

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2761148

СПОСОБ ТРАНСПОРТИРОВКИ КРИОГЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

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

Авторы: *Карякина Екатерина Денисовна (RU), Шалыгин Алексей Викторович (RU), Шаммазов Ильдар Айратович (RU)*

Заявка № 2021114128

Приоритет изобретения 19 мая 2021 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 06 декабря 2021 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 19 мая 2041 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F16L 9/12 (2021.08); F17D 1/14 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021114128, 19.05.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.05.2021

Дата регистрации:
06.12.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.05.2021

(45) Опубликовано: 06.12.2021 Бюл. № 34

Адрес для переписки:
190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О.,
Иванов Михаил Владимирович

(72) Автор(ы):

Карякина Екатерина Денисовна (RU),
Шалыгин Алексей Викторович (RU),
Шаммазов Ильдар Айратович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

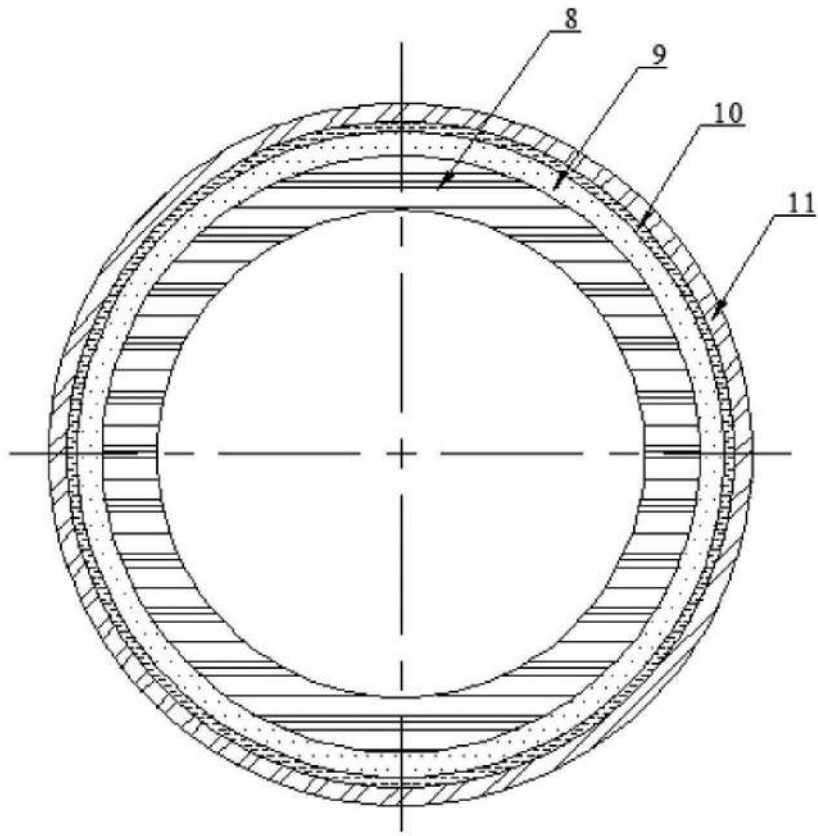
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: JPH 05141599 A, 08.06.1993. RU
2156400 C1, 20.09.2000. SU 1030611 A1,
23.07.1983. EA 18329 B1, 30.07.2013. US 8122914
B2, 28.02.2012.

(54) СПОСОБ ТРАНСПОРТИРОВКИ КРИОГЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу транспортирования криогенных жидкостей, в особенности сжиженных газов, и может быть использовано при проектировании и сооружении трубопроводов, транспортирующих криогенные жидкости. Способ транспортировки криогенных жидкостей включает транспортировку СПГ по трубопроводам и охлаждение трубопровода перед транспортировкой. Трубопровод изготавливают из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, сверху покрывают несколькими слоями изоляции, включающей как минимум один теплоизоляционный слой, затем не менее двух пароизоляционных слоев и покровный слой.

Рабочее давление в трубопроводе должно быть выше давления упругости паров криогенной жидкости. В движении допускают рост температуры криогенной жидкости до температуры, которая не превышает температуру насыщения криогенной жидкости при данном рабочем давлении. Охлаждение трубопровода производят инертным газом, в качестве которого используют азот, в газообразном состоянии с температурой сжижения ниже, чем у криогенной жидкости. Техническим результатом является снижение гидравлических сопротивлений при движении жидкости. 4 ил.



