

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2665088

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Рузманов Александр Юрьевич (RU), Воронов Владимир Александрович (RU), Кириллов Николай Геннадьевич (RU)*

Заявка № 2017120633

Приоритет изобретения 13 июня 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 28 августа 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 13 июня 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F25J 1/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017120633, 13.06.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.06.2017

Дата регистрации:
28.08.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.06.2017

(45) Опубликовано: 28.08.2018 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет", отдел интеллектуальной
собственности и трансфера технологий (отдел
ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Рузманов Александр Юрьевич (RU),
Воронов Владимир Александрович (RU),
Кириллов Николай Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

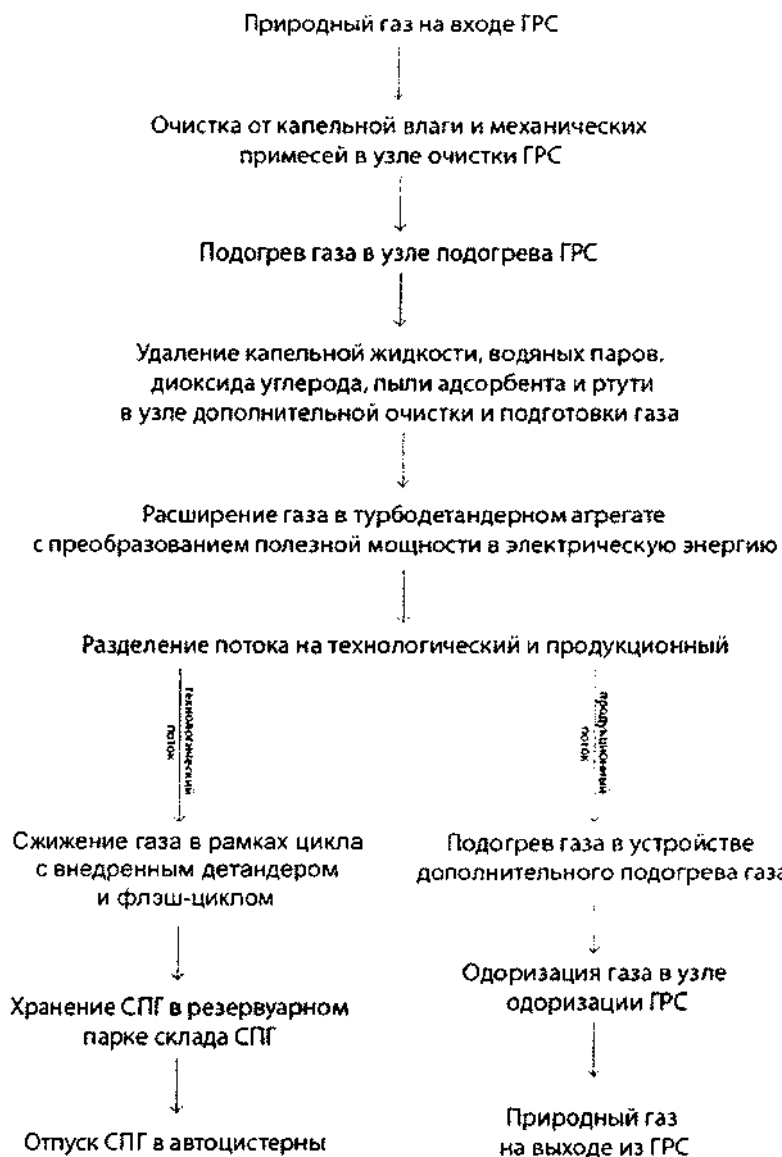
о поиске: RU 133250 U1, 10.10.2013. RU
2612240 C1, 03.03.2017. RU 2154779 C2,
20.08.2000. US 5916260 A1, 29.06.1999. US
20090107174 A1, 30.04.2009.

