

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F25J 1/02 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017108800, 16.03.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.03.2017Дата регистрации:
16.02.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.03.2017

(45) Опубликовано: 16.02.2018 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

121165, Москва, Г-165, а/я 15, ООО "ППФ-
ЮСТИС", Пилишкиной Л.С.

(72) Автор(ы):

Минигулов Рафаиль Минигулович (RU),
Руденко Сергей Владимирович (RU),
Васин Олег Евгеньевич (RU),
Грицишин Дмитрий Николаевич (RU),
Соболев Евгений Игоревич (RU)

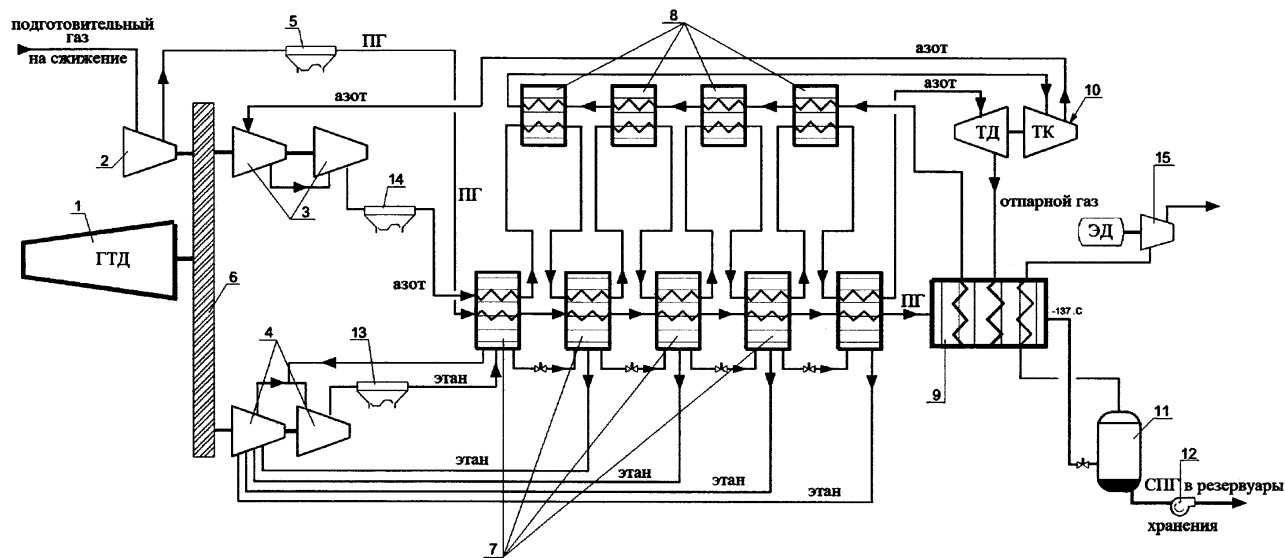
(73) Патентообладатель(и):

Публичное Акционерное Общество
"НОВАТЭК" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2538192 C1, 10.01.2015. RU
2344360 C1, 20.01.2009. WO 2004015346 A1,
19.02.2004. EA 12809 B1, 30.12.2009.(54) СПОСОБ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПО ЦИКЛУ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С
ПРЕДОХЛАЖДЕНИЕМ ЭТАНОМ И ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЕМ АЗОТОМ "АРКТИЧЕСКИЙ КАСКАД"
И УСТАНОВКА ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологии сжижения природного газа. Способ сжижения природного газа заключается в том, что подготовленный природный газ предварительно охлаждают, отделяют этан, переохлаждают сжижаемый газ с использованием охлажденного азота в качестве хладагента, снижают давление сжижаемого газа, отделяют несжиженный газ и отводят сжиженный природный газ. При этом перед предварительным охлаждением природный газ компримируют, отделение этана осуществляют в процессе многоступенчатого

предварительного охлаждения сжижаемого газа с одновременным испарением этана с использованием охлажденного этана в качестве хладагента. Этан, полученный при испарении, компримируют, конденсируют и используют в качестве хладагента при охлаждении сжижаемого газа и азота, причем азот компримируют, охлаждают, расширяют и подают на стадию переохлаждения природного газа. Изобретение направлено на упрощение технологического процесса сжижения природного газа. 2 н. и 8 з.п. ф-лы, 1 ил.



