

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2770964

СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ОТПАРНОГО ГАЗА ИЗ РЕЗЕРВУАРА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ)

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

Авторы: *Мартыненко Яна Владимировна (RU), Болобов Виктор Иванович (RU)*

Заявка № 2021118599

Приоритет изобретения **25 июня 2021 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **25 апреля 2022 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **25 июня 2041 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F17C 13/00 (2022.02); F25J 1/00 (2022.02)

(21)(22) Заявка: 2021118599, 25.06.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.06.2021

Дата регистрации:
25.04.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 25.06.2021

(45) Опубликовано: 25.04.2022 Бюл. № 12

Адрес для переписки:
190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,
ФГБОУ ВО СПГУ, Патентно-лицензионный
отдел

(72) Автор(ы):
Мартыненко Яна Владимировна (RU),
Болобов Виктор Иванович (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 2677022 C1, 15.01.2019. RU
2353852 C2, 27.04.2009. JP 2002156098 A,
31.05.2002. CN 103225740 A, 31.07.2013. WO 2013/
032340 A1, 07.03.2013.

(54) СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ОТПАРНОГО ГАЗА ИЗ РЕЗЕРВУАРА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ)

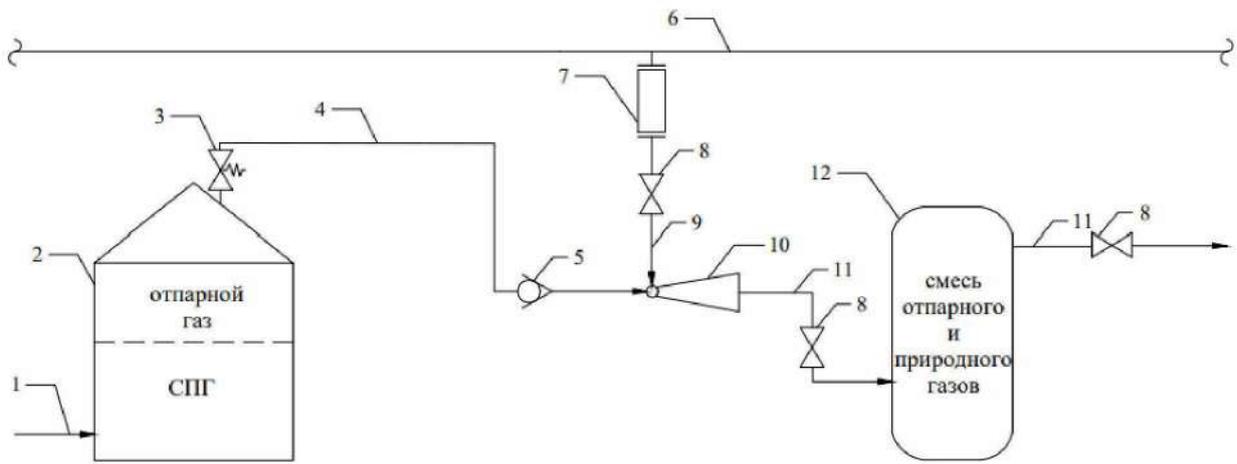
(57) Реферат:

Изобретение относится к области хранения сжиженного природного газа (СПГ), в частности к обеспечению утилизации отпарного газа из резервуара СПГ, и может быть использовано в криогенной газовой промышленности. Способ включает хранение сжиженного природного газа в резервуаре. При превышении сверх номинального давления срабатывает система безопасности, требующая заполнения камеры газового эжектора природным газом высокого

давления с целью создания области разрежения, что позволяет увлечь избыток отпарного газа из резервуара и сжать смесь. Далее поток газов подается эжектором в емкость для хранения, откуда используется на технологические нужды резервуарного парка или подлежит повторному сжижению. Техническим результатом является сокращение потерь криогенного топлива при сбросе паров и обеспечение экологической безопасности хранения СПГ. 2 ил.

RU 2 770 964 C1

RU 2 770 964 C1



Фиг. 2

RU 2770964 C1

RU 2770964 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
F17C 13/00 (2006.01)
F17C 1/00 (2006.01)
F25J 3/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
F17C 13/00 (2022.02); *F25J 1/00* (2022.02)

(21)(22) Application: **2021118599, 25.06.2021**

(24) Effective date for property rights:
25.06.2021

Registration date:
25.04.2022

Priority:

(22) Date of filing: **25.06.2021**

(45) Date of publication: **25.04.2022** Bull. № 12

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU
VO SPGU, Patentno-litsenziyonnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Martynenko Iana Vladimirovna (RU),
Bolobov Viktor Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet» (RU)**