Фиг. 2

RU 2761192 C1

RU 2761148 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
F16L 9/12 (2021.08); F17D 1/14 (2021.08)

(21)(22) Application: **2021114128, 19.05.2021**

(24) Effective date for property rights:
19.05.2021

Registration date:
06.12.2021

Priority:

(22) Date of filing: **19.05.2021**

(45) Date of publication: **06.12.2021** Bull. № 34

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., Ivanov
Mikhail Vladimirovich**

(72) Inventor(s):

**Kariakina Ekaterina Denisovna (RU),
Shalygin Aleksei Viktorovich (RU),
Shammazov Ildar Airatovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD FOR TRANSPORTING CRYOGENIC LIQUIDS**

(57) Abstract:

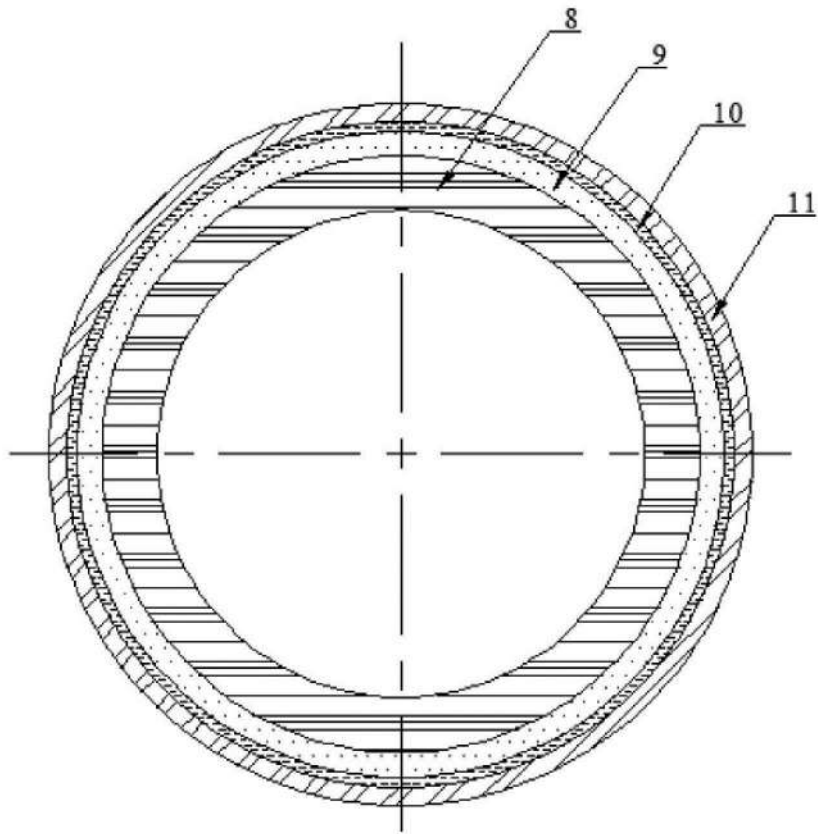
FIELD: cryogenic liquids transporting.

SUBSTANCE: invention relates to a method for transporting cryogenic liquids, especially liquefied gases, and can be used in the design and construction of pipelines transporting cryogenic liquids. The method for transporting cryogenic liquids includes transporting LNG through pipelines and cooling the pipeline before transportation. The pipeline is made of ultra-high molecular weight polyethylene, covered on top with several layers of insulation, including at least one thermal insulation layer, then at least two vapor barrier layers and a cover layer. The operating pressure in the

pipeline must be higher than the vapor pressure of the cryogenic liquid. In motion, the temperature of the cryogenic liquid is allowed to rise to a temperature that does not exceed the saturation temperature of the cryogenic liquid at a given operating pressure. The pipeline is cooled with an inert gas, which is used as nitrogen, in a gaseous state with a liquefaction temperature lower than that of a cryogenic liquid.

EFFECT: reduction of hydraulic resistance during fluid movement.

1 cl, 4 dwg



Фиг. 2

RU 2761148 C1

RU 2761148 C1

Изобретение относится к способу транспортирования криогенных жидкостей, в особенности сжиженных газов, и может быть использовано при проектировании и сооружении трубопроводов, транспортирующих криогенные жидкости.