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к газовой промышленности, конкретно к технологиям сжижения природного газа (СПГ). Способ получения сжиженного природного газа в условиях газораспределительной станции включает предварительную очистку газа, подогрев газа, расширение газа в турбодетандере, сжижение газа в рамках цикла сжижения природного газа с внедренным детандером и флэш-циклом, хранение газа в резервуарном парке. Полезную мощность турбодетандера используют для выработки электрической энергии. После расширения в турбодетандере поток газа разделяют на технологический,

предназначенный для сжижения, который направляют в цикл сжижения природного газа с внедренным детандером и флэш-циклом, и продукционный, предназначенный для подачи потребителю, который после дополнительного подогрева одорируют и направляют на выход из ГРС. Сброс паровой фазы из резервуарного парка сжиженного природного газа осуществляют в следующий за флэш-циклом конденсатосборник. Техническим результатом изобретения является обеспечение наиболее полного использования избыточной энергии магистрального потока. 1 ил.



Фиг. 1

RU 2665088 C1

RU 2665088 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
F25J 1/00 (2006.01)

(21)(22) Application: **2017120633, 13.06.2017**

(24) Effective date for property rights:
13.06.2017

Registration date:
28.08.2018

Priority:

(22) Date of filing: **13.06.2017**

(45) Date of publication: **28.08.2018** Bull. № 25

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet", otdel
intellektualnoj sobstvennosti i transfera
tekhnologij (otdel IS i TT)**

(72) Inventor(s):

**Ruzmanov Aleksandr Yurevich (RU),
Voronov Vladimir Aleksandrovich (RU),
Kirillov Nikolaj Gennadevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet" (RU)**

(54) **LIQUEFIED NATURAL GAS UNDER CONDITIONS OF THE GAS DISTRIBUTION STATION PRODUCTION METHOD**

(57) Abstract:

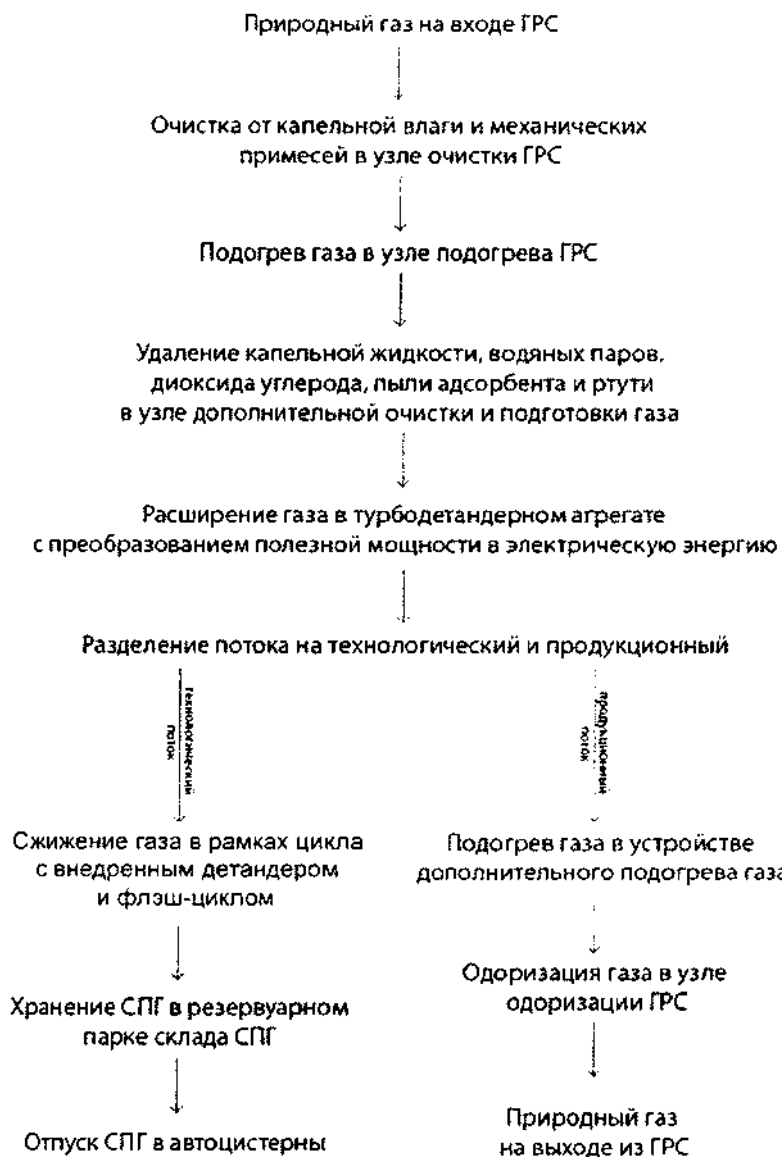
FIELD: oil and gas industry.