(54) **METHOD FOR UTILIZATION OF STRIPPING GAS FROM A LIQUEFIED NATURAL GAS (LNG) TANK**

(57) Abstract:

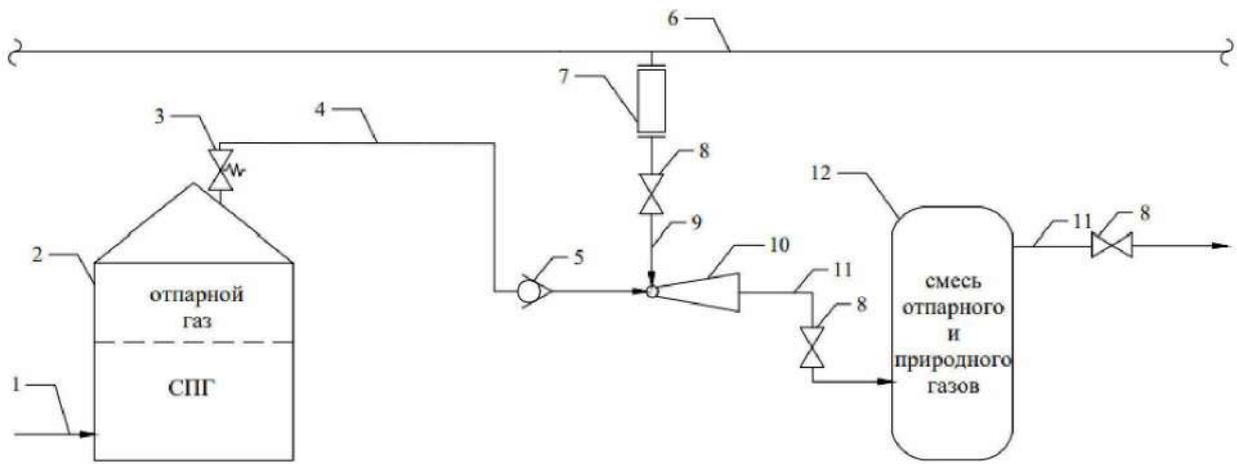
FIELD: gas industry.

SUBSTANCE: invention relates to the field of storage of liquefied natural gas (LNG), in particular to ensuring the utilization of stripping gas from an LNG tank, and can be used in the cryogenic gas industry. The method involves storing liquefied natural gas in a tank. When exceeding the nominal pressure, a safety system is triggered that requires filling the gas ejector chamber with high-pressure natural gas in order to create a

rarefaction area, which makes it possible to entrain excess stripping gas from the tank and compress the mixture. Next, the gas flow is fed by an ejector into a storage tank, from where it is used for the technological needs of the tank farm or is subject to re-liquefaction.

EFFECT: reduction of cryogenic fuel losses during vapor discharge and ensuring the environmental safety of LNG storage.

1 cl, 2 dwg



Фиг. 2

RU 2770964 C1

RU 2770964 C1

Изобретение относится к области хранения сжиженного природного газа (СПГ), в частности к обеспечению утилизации отпарного газа из резервуара СПГ, и может быть использовано в криогенной газовой промышленности.

Известен способ поддержания переохлаждённого состояния сжиженного природного газа в резервуаре (патент РФ №2628337, опубл. 16.08.2017 г.), который включает отведение части криогенной текучей среды, ее охлаждение жидким азотом и повторное введение обратно в зону жидкости резервуара для хранения, что исключает сброс газа из резервуара.

Недостатком данного способа является необходимость использования хладагента, который необходимо захлаживать на теплообменнике, а также применение насоса в случае необходимости циркуляции сжиженного природного газа из резервуара и обратно.

Известен способ хранения СПГ StarLiteLNG (LINDE AG. StarLNG. Передовые стандартизованные мало- и среднетонажные заводы СПГ. [онлайн] [найдено 2021-04-25]. Найдено в https://www.linde-engineering.ru/ru/images/StarLNG_Russian_tcm480-458277.pdf), который включает комплекс компрессоров и детандера для повторного сжижения отпарного газа, что позволяет регенерировать топливо без выбросов на факел или свечу рассеивания.

Недостатком данного способа являются капитальные, эксплуатационные и энергетические затраты на повышение давления отпарного газа с помощью компрессора.

Известен способ хранения и отгрузки сжиженного природного газа (патент РФ №2680914, опубл. 28.02.2019 г.), который включает закачивание СПГ после установки сжижения природного газа по криогенному трубопроводу сначала в наземный криогенный резервуар, а затем в танкер-газовоз, при этом отпарной газ, образующийся во время наполнения плавучего хранилища и перегрузки СПГ в танкер-газовоз, возвращают с помощью устройств приема отпарного газа по криогенному трубопроводу в компрессорную отпарного газа и далее в процесс сжижения природного газа.

