



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016144633, 14.11.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
14.11.2016Дата регистрации:  
29.11.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.11.2016

(45) Опубликовано: 29.11.2017 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Уфимский  
государственный нефтяной технический  
университет, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Байков Игорь Равильевич (RU),  
Кулагина Ольга Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Уфимский государственный  
нефтяной технический университет" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2541360 C1, 10.02.2015. RU  
2202078 C2, 10.04.2003. US 20160138863 A1,  
19.05.2016. WO 1999001706 A1, 14.01.1999. US  
20160109177 A1, 21.04.2016.

(54) Способ производства сжиженного природного газа

(57) Реферат:

Изобретение относится к газовой промышленности и криогенной технике, конкретно к технологиям сжижения природного газа на газораспределительных станциях. Способ производства сжиженного природного газа включает подачу потока сжатого природного газа из магистрального трубопровода высокого давления со входа газораспределительной станции и разделение потока на продукционный и технологический потоки. Технологический поток расширяют в детандере с совершением внешней работы, подают в основной и предварительный теплообменники и подают его с низким давлением потребителю. Продукционный поток охлаждают за счет нагрева технологического с образованием газожидкостной смеси, дополнительно охлаждают и расширяют в дроссельном вентиле,

на выходе из которого отделяют жидкую фазу с помощью сепаратора. Жидкую фазу направляют в хранилище или потребителям сжиженного природного газа. Оставшуюся после отделения часть потока смешивают с основным технологическим потоком и направляют на холодный вход теплообменника. Продукционный поток подвергают очистке и осушке в блоке регенеративных теплообменников за счет кристаллизации CO<sub>2</sub> на поверхности их пластинок. После прохождения технологического потока через них осуществляют растворение CO<sub>2</sub> и удаляют вместе с потоком газа, подаваемого потребителям в трубопровод низкого давления. Техническим результатом является повышение эффективности процесса производства сжиженного природного газа. 1 н.п. ф-лы, 1 ил.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2016144633, 14.11.2016**(24) Effective date for property rights:  
**14.11.2016**Registration date:  
**29.11.2017**

Priority:

(22) Date of filing: **14.11.2016**(45) Date of publication: **29.11.2017** Bull. № 34

Mail address:

**450062, g. Ufa, ul. Kosmonavtov, 1, Ufimskij  
gosudarstvennyj neftyanoy tekhnicheskij universitet,  
patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Bajkov Igor Ravilevich (RU),  
Kulagina Olga Vladimirovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Ufimskij gosudarstvennyj  
neftyanoy tekhnicheskij universitet" (RU)**(54) **METHOD FOR PRODUCTION OF LIQUEFIED NATURAL GAS**

(57) Abstract:

FIELD: oil and gas industry.

SUBSTANCE: method includes feeding compressed natural gas stream from high pressure main pipeline from gas distribution station inlet and dividing the flow into production and process streams. The process stream is expanded in expander with performance of an operation, fed to main preliminary heat exchanger, and supplied to the consumer at low pressure. The production stream is cooled by heating the process gas to form gas-liquid mixture further cooled and expanded in a throttle valve, at which outlet the liquid phase is separated by separator. The liquid phase is sent to the

storage facility or to consumers of liquefied natural gas. The remaining part of the stream is mixed with the main process stream and sent to cold inlet of the heat exchanger. The production stream is subjected to purification and drying in a block of regenerative heat exchangers due to crystallization of CO<sub>2</sub> on surface of their plates. After passing through the process stream, CO<sub>2</sub> is dissolved and removed with the flow of gas supplied to the consumers in the low pressure line.

EFFECT: increase the efficiency of the production process.

1 cl, 1 dwg

Изобретение относится к газовой промышленности и криогенной технике, конкретно к технологиям сжижения природного газа на газораспределительных станциях.

Известен способ производства сжиженного газа (патент РФ №2247908 C1, МПК 7 F25J 1/00, опубл. 10.03.2005 г. Бюл. №7), включающий разделение потока газа с газораспределительной станции (ГРС) на многочисленные потоки, охлаждение и очистку газа от примесей методом вымораживания в рекуперативном и предварительном теплообменниках, дросселирование газа, получение горячего газа в вихревой трубе на обогрев теплообменников.

Недостатками указанного способа оказывается то, что не используются в полной мере преимущества детандерного цикла в контуре охлаждения и сжижения газа и, соответственно, не будет обеспечена стабильность производства продукции из-за отсутствия возможности регулирования оптимальной температуры.

В известном способе раздачи природного газа с одновременной выработкой сжиженного газа при транспортировании потребителю из магистрального трубопровода высокого давления в трубопровод низкого давления (патент РФ №2534832 C2, МПК F17D 1/07, F25B 11/02, F25J 1/00, опубл. 10.12.2014 г. Бюл. №34) подаваемый газ из магистрального трубопровода расширяется в турбодетандере, после которого охлажденный газ проходит теплообменники и с низким давлением поступает к потребителям, при этом более полно используется полученная механическая энергия при расширении от перепада давлений в магистральном трубопроводе высокого давления и трубопроводе низкого давления.