SUBSTANCE: invention relates to the gas industry, specifically to the natural gas (LNG) liquefaction technologies. Liquefied natural gas under conditions of the gas distribution station production method includes preliminary gas purification, gas preheating, gas expansion in the turboexpander, gas liquefaction within the liquefying natural gas cycle with the embedded expander and flash-cycle, gas storage in the tank farm. Turboexpander useful power is used for the electrical energy generation. After expansion in the turboexpander, the gas flow is divided into process gas

for liquefaction, which is sent to the natural gas liquefaction cycle with the embedded expander and flash cycle, and production, intended for supply to the consumer, which after additional heating is odorized and sent to the gas distribution system outlet. Vapor phase discharge from the LNG tank farm to the condensate collector is performed in the next after the flash cycle.

EFFECT: enabling the mainstream excess energy most complete use.

1 cl, 1 dwg



Фиг. 1

RU 2665088 C1

RU 2665088 C1

Изобретение относится к газовой промышленности, конкретно к технологиям сжижения природного газа (СПГ).

Известен способ сжижения природного газа (патент РФ №2247908, опублик. 10.03.2005 г.), согласно которому газ с входа газораспределительной станции (ГРС) разделяют на два потока, один из которых подают в расширительную турбину детандер-компрессорного агрегата, а второй - в газовый компрессор этого же агрегата.

Охлажденный газ с выхода турбины направляют в межтрубное пространство одного из двух переключающихся теплообменников-вымораживателей, а затем на выход ГРС. Сжатый газ с выхода газового компрессора также разделяют на две части, одну из которых направляют сначала в один из двух переключающихся теплообменников-вымораживателей, а затем в рекуперативный теплообменник. После теплообменника газ разделяют на два потока, каждый из которых дросселируют, и один подают в конденсатосборник, а другой смешивают с газом низкого давления, выходящим из конденсатосборника. Вторую часть потока сжатого газа с выхода газового компрессора направляют в вихревую трубу, генерирующую горячий газ низкого давления для отогрева выведенного из работы предварительного теплообменника-вымораживателя и холодный, подаваемый на дополнительное охлаждение потока сжатого газа, проходящего через работающий предварительный теплообменник-вымораживатель.

Недостатки данного способа заключаются в подключении внедряемого оборудования параллельно самой станции, что приводит к неполному извлечению избыточной энергии магистрального потока газа. Также в рамках данного способа применяется такое сложное в изготовлении оборудование, обладающее низкими показателями надежности, как детандер-компрессорный агрегат и вихревая труба. Отсутствие системы предварительной очистки и осушки газа создает опасность выпадения конденсата в турбине детандер-компрессорного агрегата.

Известен способ сжижения природного газа (патент РФ №2306500, опублик. 20.09.2007 г.), который предполагает, что газовый поток с входа газораспределительной станции разделяется на три потока, один из которых подается в основной теплообменник верхнего температурного уровня, второй - параллельно ему в байпасный трубопровод с регулирующим вентиляем, третий поток подается на вход вспомогательного теплообменника. Далее первый и второй потоки смешиваются, а затем снова разделяются на две части, большая часть направляется на вход расширительной турбины детандер-компрессорного агрегата, а меньшая часть - на вход теплообменника нижнего температурного уровня. Охлажденный газ низкого давления с выхода детандера последовательно направляется в основной теплообменник нижнего температурного уровня, основной теплообменник верхнего температурного уровня, а затем на вход компрессора - детандер компрессорного агрегата, где он сжимается до давления, соответствующего давлению газа на выходе с газораспределительной станции, и направляется в ее выходную магистраль. Охлажденный газ высокого давления после основного теплообменника нижнего температурного уровня смешивается с потоком газа после вспомогательного теплообменника, дросселируется, несжижившаяся часть отводится и подается в вспомогательный теплообменник и далее на выход газораспределительной станции.