Недостатком данного способа является необходимость применения компрессорной отпарного газа для его удаления и сжатия, что влечет за собой помимо капитальных, энергетических и эксплуатационных затрат выбросы при работе компрессоров из-за сгорания топлива.

Известен способ поддержания низкотемпературного режима сжиженного газа в резервуаре (Б.С. РАЧЕВСКИЙ. Сжиженные углеводородные газы. Москва, НЕФТЬ и ГАЗ, 2009, ISBN 5-7246, с. 312-313), который заключается в том, что испаряющийся в результате притока тепла извне газ проходит теплообменник и поступает на всасывание компрессора, после чего подается в холодильник-конденсатор, где конденсируется при неизменном давлении, сконденсированная жидкость дополнительно переохлаждается встречным потоком газа в теплообменнике и затем дросселируется в вентиле до давления, соответствующего режиму хранения, поступая в резервуар СПГ.

Недостатком данного способа является необходимость применения компрессора для сжатия отпарного газа, что приводит к капитальным, эксплуатационным и энергетическим затратам.

Известен способ сброса паров из резервуара сжиженного природного газа (СПГ) (патент РФ № 2677022, опубл. 15.01.2019 г.) принятый за прототип, который включает жидкостно-газовый эжектор, отводящий СПГ и избыток его паров из резервуара, что приводит к снижению давления в резервуаре.

Недостатком данного способа является необходимость установки в резервуаре насоса для подачи СПГ в эжектор, что сопровождается дополнительными

энергетическими и материальными затратами.

Техническим результатом является исключение потерь углеводородов при утилизации отпарного газа из резервуара сжиженного природного газа (СПГ).

Технический результат достигается тем, что отвод отпарного газа из резервуара осуществляют газовым эжектором, в качестве рабочего тела которого, используют поток природного газа высокого давления, который редуцируют до рабочего давления на регуляторе давления после подачи сигнала на открытие задвижки на линии подвода природного газа в эжектор при превышении давления в резервуаре сверх номинального, а полученную смесь газов направляют в емкость для хранения смеси, откуда транспортируют для технологических нужд резервуарного парка или для повторного сжижения.

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - алгоритм реализации способа утилизации отпарного газа из резервуара сжиженного природного газа (СПГ);

фиг. 2 – принципиальная схема эжекторной системы для утилизации отпарного газа из резервуара СПГ, где:

- 1 – трубопровод СПГ;
- 2 – резервуар СПГ;
- 3 – предохранительный клапан;
- 4 – трубопровод отпарного газа;
- 5 – обратный клапан;
- 6 – трубопровод природного газа высокого давления;
- 7 – регулятор давления;
- 8 – задвижка;
- 9 – трубопровод природного газа рабочего давления;
- 10 – газовый эжектор;
- 11 – трубопровод смеси отпарного и природного газов;
- 12 – емкость для хранения смеси отпарного и природного газов.

Способ осуществляется следующим образом. Резервуар СПГ 2 (фиг. 1, 2) наполняется криожидкостью по трубопроводу СПГ 1, где хранится при избыточном давлении, уровень которого контролируется и в случае превышения сверх номинального срабатывает система безопасности. После чего происходит открытие задвижки 8 установленной на трубопроводе природного газа рабочего давления 9, куда поступает природный газ из трубопровода природного газа высокого давления 6, редуцируясь до рабочего давления на регуляторе давления 7 и заполняя камеру газового эжектора 10. Далее срабатывает предохранительный клапан 3 для отвода избытка образующегося отпарного газа и рабочее тело газового эжектора 10, которым является природный газ рабочего давления, увлекает этот поток по трубопроводу отпарного газа 4 за счет созданной в камере смешения газового эжектора 10 области разрежения, при этом обратный клапан 5 предотвращает поступление потока с более высоким давлением обратно в резервуар. В газовом эжекторе 10 происходит сжатие смеси отпарного и природного газов и ее подача при открытии задвижки 8 на трубопроводе смеси отпарного и природного газов 11 в емкость для хранения смеси отпарного и природного газов 12, откуда смесь отводится по трубопроводу смеси отпарного и природного газов 11 при открытии задвижки 8 на технологические нужды резервуарного парка или на повторное сжижение.