Недостатком способа может оказаться то, что полностью не решен вопрос о кристаллизации примесей природного газа, выпадающих при работе указанного оборудования.

Наиболее близким к предлагаемому способу является способ производства сжиженного природного газа и комплекс для его реализации (патент РФ №2541360 C1, МПК F25J 1/00), включающий отбор газа из магистрального трубопровода, очистку от механических частиц, осушку, разделение на производственный и технологический потоки, один из которых проходит очистку от  $\text{CO}_2$ , охлаждается, для получения парожидкостной смеси направляется через дроссель, жидкая фаза отделяется и поступает к потребителю СПГ, другой поток проходит через детандер, жидкая фаза дополнительно переохлаждается перед подачей в емкость потребителя.

Недостатками являются использование дополнительных веществ (растворителей или абсорберов) для поглощения  $\text{CO}_2$ ; безвозвратная потеря диоксида углерода, извлеченного из природного газа; многостадийные циклы очистки, что влечет за собой сложность процесса и высокую стоимость оборудования.

Задачей предлагаемого изобретения является создание эффективного способа производства сжиженного природного газа на газораспределительной станции (ГРС), позволяющего повысить производительность при снижении стоимости оборудования и уменьшить количество содержащегося в природном газе  $\text{CO}_2$ .

Указанная задача решается тем, что в способе производства сжиженного природного газа, включающем подачу потока сжатого природного газа из магистрального трубопровода высокого давления со входа газораспределительной станции (ГРС), разделение потока на производственный и технологический потоки, расширение технологического потока в детандере с совершением внешней работы, теплообмен в основном и предварительном теплообменниках и подачу его с низким давлением потребителю, при котором производственный поток охлаждают за счет нагрева

технологического с образованием газожидкостной смеси, дополнительно охлаждают и расширяют в дроссельном вентиле, на выходе из которого отделяют жидкую фазу с помощью сепаратора, которую направляют в хранилище или потребителям сжиженного природного газа (СПГ), оставшуюся после отделения часть потока смешивают с основным технологическим потоком и направляют на холодный вход теплообменника, согласно изобретению производственный поток подвергают очистке и осушке в блоке регенеративных теплообменников за счет кристаллизации  $\text{CO}_2$  на поверхности их пластинок, а после прохождения технологического потока через них осуществляют растворение  $\text{CO}_2$  и удаляют вместе с потоком газа, подаваемого потребителям в трубопровод низкого давления.

Сущность изобретения иллюстрируется фигурой, на которой приведены следующие обозначения. Установка состоит из отвода от магистрального трубопровода на ГРС, где подается природный газ с высоким давлением, фильтра-пылеуловителя 1 для очистки газа, блока осушки 2 и фильтра 3 для очистки от частиц адсорбента. По линии 4 утилизации тепла установка содержит теплообменник 5. Также установка состоит из блока предварительных регенеративных теплообменников 6, струйного компрессора 7, охладителя масла 8, компрессора 9, для системы смазки турбодетандера масляного бака 10 и насоса 11, непосредственно детандера 12, основного теплообменника 13, регулятора давления 14, сепаратора 15, криогенных насосов 16 и 19, проходных кранов 17 и хранилища СПГ 18.

Реализация способа производства сжиженного природного газа с помощью установки, приведенной на фигуре, происходит следующим образом.

Природный газ поступает из ГРС с высоким давлением и разделяется на два потока. Один из которых проходит через фильтр 1, блок осушки 2 для очистки от влаги и для очистки от частиц адсорбента фильтр 3. Далее поток, осушенный и очищенный, направляется к компрессору 9, где подвергается сжатию. В действие компрессор 9 приводится за счет крутящего момента газового турбодетандера 12, с которым связаны одним валом, размещены в одном корпусе и образуют единый турбодетандерный агрегат. Поток сжатого газа охлаждается в теплообменнике 5 при нагреве второго потока газа, поступившего в линию утилизации тепла 4. Газ из линии 4 далее подается в сеть потребителя. Теплота сжатия компрессора 9 используется дополнительно для подогрева газа в ГРС. После теплообменника 5 газ вновь разделяется на два потока: технологический (для получения холода) и производственный потоки (для сжижения природного газа).

Технологический поток направляется в детандер 12, подвергается расширению и происходит снижение давления и температуры, газ не сжигается, внутренняя энергия преобразуется в кинетическую энергию, затем в механическую работу, которая в генераторе в свою очередь преобразуется в электрическую энергию, направляется на вал компрессора для сжатия газа. Холодный поток газа после детандера 12 поступает в основной теплообменник 13 для охлаждения производственного потока. После теплообменника 13 обратный поток проходит через теплообменник 6, растворяя диоксид углерода, и сбрасывается в трубопровод.