Недостатки данного способа заключаются в неполном извлечении избыточной энергии магистрального потока газа, за счет подключения внедряемого оборудования параллельно самой станции. Низкие показатели надежности оборудования детандер-компрессорного агрегата снижают данный показатель для всего способа. Предлагаемая система очистки газа не позволяет избежать образования отложений и выпадения

жидкой фазы компонентов газовой смеси в турбодетандерном агрегате.

Известен способ сжижения природного газа (патент РФ №2541360, опубл. 10.02.2015 г.), согласно которому входящий поток газа очищают от примесей и компримируют до разделения его на технологический и продукционный потоки. Технологический поток пропускают через детандер, оборудованный газовой турбиной, вращающий момент которой используют для компримирования входящего потока газа до разделения его на технологический и продукционный потоки. Технологический поток очищают от примеси тяжелых углеводородов путем их конденсации в сопловом аппарате детандера, который выполняют из теплопроводящего материала. Жидкую фазу переохлаждают перед скачиванием в емкость потребителя.

Недостатки данного способа заключаются в подключении внедряемого оборудования параллельно газораспределительной станции, что приводит к неполному извлечению избыточной энергии магистрального потока газа. За счет применения вращательного момента на валу турбодетандера для непосредственного приведения в действие компрессора создается ситуация, при которой наблюдается взаимная зависимость работы данного оборудования. Конденсация тяжелых углеводородов в сопловом узле детандера обладает недостаточной эффективностью для полного исключения попадания конденсата на лопатки рабочего колеса турбины, что приводит к снижению надежности оборудования.

Известен способ сжижения природного газа (патент РФ №2534832, опубл. 10.12.2014 г.), который заключается в отводе потока газа из магистрального трубопровода высокого давления, расширении его в многоступенчатой турбине с получением в ней механической энергии, теплообмене в теплообменнике и раздаче полученного газа низкого давления потребителю, при этом газ из магистрального трубопровода высокого давления направляют на вход тракта горячего теплоносителя теплообменного устройства и охлаждают, а на выходе из тракта его направляют в многоступенчатую турбину, где охлажденный поток газа расширяют до давления меньше заданного давления подачи потребителю в трубопроводе низкого давления, при котором подаваемый поток сжатого природного газа меняет свои параметры и свое агрегатное состояние, переходя из однофазного на входе в многоступенчатую турбину в двухфазный поток на выходе из нее, при этом из последнего отделяют в сепараторе жидкую фазу и направляют для раздачи в трубопровод сжиженного газа, а оставшуюся после отделения часть потока направляют на вход тракта холодного теплоносителя теплообменного устройства для подогрева при теплообмене с подаваемым потоком сжатого природного газа из магистрального трубопровода высокого давления и далее сжимают эту часть в дожимающем компрессоре до давления, равного давлению в трубопроводе низкого давления, одновременно нагревая ее до положительных температур, а затем направляют для раздачи в трубопровод низкого давления, причем на сжатие этой части природного газа в компрессоре используют механическую энергию расширения, полученную в многоступенчатой турбине, при этом отделение сжиженной части природного газа осуществляют после каждой ступени турбины.