Способ поясняется следующим примером. В резервуаре СПГ объемом

$V_p = 300\text{м}^3$ произошло повышение температуры с $T_0 = 120\text{К}$ до $T_1 = 140\text{К}$, что привело к повышению давления насыщенных паров в резервуаре с рабочего $p_0^{н.н} = 0,192\text{МПа}$ до максимально допустимого $p_1^{н.н} = 0,64\text{МПа}$ - давление срабатывания предохранительного клапана и сбросу избытка отпарного газа.

Поток природного газа, поступающий из трубопровода природного газа высокого давления в газовый эжектор имеет следующие характеристики: $T_1 = 293\text{К}$ - температура потока; $\rho_1 = 0,316\text{кг} / \text{м}^3$ - плотность потока; $P_1 = 2,2\text{МПа}$ - абсолютное давление потока, равное максимально допустимому давлению с учетом предотвращения эффекта запираания в газовом эжекторе; $k_1 = 1,3$ - показатель адиабаты; $R = 519\text{Дж} / \text{кг} \cdot \text{К}$ - газовая постоянная для метана.

Поток отпарного газа, поступающий из резервуара СПГ в газовый эжектор имеет следующие характеристики: $G_2 = 1,9\text{кг} / \text{с}$ - секундный массовый расход потока, равный расходу из предохранительного клапана для сброса избытка отпарного газа; $T_2 = 140\text{К}$ - температура потока; $P_2 = 0,32\text{МПа}$ - абсолютное давление потока, равное давлению поддерживаемому в линии подвода отпарного газа в эжектор; $D_2 = 80\text{мм}$ - диаметр проходного сечения патрубка эжектора; $F_2 = 5026,6\text{мм}^2$ - площадь проходного сечения патрубка эжектора.

Показателем эффективности работы эжектора является абсолютное давление смеси на выходе из газового эжектора (1) и коэффициент полезного действия (3).

$$P_3 = \frac{\alpha P_1 + P_2}{1 + \alpha}, \quad (1)$$

где $\alpha = 0,75$ - коэффициент отношения площадей проходных сечений потоков отпарного газа к природному газу (2). Параметр определен с целью сокращения металлоемкости устройства.

$$\alpha = \frac{F_1}{F_2} = \frac{F_1}{F_3 - F_1}. \quad (2)$$

Тогда $F_1 = F_2 \alpha = 5026,6 \cdot 0,75 = 3770\text{мм}^2$; $D_1 = 70\text{мм}$ - площадь и диаметр потока природного газа; $F_3 = \frac{F_1}{\alpha} + F_1 = \frac{3770}{0,75} + 3770 = 8796,5\text{мм}^2$; $D_3 = 106\text{мм}$ - площадь и диаметр проходного сечения потока смеси на выходе из газового эжектора.

Поэтому, абсолютное давление смеси на выходе из газового эжектора (1) составляет $P_3 = 1,13\text{МПа}$.

$$\eta = \frac{G_2 P_2 (P_3 - P_2)}{P_3 G_1 (P_1 - P_3)} \cdot \frac{T_2 (T_3 - T_2)}{T_3 (T_1 - T_2)} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $G_1 = 0,82\text{кг} / \text{с}$ - массовый расход потока природного газа (4):

$$G_1 = \rho_1 V_1 F_1, \quad (4)$$

где $V_1 = 687,95\text{м} / \text{с}$ - критическая скорость истечения потока природного газа из

сопла эжектора, соответствующая скорости звука (5):

$$V_1 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT (1 - \beta^{\frac{k-1}{k}})}, \quad (5)$$

где $\beta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{0,32}{2,2} = 0,145$ - коэффициент отношения давлений.

Эжектор характеризуется коэффициентом эжекции $n = 2,35$, который представляет собой внутренний массовый расход устройства как отношение расходов природного и отпарного газов (6):

$$n = \frac{G_2}{G_1}. \quad (6)$$

Процесс смешения газов в эжекторе близок к адиабатному, поэтому температура торможения смеси на выходе из смесительной камеры эжектора $T_3 = 186\text{K}$, где (7):

