

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2716442

### СПОСОБ ОТБОРА ПРОБ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ)

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

Авторы: *Воронов Владимир Александрович (RU),  
Мартыненко Яна Владимировна (RU)*

Заявка № 2019135749

Приоритет изобретения 06 ноября 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 11 марта 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 06 ноября 2039 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01N 1/24 (2020.01); G01N 1/14 (2020.01); G01N 2001/242 (2020.01); G01N 2001/1436 (2020.01)

(21)(22) Заявка: 2019135749, 06.11.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.11.2019Дата регистрации:  
11.03.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.11.2019

(45) Опубликовано: 11.03.2020 Бюл. № 8

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Воронов Владимир Александрович (RU),  
Мартыненко Яна Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: ГОСТ Р 56719-2015 Газ горючий  
природный сжиженный. Отбор проб,  
01.01.2017. ГОСТ 31370-2008 Газ природный.  
Руководство по отбору проб, 01.01.2010. RU  
2173841 C1, 20.09.2001. SU 1651138 A1,  
23.05.1991. SU 92615 A1, 01.01.1951.

## (54) СПОСОБ ОТБОРА ПРОБ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ)

(57) Реферат:

Изобретение относится к области получения и подготовки образцов сжиженного природного газа (СПГ) для анализа, в частности к обеспечению закачки пробы СПГ в пробоотборник, и может быть использовано в криогенной газовой промышленности. Способ включает отбор пробы СПГ, ее регазификацию, поддержание требуемого давления и транспортировку одной части пробы на газовый хроматограф для химического анализа, а другой части для сжатия и закачки в пробоотборник постоянного давления для анализа в лабораторных условиях, что производится

жидкостно-газовым эжектором за счет разницы давления потока СПГ, который поступает по линии, соединенной с зондом и технологическим трубопроводом СПГ для подачи на эжектор, и потока регазифицированной пробы, который создает область разрежения в камере смешения жидкостно-газового эжектора и обеспечивает подачу СПГ. Технический результат - предотвращение изменения первоначального химического состава пробы, а также сокращение объема пробы, подвергающейся регазификации. 2 ил.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*G01N 1/24 (2020.01); G01N 1/14 (2020.01); G01N 2001/242 (2020.01); G01N 2001/1436 (2020.01)*

(21)(22) Application: **2019135749, 06.11.2019**(24) Effective date for property rights:  
**06.11.2019**

Registration date:  
**11.03.2020**

Priority:

(22) Date of filing: **06.11.2019**(45) Date of publication: **11.03.2020 Bull. № 8**

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2,  
federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj  
universitet", Patentno-litsenziornyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Voronov Vladimir Aleksandrovich (RU),  
Martynenko Yana Vladimirovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD OF SAMPLING LIQUEFIED NATURAL GAS (LNG)**

(57) Abstract:

FIELD: gas industry.

SUBSTANCE: invention relates to production and preparation of liquefied natural gas (LNG) samples for analysis, in particular to the LNG sample pumping into the sampler, and can be used in the cryogenic gas industry. Method involves sampling LNG, its regasification, maintaining the required pressure and transporting one part of the sample to a gas chromatograph for chemical analysis, and the other part for compression and pumping into the constant pressure sampler for analysis in laboratory conditions, which is

performed by the liquid-gas ejector due to the pressure difference of the LNG flow, which is supplied along the line connected to the probe and the LNG process pipeline for supply to the ejector, and the stream of the regasified sample, which creates the rarefaction area in the mixing chamber of the liquid-gas ejector and provides the LNG supply.

EFFECT: preventing change of the initial chemical composition of the sample, as well as reducing the volume of the sample subjected to regasification.

1 cl, 2 dwg

Изобретение относится к области получения и подготовки образцов сжиженного природного газа (СПГ) для анализа, в частности к обеспечению закачки пробы СПГ в пробоотборник, и может быть использовано в криогенной газовой промышленности.