Основным недостатком данного способа является то, что сжижение природного газа только за счет его расширения в турбине турбодетандера создает условия для образования конденсата в корпусе агрегата, что негативно сказывается на работе оборудования. Использование полезной мощности на валу турбодетандера для компримирования газа до величины необходимой для дальнейшей его поставки по трубопроводу низкого давления потребителю значительно ограничивает возможный диапазон регулирования расходов газа, что неприемлемо для объектов, выполняющих

функции редуцирования с целью дальнейшей поставки потребителям, в силу неравномерности потребления газа.

Известен способ получения сжиженного природного газа с внедренным детандером и флэш-циклом, представляющим собой холодильный цикл с использованием испарительного теплообменника, «Integrated methane expander and flash cycle» (Roberts M.J. Briton refrigeration cycles for small-scale LNG / Mark J. Roberts, Fei Chen, Öznur Saygi-Arslan // Gas Processing. - 2015. - Vol. 4(1). - P. 27-32), принятый за прототип, согласно которому природный газ подвергается охлаждению в основном теплообменнике, затем сжиженный газ отделяется от паровой фазы в конденсатосборнике, после чего направляется во второй конденсатосборник через флэш-цикл, где происходит теплообмен с паровой фазой из второго конденсатосборника. Паровая фаза подлежит компримированию и повторному охлаждению в основном теплообменнике. Охлаждение достигается за счет метанового замкнутого контура с интегрированным детандером.

Основным недостатком данного способа является отсутствие турбодетандерного оборудования, позволяющего использовать избыточную энергию магистрального потока газа. Помимо этого, данный способ не предусматривает подключения к газораспределительной станции, то делает невозможным его применение в исходном виде.

Техническим результатом является создание высокоэффективного способа получения сжиженного природного газа за счет оптимального применения энергии, полученной при расширении от перепада давлений на входе в газораспределительную станцию и на выходе из нее.

Технический результат достигается тем, что полезную мощность турбодетандерного агрегата используют для выработки электрической энергии, после расширения в турбодетандере поток газа разделяют на технологический, предназначенный для сжижения, который направляют в цикл сжижения природного газа с внедренным детандером и испарительным циклом, и продукционный, предназначенный для подачи потребителю, который после дополнительного подогрева одорируют и направляют на выход из ГРС, сброс паровой фазы из резервуарного парка сжиженного природного газа осуществляют в следующий за флэш-циклом конденсатосборник.

Способ поясняется следующей фигурой:

фиг. 1 - способ получения сжиженного природного газа в условиях газораспределительной станции;

фиг. 2 - графики зависимостей доли извлекаемой при помощи турбодетандерной установки энергии в энергозатратах на производство сжиженного природного газа в условиях ГРС Сокол;

фиг. 3 - график удельные энергозатраты на сжижение природного газа при различных значениях давлений и температур.

Способ осуществляется следующим образом. Газ из магистрального газопровода поступает на вход ГРС, после чего направляется в узел очистки ГРС, где проходит первоначальную очистку от пыли и капельной влаги, затем, при необходимости, газ подогревают в узле подогрева ГРС до температуры 283-285 К.

После чего газ проходит через узел дополнительной очистки и подготовки газа, где предусматривается удаление капельной жидкости из потока газа, чтобы избежать образования гидратов в криогенной секции. Дальнейшая очистка природного газа от водяных паров и диоксида углерода CO_2 проводится в аппаратах-осушителях, заполненных адсорбентом. В качестве адсорбента применяются молекулярные сита. Осушенный и очищенный природный газ после осушителей проходит через фильтры-

пылеуловители для удаления пыли адсорбента. Для удаления паров ртути предусмотрен специализированный мембранный адсорбер.

В случае же, когда турбодетандер простаивает, используется узел редуцирования ГРС.

5 После очистки поток газа редуцируется в турбодетандерном агрегате с подключенным электрогенератором с 5,2-5,4 МПа до 0,6 МПа, в результате чего на валу турбодетандерного агрегата генерируется полезная мощность, которая затем используется для выработки электрической энергии в подключенном электрогенераторе, после чего поток газа разделяется на технологический и производственный.