$$T_3 = \frac{(n \cdot \frac{T_2}{T_1} + 1) T_1}{n + 1}. \quad (7)$$

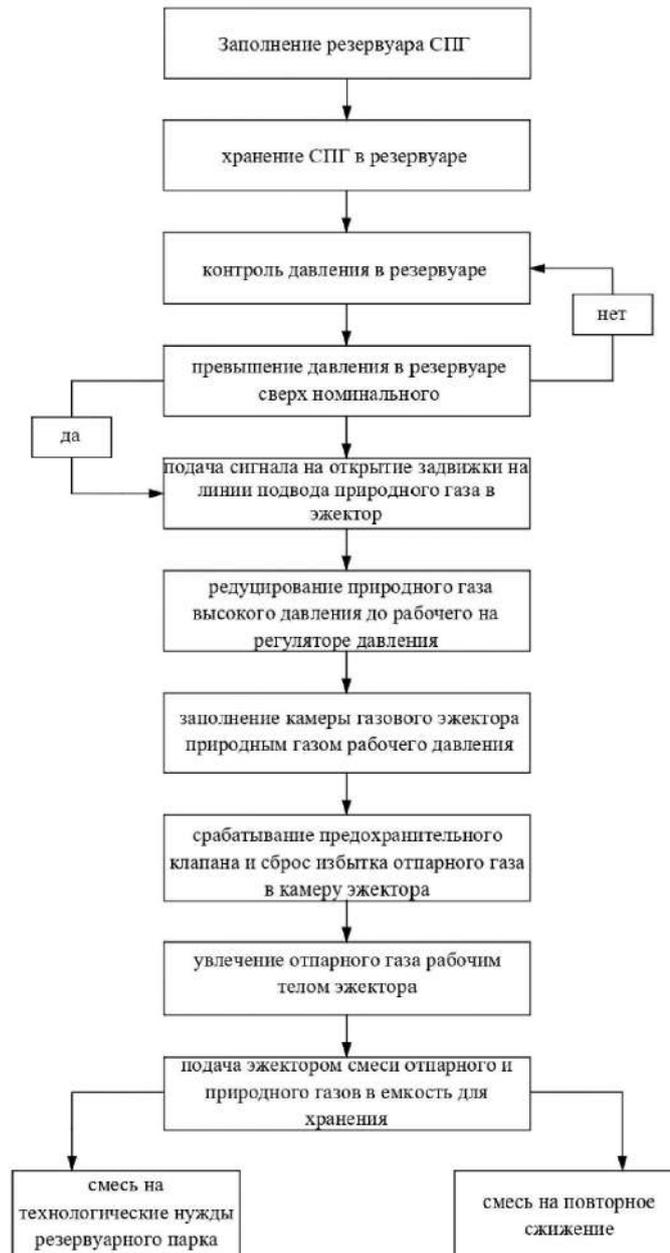
Тогда, коэффициент полезного действия газового эжектора (3) составляет $\eta = 16\%$.

Преимущество способа состоит в том, что система утилизации отпарного газа с использованием эжектора позволяет сократить потери криогенного топлива и загрязнение окружающей среды путем отбора и компримирования избытка отпарного газа не используя энергетические затраты извне, обеспечивая при этом безопасность криогенного хранения СПГ, а также коэффициент полезного действия эжектора 16%, и абсолютное давление потока смеси на выходе из газового эжектора 1,13 МПа, тем самым заменяя компрессор первой ступени.

(57) Формула изобретения

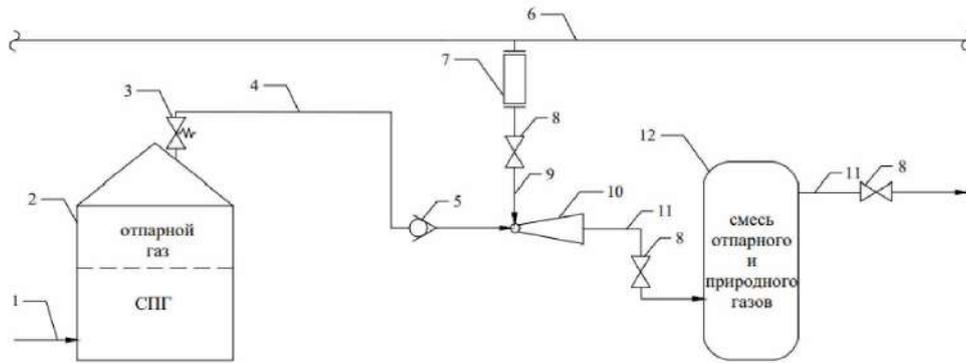
Способ утилизации отпарного газа из резервуара сжиженного природного газа (СПГ), включающий наполнение резервуара криожидкостью, хранение при избыточном давлении, отвод образующихся паров, отличающийся тем, что отвод отпарного газа из резервуара осуществляют газовым эжектором, в качестве рабочего тела которого используют поток природного газа высокого давления, который редуцируют до рабочего давления на регуляторе давления после подачи сигнала на открытие задвижки на линии подвода природного газа в эжектор при превышении давления в резервуаре сверх номинального, а полученную смесь газов направляют в емкость для хранения смеси, откуда транспортируют для технологических нужд резервуарного парка или для повторного сжижения.

1



Фиг. 1

2



Фиг. 2