Известен способ утилизации низконапорного газа (патент РФ №2297520, опубл. 20.04.2007 г.), включающий улавливание низконапорного газа эжектором, через который прокачивают насосом рабочую жидкость под давлением  $2,3 \div 9,5$  МПа, смешивают рабочую жидкость с низконапорным газом, при этом содержание углеводородов в смешиваемых компонентах обеспечивают не менее 10% от объема этих компонентов, повышают давление в проточной части эжектора и трубопроводе за этим эжектором, обеспечивают сжатие низконапорного газа до давления  $0,3 \div 6,5$  МПа, после эжектирования водогазовую смесь подают в сепаратор, где осуществляют отделение рабочей жидкости от газа, после сепаратора газ с требуемым для транспортировки давлением направляют в магистральный газопровод, а рабочую жидкость, потери которой восполняют, возвращают в эжектор.

Недостатком данного способа являются высокие энергозатраты, необходимые для нагнетания давления рабочей жидкости и эффективной работы эжектора, а также необходимость в последующем сепарировании водогазовой смеси.

Известен способ отбора пробы газа (патент РФ №2173841, опубл. 20.09.2001 г.), который включает перемещение газа из контролируемой среды в газопроводящую линию под действием разрежения, создающегося направленной через эжектор струей воздуха, образованной под действием разности давлений в окружающей среде и в потоке контролируемой среды.

Недостатком данного способа является то, что вывод газа после осуществления анализа осуществляется путем его введения в направленную струю воздуха, что влечет за собой смешение потоков и изменение компонентного состава в контролируемой среде. Кроме того, система предусматривает откачку топлива только с давлением ниже атмосферного, так как известный способ основан на использовании в качестве рабочего потока воздуха из окружающей среды, поэтому его применение возможно только в случае, когда давление в потоке контролируемой среды меньше давления воздуха.

Известен способ непрерывного отбора проб СПГ с компрессором и газгольдером с гидрозатвором (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 56719-2015 «Газ горючий природный сжиженный. Отбор проб»), который включает в технологической схеме отбора проб компрессор, служащий для подачи пробы газа в пробоотборник.

Недостатком данного способа является возможность изменения компонентного состава подаваемой пробы из-за попадания смазочных масел газового компрессора, а также дополнительные капитальные и энергетические затраты при комплектации и эксплуатации системы соответственно. Кроме того, использование компрессора приводит к снижению надежности использования технологической системы непрерывного отбора в целом и дополнительному обслуживанию оборудования.

Известен способ периодического отбора проб сжиженного природного газа (СПГ) с пробоотборниками постоянного давления (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 56719-2015 «Газ горючий природный сжиженный. Отбор проб.») принятый за прототип, который включает отбор пробы СПГ, его регазификацию, поддержание требуемого давления и транспортировку для химического анализа пробы, которая закачивается в пробоотборник с помощью газового компрессора.

Недостатком данного способа является возможность изменения компонентного состава подаваемой пробы из-за попадания смазочных масел газового компрессора,

а также дополнительные капитальные и энергетические затраты при комплектации и эксплуатации системы соответственно.

Техническим результатом является предотвращение изменения первоначального химического состава пробы сжиженного природного газа, а также уменьшение объема пробы, подвергающегося регазификации.

Технический результат достигается тем, что сжатие и закачка пробы в пробоотборник постоянного давления производится жидкостно-газовым эжектором за счет разницы давления потока СПГ, который поступает по линии пробоотбора СПГ, которая соединена с зондом и технологическим трубопроводом СПГ для подачи на эжектор, и потока регазифицированной пробы, который создает область разрежения в камере смешения жидкостно-газового эжектора и обеспечивает подачу СПГ.