10 Производственный поток направляется к узлу одоризации газа, проходя через устройство дополнительного подогрева газа, предназначенное для повышения температуры газа до необходимой величины от 273 до 281 К, требуемой нормативно-технической документацией, после чего производится учет газа и поток направляется в газораспределительные сети к потребителям.

15 Технологический поток газа при низкой температуре, от 195 до 200 К, направляется в основной теплообменник цикла сжижения с внедренным детандером и флэш-циклом, пройдя через который, оказывается в конденсатосборнике при температуре 135-137 К и давлении 0,6 МПа. Охлаждение технологического потока газа в рамках основного теплообменника достигается за счет основного метанового цикла, в котором
20 задействован компрессор основного цикла с электродвигателем, теплообменник основного цикла типа холодильник, и детандер основного цикла с подключенным электрогенератором. Но также эффективность охлаждения потока в основном теплообменнике повышается за счет теплообмена с паровой фазой из конденсатосборников, которая подвергается повторному сжижению в рамках цикла
25 сжижения паровой фазы, в котором задействован компрессор цикла сжижения паровой фазы и теплообменник типа холодильник цикла сжижения паровой фазы. При перетекании СПГ из одного конденсатосборника в другой паровая фаза из первого теплообменника перед попаданием в цикл сжижения паровой фазы подвергается
30 теплообмену с СПГ из последующего конденсатосборника в рамках флэш-цикла, что позволяет значительно сократить затраты энергии в рамках цикла сжижения паровой фазы. Описанные выше процессы происходят в рамках цикла сжижения с внедренным детандером и флэш-циклом.

Из конечного конденсатосборника СПГ самотеком поступает в резервуарный парк СПГ, который состоит из криогенных резервуаров, оснащенных необходимым набором
35 запорной и предохранительной арматуры. Хранение на складе осуществляется при постоянном давлении 0,6 МПа и постоянной температуре 138 К.

Постоянное давление поддерживается за счет постоянного отвода паровой фазы из резервуаров в линию отвода паровой фазы, пройдя которую она смешивается с паровой фазой в конечном конденсатосборнике цикла сжижения с внедренным детандером и
40 флэш-циклом. В случае превышения регламентированного давления в резервуарах предусмотрен сброс паровой фазы в факельную установку, которая также используется при продувке технологического оборудования.

Отпуск готовой продукции СПГ в автоцистерны осуществляется при помощи специальных насосов для криогенных газов.

45 Способ предполагает редуцирование всего магистрального потока газа в турбодетандере для обеспечения возможности наиболее полного использования избыточной энергии магистрального потока. Такое решение позволяет обеспечить полное покрытие энергозатрат на производство СПГ в малых объемах за счет

извлечения избыточной энергии магистрального потока в турбодетандере.

Эффективность метода подтверждается графиками, представленными на фиг. 2 -
Графики зависимостей доли извлекаемой при помощи турбодетандерной установки
энергии в энергозатратах на производство сжиженного природного газа в условиях
5 ГРС Сокол. Помимо высокой энергоэффективности такое решение позволяет обеспечить
повышенные показатели надежности станции за счет наличия альтернативного способа
редуцирования - прохождения потока через узел редуцирования ГРС.

Разделение потока газа на технологический, предназначенный для сжижения, и
10 продукционный, предназначенный для подачи в сети газораспределения, после
прохождения им турбодетандера позволяет обеспечить также значительное охлаждение
потока, с 273-281 К (при давлении 5,2-5,4 МПа) до 195-200 К (при давлении 0,6 МПа).
Это позволяет существенно снизить энергозатраты на производство СПГ, что находит
подтверждение в графиках, приведенных в фиг. 3 - график удельные энергозатраты на
15 сжижение природного газа при различных значениях давлений и температур. Таким
образом после прохождения турбодетандерного агрегата энергозатраты на сжижение
природного газа снижаются более чем в 4 раза.

В рамках способа редуцирование магистрального потока газа производится с
использованием турбодетандерного агрегата, а компримирование в рамках основного
цикла - при помощи компрессора, как отдельного устройства, что позволяет повысить
20 надежность способа по сравнению со способами, предусматривающими применение
детандер-компрессорного агрегата.