Производственный поток проходит через блок предварительных регенеративных теплообменников 6 для охлаждения и очистки от  $\text{CO}_2$ . Очищенный поток проходит через теплообменник 13 для следующей ступени охлаждения потоком холодного газа детандера 12. Поток проходит через регулятор давления 14 с целью его дальнейшего сжижения при снижении давления и температуры, и парожидкостная смесь попадает в

сепаратор 15, где жидкость отделяется от паров. По мере накопления сепаратора СПГ сливается через кран 17 в хранилище 18. При высоком давлении на входе ГРС сжатие производящего потока не требуется и исключается охлаждение газа после сжатия, соответственно, теплообменник 5 не требуется. Понижение давления в хранилище СПГ 18 производится за счет откачивания паров, которые смешиваются с обратным потоком паров из сепаратора 15, с помощью струйного компрессора.

Основной проблемой является очистка природного газа перед сжижением от диоксида углерода  $\text{CO}_2$ . В низкотемпературном процессе вероятно попадание в область кристаллизации  $\text{CO}_2$  и образование его твердой фазы. Образование твердой кристаллической фазы в конструкциях низкотемпературного оборудования становится небезопасным фактором и может приводить к опасным последствиям, нарушениям нормальных технологических режимов работы криогенных аппаратов и выводу их из работы. Проходя турбодетандер примеси из газа конденсируются в сопловом узле, стекают и дренируются. Согласно фазовой диаграмме диоксида углерода выпадение твердой фазы при давлении 4,5 МПа произойдет при достижении температуры  $-52^\circ\text{C}$ . Как правило, в существующих схемах предполагается установка блоков очистки газа от диоксида углерода. В работе вместо дополнительного блока очистки от углекислоты производящего потока рассматривается использование в качестве предварительного регенеративного теплообменника непрерывного действия, где производящий поток подвергают очистке и осушке за счет кристаллизации  $\text{CO}_2$  на поверхности их пластинок, а после прохождения технологического потока через них осуществляют растворение  $\text{CO}_2$  и удаляют вместе с потоком газа, подаваемого потребителям в трубопровод низкого давления. Для обеспечения непрерывности потока природного газа к потребителям предусматривается использование двух регенераторов.

Проведенные расчеты показали, что при таком способе СПГ может быть получен за счет перепада давления на ГРС, где происходит понижение давления от 3,8 МПа до 0,6 МПа. Природный газ поступает из магистрального трубопровода в комплекс с давлением 3,8 МПа, проходит блок очистки и осушки, сжимается в компрессоре до 4,5 МПа, после теплообменника охлаждается и делится на два потока: производящий 16% и технологический 84%. Производящий поток дополнительно очищается в предварительном теплообменнике, а оба потока направляются через основной и предварительный теплообменники. В результате расширения в турбодетандере температура газа понижается до  $-115^\circ\text{C}$ , что оказывается недостаточным для сжижения газа. Производящий поток дополнительно дросселируется, и температура газа понижается до  $-140^\circ\text{C}$ . Производительность установки составит 1,5 т/ч (0,417 кг/с). Преимуществом такой установки оказываются низкие удельные затраты на электроэнергию, так как для сжатия газа в компрессоре используется привод детандера. Мощность, потребляемая при достижении проектной производительности, составит 320 кВт.

Предлагаемая технология производства сжиженного природного газа является энергоэффективной, так как для сжижения применяется детандерный холодильный цикл газа, работающий на основе использования перепада между давлением в магистральном газопроводе и давлением в газораспределительной сети. При производстве СПГ на ГРС проявляется главный недостаток схем с внутренним охлаждением газа - при снижении температуры проявляется кристаллизация, в связи с чем необходимо проводить осушку и очистку всего проходящего через установку газа от диоксида углерода  $\text{CO}_2$ , что решается в предлагаемом способе.

## (57) Формула изобретения

Способ производства сжиженного природного газа, включающий подачу потока сжатого природного газа из магистрального трубопровода высокого давления со входа газораспределительной станции (ГРС), разделение потока на производционный и технологический потоки, расширение технологического потока в детандере с совершением внешней работы, теплообмен в основном и предварительном теплообменниках и подачу его с низким давлением потребителю, при котором производционный поток охлаждают за счет нагрева технологического с образованием газожидкостной смеси, дополнительно охлаждают и расширяют в дроссельном вентиле, на выходе из которого отделяют жидкую фазу с помощью сепаратора, которую направляют в хранилище или потребителям сжиженного природного газа (СПГ), оставшуюся после отделения часть потока смешивают с основным технологическим потоком и направляют на холодный вход теплообменника, отличающийся тем, что производционный поток подвергают очистке и осушке в блоке регенеративных теплообменников за счет кристаллизации  $\text{CO}_2$  на поверхности их пластинок, а после прохождения технологического потока через них осуществляют растворение  $\text{CO}_2$  и удаляют вместе с потоком газа, подаваемого потребителям в трубопровод низкого давления.

20

25

30

35

40

45

Способ производства сжиженного природного газа