RU 2 6 4 5 1 8 5 C 1

RU 2 6 4 5 1 8 5 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
F25J 1/02 (2006.01)

(21)(22) Application: **2017108800, 16.03.2017**

(24) Effective date for property rights:
16.03.2017

Registration date:
16.02.2018

Priority:

(22) Date of filing: **16.03.2017**

(45) Date of publication: **16.02.2018** Bull. № 5

Mail address:

121165, Moskva, G-165, a/ya 15, OOO "PPF-YUSTIS", Pilishkinoj L.S.

(72) Inventor(s):

**Minigulov Rafail Minigulovich (RU),
Rudenko Sergej Vladimirovich (RU),
Vasin Oleg Evgenevich (RU),
Gritsishin Dmitrij Nikolaevich (RU),
Sobolev Evgenij Igorevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Publichnoe Aktsionernoe Obshchestvo
"NOVATEK" (RU)**

(54) **METHOD OF NATURAL GAS LIQUEFACTION BY THE CYCLE OF HIGH PRESSURE WITH THE PRECOOLING OF ETHANE AND NITROGEN "ARCTIC CASCADE" AND THE INSTALLATION FOR ITS IMPLEMENTATION**

(57) Abstract:

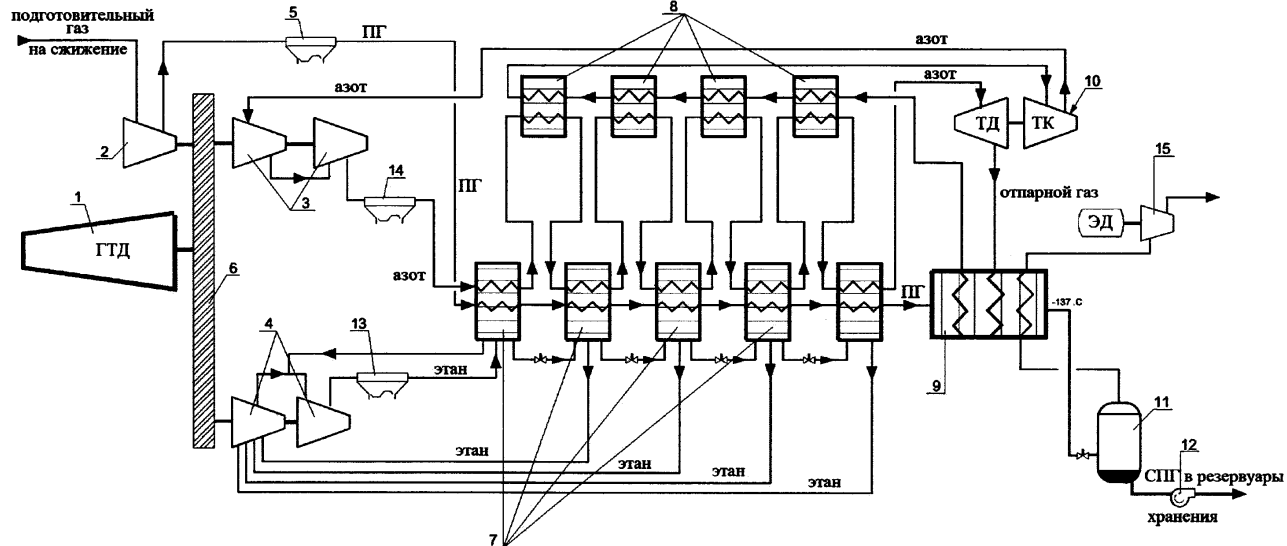
FIELD: gas production industry.