Полезная мощность на валу турбодетандера и детандера цикла сжижения газа с
внедренным детандером и флэш-циклом используется для выработки электрической
энергии, с последующим ее использованием на покрытие потребности оборудования
25 по сжижению газа в электричестве или для сбыта в сети общего пользования при простое
оборудования линий сжижения газа, что позволяет не только обеспечить
электроэнергией используемое технологическое оборудование, но и создает условия
для взаимной независимости процессов работы турбодетандерного агрегата и линий
по производству СПГ.

30 Пример 1, при среднем значении расхода газа через ГРС Сокол в 22 тыс.м³/час,
давлении на входе 5,4 МПа и давлении на выходе станции 0,6 МПа при использовании
разработанного способа получения СПГ в условиях ГРС достигается полезная мощность
на валу турбодетандера 0,8 МВт, что позволяет покрыть энергозатраты на производство
СПГ в объеме 0,5 т/час.

35

(57) Формула изобретения

Способ получения сжиженного природного газа в условиях газораспределительной
станции, включающий очистку газа от капельной влаги, водяных паров, диоксида
углерода, механических примесей и ртути, подогрев газа, расширение газа в
40 турбодетандерном агрегате, сжижение газа в рамках цикла сжижения природного газа
с внедренным детандером и флэш-циклом, хранение газа в резервуарном парке,
отличающийся тем, что полезную мощность турбодетандерного агрегата используют
для выработки электрической энергии, после расширения в турбодетандере поток газа
разделяют на технологический, предназначенный для сжижения, который направляют
45 в цикл сжижения природного газа с внедренным детандером и флэш-циклом, и
продукционный, предназначенный для подачи потребителю, который после
дополнительного подогрева одорируют и направляют на выход из ГРС, сброс паровой
фазы из резервуарного парка сжиженного природного газа осуществляют в следующий

за флэш-циклом конденсатосборник.

5

10

15

20

25

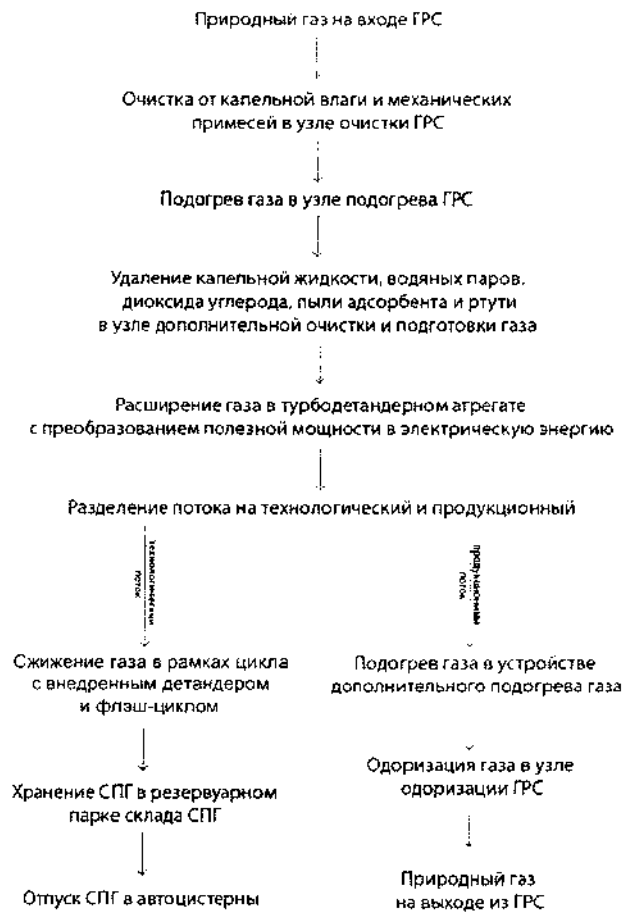
30

35

40

45

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ



Фиг. 1