5 Известен способ транспортирования сжиженных газов (Патент SU № 903650, опубл. 07.02.1982), содержащий двустенный теплоизолированный трубопровод, межтрубное пространство которого разделено на герметичные секции, в них подают промежуточный газ, при давлении равном среднему давлению транспортируемой среды на данном участке трубопровода. Трубопровод содержит слоистую изоляцию, содержащую эластичный адсорбент, пространство между которыми вакуумировано.

10 Основными недостатками этого способа являются, что при первоначальном заполнении трубопровода происходит неравномерное сжатие его участков, что приводит к возникновению значительных напряжений, вызванных разницей температур между криогенной жидкостью и трубопроводом, а также из-за сложности поддержания вакуума по всей длине трубопровода возникают ограничения по протяженности и диаметру
15 таких трубопроводов. Помимо этого, происходит постепенная потеря поглощающих свойств адсорбента.

Известен способ подготовки к транспортированию смеси сжиженных углеводородов по магистральным трубопроводам в охлажденном состоянии (Патент RU № 2584628, опубл. 20.05.2016), включающий очистку природного газа, многоступенчатое охлаждение
20 его до температуры от -30 до -50°C с добавлением охлажденного до температуры от -20 до -50°C конденсата в количестве от 3 до 10 вес. %. Полученную углеводородную смесь охлаждают до температуры от -40 до -50°C при давлении от 10 до 12 МПа до однофазного жидкого состояния и транспортируют по магистральному трубопроводу.

Основным недостатком данного способа является, что для столь значительного
25 снижения температуры перекачки сжиженного природного газа, дополнительно вводится конденсат, содержащий тяжелые углеводородные фракции (пентан, гексан), что значительно ухудшает качество поступаемого потребителю сжиженного природного газа.

Известен способ перекачки СПГ по магистральным трубопроводам (Магистральные
30 трубопроводы охлажденного и сжиженного природного газа. Ответственный редактор А.Е. Полозов / Н.П. Акульшина, В.А. Андрианов, В.И. Зоркальцев и др. УРО РАН, Коми НЦ. СЫКТЫВКАР, 1988, с. 158), включающий в себя насосно-перекачивающие станции, станции охлаждения перекачиваемого продукта и линейные пункты контроля его температуры. Перекачка производится по трубопроводам диаметром от 1220 до
35 1420 мм, при давлении 5,5 МПа и температурном интервале 153К – 173 К.

Основным недостатком описанного способа является необходимость охлаждения большой массы металла, для чего необходим большой объем охлажденного газа и в дальнейшем сжиженного природного газа, поступаемого с головного завода сжижения. Суммарное время процесса захлаживания для трубопровода диаметром 1420 мм,
40 длиной 100 км составляет более суток. Кроме того, предлагаемая для сооружения специально-разработанная экономлегированная сталь 10ХГНМАЮ является дефицитной, на данный момент в мире отсутствует ее промышленное производство.

Известен способ транспортирования (Патент WO2012127261A1, опубл. 27.09.2012) сжиженных газов, в особенности СПГ, при температуре ниже температуры насыщения.
45 В предлагаемом способе сжиженный газ охлаждается перед загрузкой в цистерны судна-носителя (например, корабль, автомобиль, железнодорожный вагон) до температуры ниже температуры насыщения при расчетном давлении в цистернах во время транспортировки. При транспортировке поступление тепла из окружающей среды

поглощается за счет свободного повышения температуры сжиженного газа от переохлажденной жидкости до насыщенного жидкого состояния.

5 Данный способ неприменим для условий трубопроводного транспорта криогенных жидкостей, так как трубопровод представляет собой протяженное сооружение, то транспортировка со свободным повышением температуры при атмосферном давлении (0,103 МПа) неизбежно приведет к кипению СПГ.