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - алгоритм реализации способа отбора проб СПГ;

фиг. 2 - принципиальная схема эжекторной системы для периодического отбора проб СПГ, где:

- 1 - технологический трубопровод СПГ;
- 2 - зонд;
- 3 - линия пробоотбора СПГ для регазификации;
- 4 - испаритель;
- 5 - нагреватель;
- 6 - манометр;
- 7 - термометр;
- 8 - аккумулятор;
- 9 - вентиль;
- 10 - регулятор давления;
- 11 - задвижка;
- 12 - предохранительный клапан;
- 13 - свеча;
- 14 - фильтр пробы;
- 15 - хроматограф;
- 16 - трубопровод РСПГ;
- 17 - эжектор жидкостно-газовый;
- 18 - линия пробоотбора СПГ для подачи на эжектор;
- 19 - расходомер;
- 20 - игольчатый вентиль;
- 21 - пробоотборник постоянного давления;
- 22 - соленоидный клапан;
- 23 - система автозагрузки;
- 24 - газопровод-отвод на технологические нужды.

Способ осуществляется следующим образом. СПГ, идущий по технологическому трубопроводу СПГ 1 (фиг. 1, 2) отбирается зондом 2 и поступает по линии пробоотбора СПГ для регазификации 3 на испаритель 4, где подлежит регазификации, последующая фильтрация от механических примесей производится на фильтре пробы 14. Затем часть пробы отправляется на хроматограф 15, а часть по трубопроводу РСПГ 16 на эжектор жидкостно-газовый 17, который закачивает пробу в пробоотборник постоянного давления 21 уже в сжиженном состоянии. Для обеспечения полной регазификации тяжелых углеводородов производится нагрев испарителя 4 нагревателем 5. Аккумулятор 8 используется для сглаживания пульсаций давления регазифицированной пробы.

Манометр 6 и термометр 7 необходимы для контроля давления и температуры потока пробы соответственно. Абсолютное давление регазифицированной пробы СПГ, поддерживается с помощью регулятора давления 10 в интервале от 0,25 до 1,0 МПа в соответствии с ГОСТ Р 56719-2015. Сброс избытка давления предусмотрен при срабатывании предохранительного клапана 12 по свече 13. Требуется открытие задвижки 11 при эксплуатации системы отбора проб. По линии пробоотбора СПГ для подачи на эжектор 18 поступает СПГ, отбираемый из технологического трубопровода СПГ 1, на эжектор жидкостно-газовый 17, при этом являясь низконапорным потоком с давлением 0,25 МПа. Подача пробы регулируется вентилем 9. Система оборудуется

10 пробоотборником постоянного давления 21 объемом от 0,5 до 1 дм<sup>3</sup>. Требуемый объем обеспечивается благодаря внутреннему объемному расходу СПГ и расходу откачиваемого РСПГ и контролируется расходомером 19. Пробоотборник постоянного давления 21 оборудуется следующими конструктивными элементами:

15 предохранительными клапанами 12, манометрами 6 и игольчатыми вентилями 20, которые служат для регулирования потока пробы. Система автозагрузки 23 осуществляет предварительное заполнение пробоотборника постоянного давления 21 с соответствующей стороны аргоном, азотом или иным инертным газом, а соленоидный клапан 22 осуществляет электромеханическое регулирование этого потока. Избытки пробы транспортируются по газопроводу-отводу на технологические нужды 24.

20 Способ поясняется следующим примером. Для выполнения расчета, теоретически были определены следующие параметры:

- состав смеси СПГ (CH<sub>4</sub>=95,5%; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>=2,3%; N<sub>2</sub>=1,7% и др.);
- степень сжатия СПГ на входе в эжектор  $z=0,009883$ ;
- 25 - температуру СПГ на входе в эжектор  $T_{ж}=120$  К;
- абсолютное давление СПГ на входе в эжектор  $P_{ж}=0,25$  МПа;
- давление пара на входе в эжектор  $P_{г}=0,1$  МПа;
- расход откачиваемого топлива  $Q_{ж0}=31$  дм<sup>3</sup>/мин;
- 30 - давление насыщенных паров  $P_{s}=0,192$  МПа.

На основании данных, представленных в ГОСТ Р 56851-2016, выбрана смесь №2, имитирующая СПГ, в соответствии с которой представлены расчетные значения термодинамических свойств. В зависимости от заданного абсолютного давления СПГ, регламентированного ГОСТ Р 56719-2015, выбраны параметры жидкой фазы топлива

35 - степень сжатия и температура.