SUBSTANCE: invention relates to a natural gas liquefaction method. Method for liquefying natural gas consists in pre-cooling the prepared natural gas, separating ethane, supercool the liquefied gas with the use of cooled nitrogen as a coolant, reduce the pressure of the liquefied gas, separate the non-liquefied gas and withdraw the liquefied natural gas. In this case, before the preliminary cooling, the natural gas is compressed, the ethane is separated off in the process of multi-stage

pre-cooling of the liquefied gas with simultaneous evaporation of ethane using cooled ethane as a refrigerant. Ethane, obtained by evaporation, is compressed, condensed and used as a coolant upon cooling of the liquefied gas and nitrogen, with nitrogen being compressed, cooled, expanded and fed to a supercooling step of natural gas.

EFFECT: invention is aimed at simplifying of the technological process of liquefying natural gas.

10 cl, 1 dwg



Изобретение относится к технологиям сжижения природного газа для дальнейшей его перевозки речным и морским транспортом с последующей его регазификацией.

Известно множество способов сжижения природного газа, преимущественно основанных на отводе теплоты внешним хладагентом, из них в арктическом климате

5 применяются технологии сжижения C3MR, Philips Cascade, Shell DMR и Linde MFCP. Технология C3MR принята на заводе ПАО «НОВАТЭК» на Ямале в п. Сабетта - проект «Ямал-СПГ».

Изначально технологический процесс C3MR (GB 1291467 A, 04.10.1972) был разработан фирмой Air Products для завода СПГ в Брунее. Технология основана на

10 последовательном охлаждении природного газа сначала в трех теплообменниках с использованием независимого парокомпрессионного цикла на пропане, а затем в двухзонном многосекционном теплообменнике с использованием цикла на смеси хладагентов, для предварительного охлаждения которой применяется также пропановый цикл в двух теплообменниках.

15 Процесс C3MR применяется более чем на 80% от общего числа технологических ниток.

Недостатком процесса в условиях арктического климата является неполное использование холода окружающей природной среды. Если для экваториального климата отвод тепла от газа и смешанного хладагента (СХА) в пропановом контуре

20 совершается в диапазоне температур от +45 град. С до -34 град.С, то в арктическом климате этот диапазон может начинаться с +10 град.С. В итоге основная компрессорная мощность расходуется на сжатие смешанного хладагента второго контура.

Компрессорные мощности привязаны к типоразмеру газовых приводов. Для технологической нитки производительностью 5 млн. тн/год СПГ используются приводы

25 мощностью 86 МВт. Максимально использовать эту мощность при смещении баланса ее потребления в сторону СХА возможно только, увеличивая массогабаритные характеристики основного криогенного теплообменника.

Технология Philips Cascade используется компанией Conoco Phillips на ряде заводов СПГ (Аляска, Тринидад и Тобаго и др.)

30 Технология основана на последовательном охлаждении газа в трех контурах - пропаном, этиленом и метаном. Конденсация пропана осуществляется в аппаратах воздушного охлаждения, этилен конденсируется парами пропана, метан - парами этилена.

Природный газ, предварительно очищенный от влаги и углекислоты, подается в

35 теплообменники при давлении 41 бар и после охлаждения и дросселирования направляется в резервуары. В каждом контуре предусмотрено трехкратное расширение хладагентов с подачей обратных потоков после теплообменников на соответствующие ступени многоступенчатых центробежных компрессоров. Давление нагнетания пропановой ступени компрессора составляет 15,2 бар, дросселирование осуществляется

40 до давлений 5,5; 3,15 и 1,37 бар. На этиленовой ступени давление снижается с 20,5 до 5,5; 2,05 и 1,72 бар, в последнем контуре - с давления 37,2 бар до давлений 14,8; 5,8 и 2,05 бар.

Недостатком технологии является низкое давление сжижаемого газа (41 бар), из-за чего возрастают удельные энергозатраты на сжижение, большое количество единиц

45 оборудования, необходимость доставки хладагента этилена от сторонних поставщиков, сложная схема регулирования потоков хладагента - 3 трехступенчатых компрессора, 9 антипомпажных контуров.

Технология Shell DMR (US 6390910 A, 21.05.2002) применена компанией Shell на

заводе по сжижению на о. Сахалин.

