь холодильных агентов охлаждают и расширяют для получения охлаждающего средства из смеси холодильных агентов;
    - iii) пропускают охлаждающее средство из смеси холодильных агентов по второму теплообменному каналу, проходящему через зону охлаждения, для получения смеси холодильных агентов; и
    - iv) возвращают смесь холодильных агентов в компрессор посредством рециркуляции.
2. Способ по п.1, в котором предварительно обработанный сырьевой газ пропускают по третьему теплообменному каналу в зоне охлаждения.
3. Способ по п.1 или 2, в котором при циркуляции вспомогательного холодильного агента его пропускают по четвертому теплообменному каналу, проходящему через часть зоны охлаждения.
4. Способ по п.3, в котором потоки текучих сред во втором и четвертом теплообменных каналах проходят с осуществлением в них теплообмена противоточно по отношению к потокам текучих сред в первом и третьем теплообменных каналах.
5. Способ по любому из пп.1-4, в котором отходящее тепло получают от операции сжатия.
6. Способ по любому из пп.1-5, в котором дополнительно охлаждают воздух, поступающий в газовую турбину, непосредственно соединенную с компрессором, посредством вспомогательного холодильного агента.
7. Способ по п.6, в котором поступающий воздух охлаждают до температуры, находящейся в интервале от приблизительно 5 до 10°C.
8. Способ по любому из пп.1-7, в котором операция сжатия смеси холодильных агентов обеспечивает повышение давления смеси от приблизительно 30 до 50 бар.
9. Способ по любому из пп.1-8, в котором охлаждают сжатую смесь холодильных агентов перед пропуском её по первому теплообменному каналу.
10. Способ по п.9, в котором сжатую смесь холодильных агентов охлаждают до температуры ниже 50°C.
11. Способ по п.9 или 10, в котором сжатую смесь холодильных агентов охлаждают до приблизительно 10°C.
12. Способ по любому из пп.9-11, в котором в операции охлаждения сжатой смеси холодильных агентов её подают из компрессора в теплообменник.
13. Способ по п.12, в котором теплообменник представляет собой воздухоохладитель или водяной охладитель.
14. Способ по п.12 или 13, в котором в операции охлаждения сжатая смесь холодильных агентов проходит из компрессора в теплообменник и охлаждённая в теплообменнике сжатая смесь холодильных агентов дополнительно проходит в охлаждающий аппарат.
15. Способ по п.14, в котором охлаждающий аппарат приводится в действие, по меньшей мере частично, посредством отходящего тепла.
16. Способ по п.15, в котором отходящее тепло получают от операции сжатия.
17. Способ по любому из пп.1-16, в котором температура охлаждающего средства из смеси холодильных агентов находится на уровне температуры или ниже температуры, при которой предварительно обработанный сырьевой газ конденсируется.
18. Способ по п.17, в котором температура охлаждающего средства из смеси холодильных агентов

составляет менее  $-150^{\circ}\text{C}$ .

19. Способ по любому из пп.1-18, в котором смесь холодильных агентов содержит соединения, выбранные из группы, состоящей из азота и углеводородов, содержащих от 1 до 5 атомов углерода.

20. Способ по п.19, в котором смесь холодильных агентов содержит азот, метан, этан или этилен, изобутан и/или н-бутан.

21. Способ по п.19 или 20, в котором состав смеси холодильных агентов при нижеприведенных диапазонах мольных долей, выраженных в процентах, таков: азот - от приблизительно 5 до приблизительно 15; метан - от приблизительно 25 до приблизительно 35; C2 - от приблизительно 33 до приблизительно 42; C3 - от 0 до приблизительно 10; C4 - от 0 до приблизительно 20 и C5 - от 0 до приблизительно 20.

22. Способ по любому из пп.1-21, в котором углеводородный газ представляет собой природный газ или метан из угольных пластов.

23. Способ по п.22, в котором углеводородный газ получают из зоны охлаждения при температуре, которая равна или ниже температуры сжижения метана.

24. Система сжижения углеводородного газа, содержащая:

a) смесь холодильных агентов;

b) компрессор, предназначенный для сжатия смеси холодильных агентов;

c) охлаждающий теплообменник, предназначенный для охлаждения предварительно обработанного сырьевого газа для получения углеводородной жидкости, при этом охлаждающий теплообменник имеет первый теплообменный канал, сообщающийся по текучей среде с компрессором, второй теплообменный канал и третий теплообменный канал, причем первый, второй и третий теплообменные каналы проходят через зону охлаждения, и четвертый теплообменный канал, проходящий через часть зоны охлаждения, при этом теплообмен в потоках второго и четвертого теплообменных каналов осуществляется противоточно по отношению к потокам в первом и третьем теплообменных каналов; детандер, сообщающийся посредством текучей среды с выходом из первого теплообменного канала и входом во второй теплообменный канал;

d) трубопровод для рециркуляции смеси холодильных агентов, сообщающийся по текучей среде с выходом из второго теплообменного канала и входом в компрессор;

e) вспомогательную систему охлаждения, имеющую вспомогательный холодильный агент, сообщающийся по текучей среде с четвертым теплообменным каналом;

f) источник предварительно обработанного сырьевого газа, сообщающийся по текучей среде с входом третьего теплообменного канала; и

g) трубопровод для углеводородной жидкости, сообщающийся по текучей среде с выходом третьего теплообменного канала.