10 Известен способ транспортирования криогенных жидкостей и трубопровод для его осуществления (Патент RU № 2156400, опубл. 20.09.2000), включающий создание запаса длины трубопровода, захолаживание внутренней трубы трубопровода до температуры перекачки продукта, закачивание транспортируемого продукта и регулирование температурных режимов и давления трубопровода. Трубопровод для транспортирования криогенных жидкостей состоит из двух концентрично установленных труб, неподвижных опор и технических средств для регулирования температуры и давления. Наружная и внутренняя трубы трубопровода установлены с возможностью перемещения

15 относительно друг друга, наружная труба снабжена двумя патрубками, а по меньшей мере на двух опорах каждого линейного участка трубопровода размещены герметичные камеры длиной, равной продольному перемещению этого участка при температуре эксплуатации, при этом камеры соединены с наружной трубой трубопровода при помощи телескопических компенсаторов.

20 Недостатком данного способа является то, что при захолаживании сжиженный газ подается в межтрубное пространство и, не смотря на использование системы телескопических компенсаторов, внутренняя труба будет испытывать сильные сжимающие нагрузки, так как сжиженный газ будет резко охлаждать магистраль. Таким образом, не удастся избежать образования двухфазного потока и кипения жидкости,

25 что также будет приводит к повышенным нагрузкам на материал стенки труб, что может привести к аварийной ситуации. Помимо этого, сложность создания и поддержания вакуума по всей длине трубопровода накладывает ограничения на протяженность и диаметр таких трубопроводов, а также происходит постепенная потеря поглощающих свойств адсорбента.

30 Известен способ транспортировки сжиженного природного газа (Патент JPH05141599A, , опубл. 08.06.1993), принятый за прототип, в котором СПГ транспортируется по трубопроводам и охлаждается жидким воздухом, полученным с использованием энергии холода сжиженного природного газа в отдельном процессе, перед транспортировкой или после нее (непосредственно перед загрузкой). СПГ

35 хранящийся в резервуаре, нагнетается насосом и перекачивается к потребителю по двустенному трубопроводу, пространство между которыми заполнено перлитом и вакуумировано. Повышение давления с учетом роста температуры во время транспортировки регулируется до такой степени, чтобы поддерживать СПГ в сжиженном состоянии.

40 Недостатком данного способа является перемешивание потока СПГ и сжиженного воздуха, что ухудшает качественные показатели СПГ и может привести к образованию взрывоопасной смеси. Как уже было отмечено выше применение вакуумной изоляции накладывает ограничения на протяженность и диаметр таких трубопроводов, а также происходит постепенная потеря поглощающих свойств адсорбента.

45 Техническим результатом является снижение гидравлических сопротивлений при движении жидкости путем применения труб, изготовленных из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ).

Технический результат достигается тем, что трубопровод изготавливают из

сверхвысокомолекулярного полиэтилена, сверху покрывают несколькими слоями изоляции, включающей как минимум один теплоизоляционный слой, затем не менее двух пароизоляционных слоев и покровный слой, рабочее давление в трубопроводе должно быть выше давления упругости паров криогенной жидкости, при этом в

5 движении допускают рост температуры криогенной жидкости до температуры, которая не превышает температуру насыщения криогенной жидкости при данном рабочем давлении, а охлаждение трубопровода производят инертным газом, в качестве которого используют азот, в газообразном состоянии с температурой сжижения ниже, чем у криогенной жидкости.

10 Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 – принципиальная схема перекачки СПГ по трубопроводам;

фиг. 2 – поперечный разрез сечения трубопровода;

фиг. 3 – график падения давления в трубопроводе, изготовленном из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и аналогичном из стали;

15 фиг. 4 – график распределения температуры СПГ в трубопроводе, изготовленном из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и аналогичном из стали, где:

1 – завод сжижения;

2 – перекачивающая насосная станция;

3 – станция дополнительного охлаждения;

20 4 – установка регазификации;

5 – низкотемпературное хранилище;

6 – потребитель;

7 – газовоз;

8 – трубопровод из СВМПЭ;

25 9 – теплоизоляционный слой;

10 – пароизоляционный слой;

11 – покровный слой.