Процесс DMR заключается в применении 2-х смешанных хладагентов. Сжижение газа в двух контурах, в каждом из которых охлаждение газа осуществляется смешанными хладагентами различного состава. В каждом контуре используется

5 многопоточный витой теплообменник. В первом контуре газ охлаждается парами хладагента, предварительно сконденсировавшегося в трубном пространстве теплообменника, а также охлаждается хладагент второго контура. Во втором теплообменнике газ переохлаждается на 2-х уровнях трубной обвязки парами сконденсировавшегося в трубном пучке хладагента 2-го контура.

10 Процесс наиболее полно соответствует холодному климату. Недостатки процесса - сложная схема управления 2 контурами СХА. На практике переход от одного состава СХА к другому в зависимости от времени года оказалось сложно прогнозируемым мероприятием и применяется на заводе СПГ на о. Сахалин не чаще 2-3 раз в год.

Технология Linde MFCS (US 6253574 A, 03.07.2001)) используется для сжижения

15 природного газа компанией Statoil на заводе в г. Хамерфест Норвегия.

Процесс сжижения MFCS основан на последовательном охлаждении газа в трех контурах тремя смешанными хладагентами различного состава. В первом контуре используются 2 последовательно расположенных пластинчатых теплообменника, работающие на 2-х уровнях давления. Хладагентом первого контура является смесь

20 пропан-этан. Пары пропан-этановой смеси конденсируются морской водой, охлаждаются в пластинчатых теплообменниках первого контура и отдают холод сжижаемому газу и хладагенту второго контура.

Второй контур предназначен для сжижения природного газа в витом теплообменнике с применением в качестве хладагента смеси пропан-этан-метан. В третьем контуре

25 происходит переохлаждение сжиженного газа парами азота-метана-этана. Для переохлаждения используется витой спиральный теплообменник также, как и во втором контуре. Во всех трех контурах первичное охлаждение газа осуществляется морской водой.

Недостатком процесса является сложная схема управления из-за применения трех

30 типов смешанного хладагента, а также большое количество типов теплообменного и компрессорного оборудования.

ОАО «ГАЗПРОМ» запатентован способ сжижения природного газа, заключающийся в том, что предварительно очищенный и осушенный природный газ охлаждают и конденсируют в теплообменнике предварительного охлаждения, затем сепарируют,

35 отделяя жидкую этановую фракцию, которую направляют на фракционирование, а газовый поток с первого сепаратора последовательно охлаждают в теплообменнике сжижения, используя смешанный хладагент, переохлаждают газообразным азотом в теплообменнике переохлаждения, давление переохлажденного СПГ снижают в жидкостном детандере, и переохлажденный СПГ направляют на сепарирование, после

40 чего сжижаемый газ направляют в емкость хранения СПГ, отсепарированный газ направляют в систему топливного газа. Установка для сжижения природного газа содержит теплообменник предварительного охлаждения, пять сепараторов, два дросселя, теплообменник сжижения, три компрессора, предназначенных для сжатия смешанного хладагента, пять воздушных охладителей, два насоса, жидкостный детандер,

45 теплообменник переохлаждения, турбодетандерный агрегат, включающий детандер и компрессор, два компрессора азотного цикла (RU 2538192 C1, опуб. 10.01.2017).

Недостатком способа и установки по RU 2538192 C1 является сложная схема управления контуром предварительного охлаждения. Наличие жидкой фазы после

каждой ступени сжатия приводит к трудно прогнозируемым изменениям в работе первичного контура охлаждения газа при изменении любого из параметров - температура воздуха, степень сжатия хладагента, снижение-повышение производительности.

- 5 Наиболее близким технологическим способом сжижения природного газа и соответствующей установкой к предложенным является способ сжижения природного газа и установка для его осуществления по патенту RU 2538192 C1, компании ОАО «Газпром».

10 Технической проблемой, решаемой предлагаемой технологией сжижения природного газа, является упрощение технологического процесса, стабильность работы при изменении параметров процесса сжижения и снижение капитальных затрат на оборудование.