25. Система по п.24, в которой компрессор представляет собой одноступенчатый компрессор, приводимый в действие газовой турбиной.

26. Система по п.25, в которой компрессор представляет собой одноступенчатый центробежный компрессор.

27. Система по п.25, где компрессор представляет собой двухступенчатый компрессор, приводимый в действие соответствующими газовыми турбинами, с промежуточным охладителем и промежуточным скруббером.

28. Система по любому из пп.25-27, в которой газовая турбина соединена с парогенератором в конфигурации, посредством которой при использовании отходящее тепло из газовой турбины способствует образованию пара в парогенераторе.

29. Система по п.28, в которой парогенератор соединен с одним паротурбогенератором, спроектированным для выработки электрической энергии.

30. Система по п.29, в которой количество электрической энергии, вырабатываемой одним паротурбогенератором, достаточно для приведения в действие вспомогательной системы охлаждения.

31. Система по любому из пп.24-30, в которой вспомогательный холодильный агент содержит низкотемпературный аммиак и вспомогательная система охлаждения содержит один или несколько аммиачных охлаждающих агрегатов.

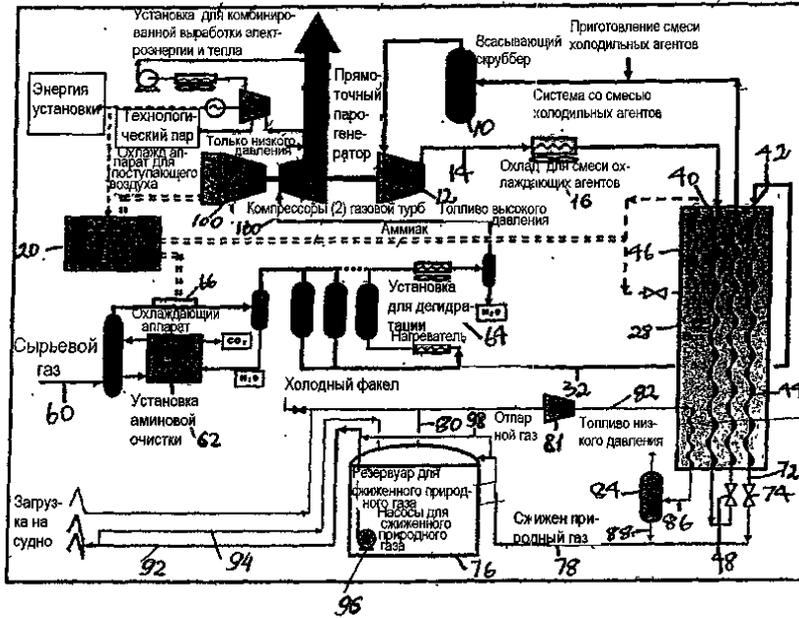
32. Система по п.31, которая содержит воздухоохладители для охлаждения одного или нескольких аммиачных охлаждающих агрегатов.

33. Система по любому из пп.25-32, в которой вспомогательная система охлаждения сообщается с газовой турбиной с обеспечением теплообмена, при этом сообщение с обеспечением теплообмена выполняется так, чтобы осуществить охлаждение воздуха, поступающего в газовую турбину, посредством вспомогательной системы охлаждения.

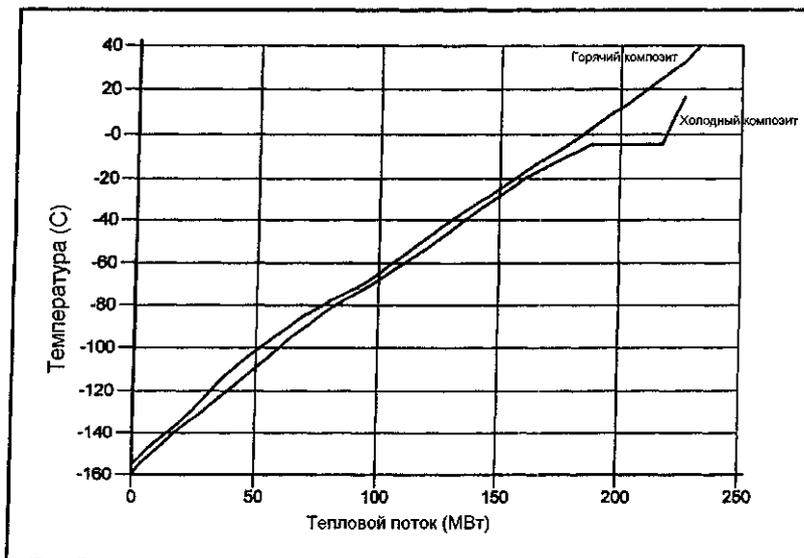
34. Система по любому из пп.24-33, причем система содержит охладитель, предназначенный для охлаждения сжатой смеси холодильных агентов перед поступлением сжатой смеси холодильных агентов в охлаждающий теплообменник.

35. Система по п.34, в которой охладитель представляет собой теплообменник с воздушным охлаждением или теплообменник с водяным охлаждением.

36. Система по любому из пп.24-35, в которой детандер, сообщающийся посредством текучей среды с выходом из третьего теплообменного канала и входом в резервуар для сжиженного природного газа, предназначен для дополнительного охлаждения углеводородной жидкости путём её расширения.



Фиг. 1



Кривые охлаждения композита

Фиг. 2