Значение давления насыщенных паров задано согласно ГОСТ Р 56021-2014 и в соответствии с температурой топлива, равной 120 К.

Исходя из того, что абсолютное давление РСПГ после испарителя необходимо поддерживать в интервале от 0,25 до 1,0 МПа, выбрано давление пара на входе в эжектор равное 0,7 МПа, как усредненное значение.

40

Далее в подробном описании представлен пример расчета основных параметров работы ЖГЭ с аэродинамической схемой №1 для отбора проб.

В качестве рабочей среды выступает высоконапорный поток регазифицированной пробы СПГ.

- 45 - внутренний объемный расход жидкости, перекачиваемой ЖГЭ (формула 1):

$$Q_{жс}^{omm} = \frac{z \cdot P_0 \cdot T_{жс}}{(P_z - P_s) \cdot T_0} \cdot Q_{ж0}, \quad (1)$$

где  $z$  - коэффициент сжимаемости СПГ;  $P_s$  - давление насыщенных паров рабочей жидкости, МПа,  $P_r$  - давление газа (паров СПГ), МПа;  $T_{ж}$  - температура жидкости (СПГ),  $Q_{ж0}$  - расход откачиваемой жидкости, м<sup>3</sup>/ед.;  $T_0, P_0$  - абсолютные показатели температуры и давления соответственно, К, МПа.

- приведенное давление рабочей жидкости (формула 2):

$$\bar{P} = \frac{P_z - P_s}{P_{жс} - P_s} \quad (2)$$

- коэффициент эжекции (внутренний коэффициент объемного расхода (формула 3):

$$u_{онм} = u_{\max} \cdot \left[ 1 - \exp(-B_{онм} \cdot \sqrt{\bar{P} - 1}) \right], \quad (3)$$

где  $u_{\max}$  - максимальный коэффициент эжекции, зависящий от типа аэродинамической схемы (таблица 1),  $B_{опт}$  - эмпирический коэффициент, зависящий от типа аэродинамической схемы.

- коэффициент восстановления давления (формула 4):

$$\psi_{онм} = \psi_{\max} \cdot \left[ 1 - \exp(-a_{онм} \cdot \sqrt{\bar{P} - 1}) \right] \quad (4)$$

где  $\psi_{\max}$  - максимальный коэффициент восстановления давления, зависящий от типа аэродинамической схемы,  $a_{опт}$  - эмпирический коэффициент, зависящий от типа аэродинамической схемы.

- расход рабочего потока газа (формула 5):

$$Q_z = \frac{Q_{жс}^{онм}}{u_{онм}} \quad (5)$$

■ степень сжатия газа (формула 6):

$$\varepsilon = 1 + \psi_{онм} \cdot (\bar{P} - 1) \quad (6)$$

- давление смеси на выходе из ЖГЭ (формула 7):

$$P_{см}^{онм} = P_{жс} + \psi_{онм} \cdot (P_z - P_{жс}) \quad (7)$$

- коэффициент полезного действия (формула 8):

$$\eta = \frac{u_{онм}}{\bar{P} - \varepsilon} \cdot \ln \varepsilon \quad (8)$$

- мощность, затрачивая на компримирование, при работе эжектора, с точностью до КПД насоса, МВт (формула 9):

$$N = P_z \cdot Q_z \quad (9)$$

- приведенная мощность, затрачиваемая на компримирование (формула 10):

$$\bar{N} = \frac{N}{Q_{жс} \cdot (P_{жс} - P_s)} \quad (10)$$

Результаты расчета определяющих параметров эффективности с учетом коэффициентов для оптимального режима для четырех типов аэродинамических схем соответственно приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета характеристик эжектора на оптимальном режиме для отбора проб