Техническая проблема решается способом сжижения природного газа, заключающимся в том, что подготовленный природный газ предварительно охлаждают, 15 отделяют этан, переохлаждают сжижаемый газ с использованием охлажденного азота в качестве хладагента, снижают давление сжижаемого газа, отделяют несжиженный газ и отводят сжиженный природный газ (СПГ), и отличающимся тем, что перед предварительным охлаждением природный газ сжимают (компримируют?), отделение этана осуществляют в процессе многоступенчатого предварительного охлаждения 20 сжижаемого газа с одновременным испарением этана с использованием охлажденного этана в качестве хладагента, при этом этан, полученный при испарении, компримируют, конденсируют и используют в качестве хладагента при охлаждении сжижаемого газа и азота, причем азот компримируют, охлаждают, расширяют и подают на стадию переохлаждения природного газа.

25 Кроме того, испарение этана осуществляют в последовательно установленных испарителях, охлаждение азота осуществляют путем его поочередной подачи в испарители и в теплообменники азот-азот между ними, а в качестве хладагента в теплообменниках азот-азот используют обратный поток азота, поступающего со стадии переохлаждения сжимаемого газа.

30 Кроме того, охлаждение природного газа осуществляют при высоком давлении в однофазном состоянии, исключаящем процессы фазового перехода.

Кроме того, при предварительном охлаждении природного газа используют окружающий воздух или воду водного бассейна арктического, или антарктического, или близких к ним регионов.

35 Кроме того, в процессе переохлаждения природного газа в качестве хладагентов используют сжижаемый газ в однофазном критическом состоянии и газообразный азот.

Кроме того, каждый аппарат охлаждения представляет собой аппарат воздушного или водяного охлаждения с использованием воздуха или воды окружающей среды.

40 Техническая проблема решается также установкой для сжижения природного газа, характеризующейся тем, что она содержит линию сжижения природного газа, контур этана и контур азота, линия сжижения природного газа включает последовательно соединенные компрессор природного газа, аппарат воздушного охлаждения, испарители этана, концевой многопоточный теплообменник переохлаждения и сепаратор, контур этана включает последовательно соединенные по меньшей мере один компрессор этана, 45 аппарат воздушного охлаждения, указанные испарители этана, выходы которых соединены с входами, по меньшей мере, одного компрессора, контур азота включает последовательно соединенные, по меньшей мере, один компрессор азота, аппарат воздушного охлаждения, указанные испарители этана, между которыми подсоединены

теплообменники азот-азот, турбодетандер, указанный концевой многопоточный теплообменник переохлаждения, указанные теплообменники азот-азот и турбокомпрессор, соединенный с входом компрессора азота.

Кроме того, выход сепаратора для несжиженного отпарного газа соединен с концевым многопоточным теплообменником переохлаждения, выход которого для отпарного газа соединен с компрессором отпарного газа.

Кроме того, турбодетандер и турбокомпрессор объединены в детандер-компрессорный агрегат.

Кроме того, привод всех компрессоров представляет собой газотурбинный двигатель, соединенный с мультипликатором, который подсоединен к каждому компрессору.

Технический результат, достигаемый при использовании предложенных способа и устройства, заключается в следующем.

По сравнению с технологией ОАО «Газпром» в предлагаемой технологии «Арктический каскад» в первом контуре ожижения применяется чистый хладагент этан вместо смешанного хладагента (СХА). Такое решение значительно упрощает процесс сжижения, позволяет применять простые испарители вместо сложных многопоточных теплообменников для смешанного хладагента, расширяет перечень заводов, способных изготовить необходимое оборудование.

Использование для предварительного охлаждения этана вместо СХА приводит к снижению капитальных затрат на установку фракционирования хладагента, снижает размеры склада-хранилища, исключает из схемы узел смешения чистых хладагентов для приготовления смешанного.

При значительно более простой технологической схеме энергозатраты на процесс сжижения по технологии «Арктический каскад» и патенту RU 2538192 C1 схожи и для температуры окружающего воздуха +5 град.С составляют примерно 240 кВт/тонну СПГ.

В технологии «Арктический каскад» на одну технологическую линию применяется один привод, распределяющий свою мощность через мультипликатор, а в технологии по патенту RU 2538192 C1 принято применение двух приводов, что увеличивает затраты и номенклатуру оборудования.

Принципиальная схема предложенной установки, поясняющая предложенный способ сжижения природного газа, представлена на чертеже.

Линия сжижения природного газа включает последовательно соединенные компрессор 2 природного газа, аппарат 5 воздушного охлаждения, испарители 7 этана, концевой многопоточный теплообменник 9 переохлаждения и сепаратор 10.

Контур этана включает последовательно соединенные по меньшей мере один компрессор 4 этана (на схеме показаны два подключенных последовательно компрессора 4), аппарат 13 воздушного охлаждения и указанные испарители 7 этана, выходы которых соединены с входами, по меньшей мере, одного компрессора 4. На схеме показано, что выход первого испарителя 7 подключен к входу второго компрессора 4, а выходы остальных испарителей 7 соединены со ступенями первого компрессора 4.

Контур азота включает последовательно соединенные, по меньшей мере, один компрессор 3 азота (на схеме показаны два подключенных последовательно компрессора 3), аппарат 14 воздушного охлаждения, указанные испарители 7 этана, между которыми подсоединены теплообменники 8 азот-азот, турбодетандер детандер-компрессорного агрегата 10, указанный концевой многопоточный теплообменник 9 переохлаждения, указанные теплообменники 8 азот-азот и турбокомпрессор детандер-

компрессорного агрегата 10, соединенный с входом первого компрессора 3 азота.

Выход сепаратора 11 для несжиженного газа соединен с концевым многопоточным теплообменником 9 переохлаждения, выход которого для отпарного газа соединен с компрессором 15 отпарного газа.

5 Кроме того, привод всех компрессоров 2, 3, 4 представляет собой газотурбинный двигатель 1, соединенный с мультипликатором 6 с распределением мощности на каждый компрессор 2, 3, 4.

Способ сжижения природного газа осуществляется следующим образом.

Подготовленный к сжижению природный газ (ПГ) (очищенный от паров воды, углекислого газа и других загрязняющих примесей) поступает на компрессор 2 природного газа, компримируется до требуемого давления, охлаждается за счет холода окружающей среды в аппарате или аппаратах 5 воздушного либо водяного охлаждения до температуры порядка +10 град.С и направляется в испарители 7 этана для предварительного охлаждения. Последовательно охладившись в испарителях 7, газ с температурой порядка -84 град.С поступает в многопоточный концевой многопоточный теплообменник 9 переохлаждения газа, в котором переохлаждается азотом и отпарным газом до температуры примерно -137 град.С. Затем давление газа сбрасывается на дросселе до 1,5 атм, при этом его температура снижается примерно до -157 град.С, после чего газожидкостной поток поступает в концевой сепаратор 11. Из сепаратора 11 СПГ насосом 12 направляется в резервуары хранения, а несжиженная часть газа направляется в концевой теплообменник 9, отдает холод сжижаемому потоку газа, сжимается компрессором 13 отпарного газа до давления 30 атм. Часть отпарного газа направляется в топливную сеть завода, а часть поступает на рецикл в начало процесса сжижения.

В предварительном контуре охлаждения хладагентом является этан. Газообразный этан от испарителей 7 с различным давлением поступает на многоступенчатый компрессор 4 (компрессоры), дожимается до давления 3 МПа и конденсируется в аппаратах 13 воздушного охлаждения при температуре +10 град.С и ниже. Жидкий этан направляется в испарители 7, в которых на различных уровнях давления азот охлаждает газ до температуры порядка -84 град.С. Газообразный этан от испарителей 7 направляется к компрессору 4 (компрессорам) и далее по циклу.

Компримированный компрессорами 3 до уровня примерно 10 МПа азот охлаждается в аппаратах 14 воздушного охлаждения, поступает попеременно в испарители 7 этана и в теплообменники 8 азот-азот и, охладившись обратным потоком азота и в этановых испарителях 7 до температуры порядка -84 град.С, далее поступает на детандер, в качестве нагрузки которого в детандер-компрессорном агрегате 10 служит дожимной компрессор отпарного газа. Сбросив давление на детандере до 2,6 МПа и охладившись до -140 град.С, азот поступает в концевой многопоточный теплообменник 9 переохлаждения газа. Отдав холод потоку сжижаемого газа, азот проходит рекуперативные теплообменники 8 азот-азот, поступает на компрессор детандер-компрессорного агрегата 10, сжимается до 6 МПа, поступает на вход компрессора 3, дожимается до 10 МПа и направляется в цикл.