Тип схемы	$u_{опт}$	$Q_{г}$ $дм^3/мин$	$\varphi_{опт}$	$\varepsilon$	$P_{см}$ МПа	$N, Вт$	$N_{прив}$	$\eta, \%$
1	1,969	0,337	0,283	3,193	0,377	2,357	61,288	41,075
2	2,610	0,254	0,185	2,439	0,333	1,778	46,244	36,823
3	3,115	0,213	0,151	2,169	0,318	1,490	38,742	36,602
4	4,190	0,158	0,107	1,827	0,298	1,108	28,804	36,431

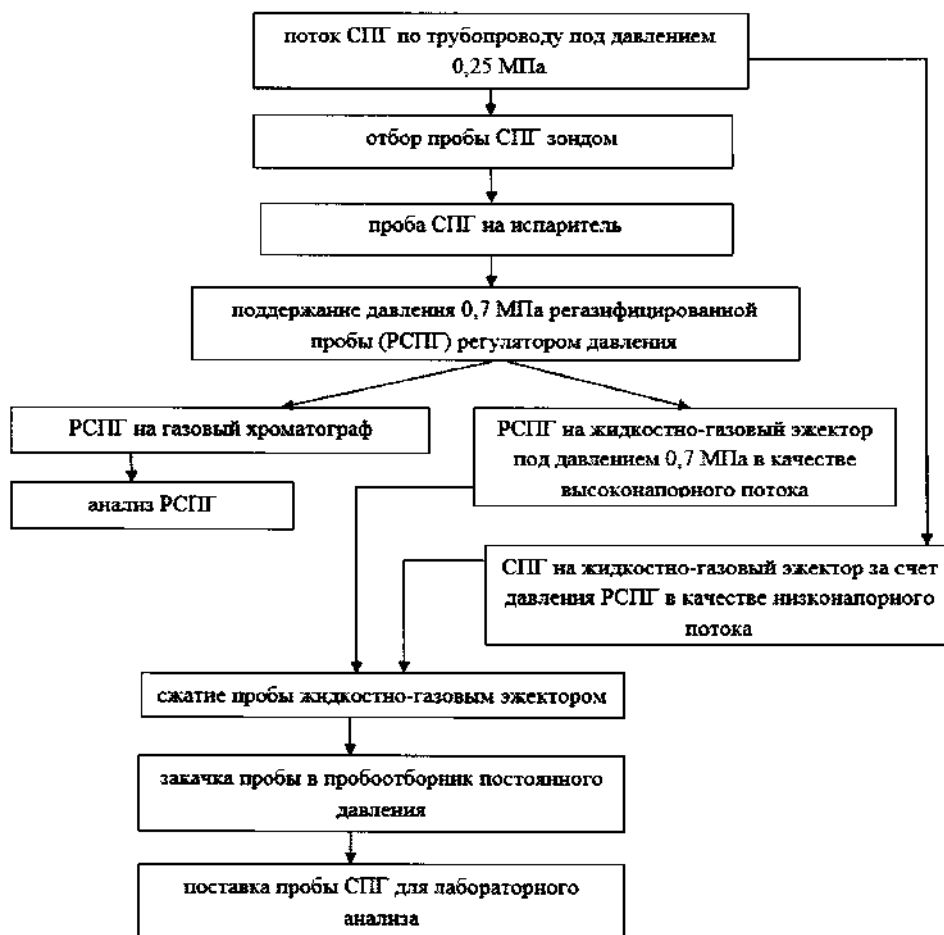
Выбор аэродинамической схемы эжектора зависит от наиболее эффективных показателей КПД, коэффициента эжекции и приведенной мощности. В жидкостно-газовом эжекторе наибольший КПД достигается в том случае, если процесс обмена количеством движения между активным и пассивными потоками завершается в пределах рабочей камеры и закачивается перед входом в диффузор, чему наиболее соответствует схема №1 по результатам расчета. Благодаря высокому перепаду давления между потоками СПГ и регазифицированной пробой, а также относительно низкому коэффициенту эжекции для выбранного типа аэродинамической схемы №1 произведенные теоретические расчеты позволяют привести к энергоэффективным результатам.