Технологическая схема работает в номинальном режиме при температуре окружающей среды +5 град.С и ниже. При температуре выше +5 град.С производительность технологической нитки начинает снижаться. Поскольку технология разрабатывается для арктических и антарктических широт, то для конденсации этана в аппаратах 13 в жаркий летний период также могут быть использованы воды арктических либо антарктических морей, заливов и иных водоемов, которые даже в

летний период имеют низкую температуру.

В целях оптимизации кинематической схемы и снижения количества единиц вращающегося оборудования все компрессоры 2, 3, 4 для компримирования газа, этана и азота могут приводиться в движение единым газотурбинным двигателем 1, с распределением мощности на каждый компрессор через мультипликатор 6.

Расчетные энергетические затраты на производство СПГ по технологии «Арктический каскад» составляют около 220 кВт на тонну.

(57) Формула изобретения

1. Способ сжижения природного газа, в котором подготовленный природный газ предварительно охлаждают, отделяют этан, переохлаждают сжижаемый газ с использованием охлажденного азота в качестве хладагента, снижают давление сжижаемого газа, отделяют несжиженный газ и отводят сжиженный газ, отличающийся тем, что перед предварительным охлаждением природный газ компримируют, отделение этана осуществляют в процессе многоступенчатого предварительного охлаждения сжижаемого газа с одновременным испарением этана с использованием охлажденного этана в качестве хладагента, при этом этан, полученный при испарении, компримируют, конденсируют и используют в качестве хладагента при охлаждении сжижаемого газа и азота, причем азот компримируют, охлаждают, расширяют и подают на стадию переохлаждения природного газа.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что испарение этана осуществляют в последовательно установленных испарителях, охлаждение азота осуществляют путем его поочередной подачи в испарители и в теплообменники азот-азот между ними, а в качестве хладагента в теплообменниках азот-азот используют обратный поток азота, поступающего со стадии переохлаждения сжимаемого газа.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что охлаждение природного газа осуществляют при высоком давлении в однофазном состоянии, исключаяющем процессы фазового перехода.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что при предварительном охлаждении природного газа используют окружающий воздух или воду водного бассейна арктического, или антарктического, или близких к ним регионов.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в процессе переохлаждения природного газа в качестве хладагентов используют сжижаемый газ в однофазном критическом состоянии и газообразный азот.

6. Установка для сжижения природного газа, характеризующаяся тем, что содержит линию сжижения природного газа, контур этана и контур азота, линия сжижения природного газа включает последовательно соединенные компрессор природного газа, аппарат охлаждения, испарители этана, концевой теплообменник переохлаждения и сепаратор, контур этана включает последовательно соединенные по меньшей мере один компрессор этана, аппарат охлаждения, указанные испарители этана, выходы которых соединены с входами, по меньшей мере, одного компрессора, контур азота включает последовательно соединенные, по меньшей мере, один компрессор азота, аппарат охлаждения, указанные испарители этана, между которыми подсоединены теплообменники азот-азот, турбодетандер, указанный концевой теплообменник переохлаждения, указанные теплообменники азот-азот и турбокомпрессор, соединенный с входом компрессора азота.

7. Установка по п. 6, в которой выход сепаратора для несжиженного отпарного газа соединен с концевым теплообменником переохлаждения, выход которого для отпарного

газа соединен с компрессором отпарного газа.

8. Установка по п. 6, в которой турбодетандер и турбокомпрессор объединены в детандер-компрессорный агрегат.

5 9. Установка по п. 6, в которой привод всех компрессоров представляет собой газотурбинный двигатель, соединенный с мультипликатором, который подсоединен к каждому компрессору.

10. Установка по п. 6, в которой каждый аппарат охлаждения представляет собой аппарат воздушного или водяного охлаждения с использованием воздуха или воды окружающей среды.

10

15

20

25

30

35

40

45