Преимущество данного способа состоит в том, что система периодического отбора проб СПГ позволяет предотвратить изменение первоначального химического состава пробы сжиженного природного газа за счет работы жидкостно-газового эжектора, не требующего смазочных масел, а также сократить объем пробы, подвергающийся регазификации путем отбора ее части в виде СПГ жидкостно-газовым эжектором с конструктивными параметрами, обеспечивающими коэффициент полезного действия 41% и мощность 2,4 Вт.

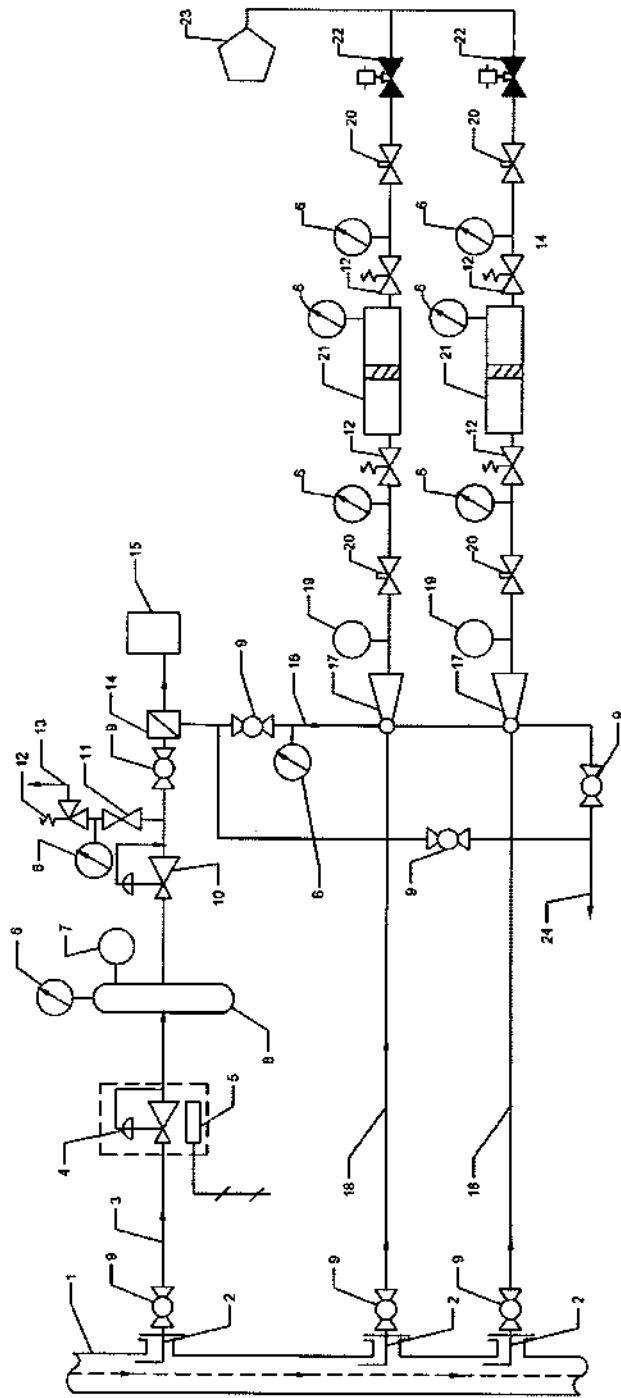
#### (57) Формула изобретения

Способ отбора проб сжиженного природного газа (СПГ), включающий отбор пробы СПГ, ее регазификацию, поддержание требуемого давления и транспортировку для химического анализа пробы на газовом хроматографе и закачку пробы в пробоотборник постоянного давления для анализа в лабораторных условиях, отличающийся тем, что сжатие и закачка пробы в пробоотборник постоянного давления производится жидкостно-газовым эжектором за счет разницы давления потока СПГ, который поступает по линии пробоотбора СПГ, которая соединена с зондом и технологическим трубопроводом СПГ для подачи на эжектор, и потока регазифицированной пробы, который создает область разрежения в камере смешения жидкостно-газового эжектора и обеспечивает подачу СПГ.





Фиг.1



Фиг.2