Способ осуществляется следующим образом. Криогенная жидкость поступает на

30 заполнение с завода сжижения 1 (фиг. 1), в предварительно охлажденный жидким азотом трубопровод. При заполнении трубопровода криогенной жидкостью, она неравномерно заполняет его сечение и скапливается в нижней части трубы, из-за этого возникают неравномерные напряжения по сечению трубопровода. Нижняя часть трубы испытывает

35 сильные нагрузки на сжатие. С целью сокращения таких нагрузок трубопровод предварительно охлаждается инертным охлажденным газом, чья температура сжижения ниже температуры криогенной жидкости, например, азотом. Охлажденный газ

40 равномерно распространяется по всему предоставленному ему объему трубопровода. Таким образом, при заполнении достигается снижение температурных напряжений по осевому сечению трубопровода, что позволяет сократить вероятность образования двухфазного потока и связанных с этим неблагоприятных газогидродинамических

45 эффектов, таких как пульсации давления, гидравлические удары, а также гейзерные эффекты при последующем заполнении криогенной жидкостью. Для предотвращения перемешивания СПГ и азота можно использовать газонепроницаемый поршень-разделитель, выполненный из материала, стойкого к криогенным температурам. Источником охлажденного азота может служить газ с завода сжижения, используемый

в циклах охлаждения при сжижении либо мобильные установки с сжиженным азотом, который испаряется в испарителе и охлажденный поступает на заполнение через мобильные компрессорные агрегаты.

Сжиженный природный газ перекачивается по низкотемпературному

теплоизолированному трубопроводу перекачивающей насосной станцией 2 (фиг. 1). Для транспортировки используется трубопровод из СВМПЭ 8 (фиг. 2), изготовленный из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Предлагаемый в качестве материала трубопровода СВМПЭ обладает значительно меньшими шероховатостью поверхности стенки трубопровода и коэффициентом теплопроводности в сравнении с широко используемой никельсодержащей сталью. СВМПЭ способен работать при температурах до $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ с сохранением высоких показателей ударной вязкости. Это основные характеристики, обеспечивающие увеличение протяженности трубопровода, что также достигается за счет сокращения количества перекачивающих насосных станций для поддержания давления и станций дополнительного охлаждения жидкости.

Изоляционное покрытие состоит из как минимум одного теплоизоляционного слоя 9 (фиг. 2), который выполнен, например, из пенополиуретана, вспученного перлитного песка, разновидностей минеральной ваты или базальтового волокна, разрешенных к применению при температуре транспортировки криогенной жидкости.

Поверх теплоизоляционного слоя 9 монтируют не менее двух пароизоляционных слоев 10, которые могут быть изготовлены, например, из полиэтиленовой пленки либо фольги.

Затем устанавливают покровный слой 11, изготовленный, например, из композиционных материалов либо из металлических листов.

Параметры транспортировки определяются по нижеприведенным формулам, описывающим процесс движения криогенной жидкости, в частности сжиженного природного газа, по трубопроводу. Потери давления в рассматриваемом участке трубопровода определяются из выражения Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta p = \lambda \frac{x \cdot v^2 \cdot \rho}{2d_{\text{int}}} \cdot 1,015 \quad (1)$$

где λ - коэффициент гидравлического сопротивления;

x - длина участка трубопровода;

d_{int} - внутренний диаметр,

v - скорость потока,

ρ - плотность.

В формуле (1) влияние местных сопротивлений учитывается путем увеличения потерь давления на 1,5%.

Изменение давление в любой точке потока:

$$P_{i+1} = P_i - \Delta P_i \quad (2)$$

P_i - давление в начале участка трубопровода, ΔP_i - падение давления на рассматриваемой участке трубопровода

При движении через рассматриваемый участок сжиженный природный газ изменяет свою температуру вследствие увеличения теплосодержания, которое происходит за счет теплопритока из окружающей среды, например, грунта, а также вследствие совершения работы при перемещении криогенной жидкости с массовым расходом G с преодолением сопротивления idx . Изменением температуры вследствие изменения скорости движения потока пренебрегается из-за ее незначительной величины, так как предполагается, что в трубопроводе имеет место стационарное установившееся течение. В области криогенных температур имеет место явление инверсии коэффициента Джоуля-Томсона, т.е. смена его знака, и в этом случае он будет способствовать не охлаждению сжиженного газа, а его нагреву. Таким образом, уравнение теплового баланса с учетом

эффекта Джоуля-Томсона принимает вид:

$$Gc_p dT = -K\pi d_{int} (T - T_0) dx + Ggidx - Gc_p D_h \cdot \frac{p_i - p_{i+1}}{x} dx. \quad (3)$$

5 G – массовый расход криогенной жидкости;

c_p — коэффициент теплоемкости СПГ;

K – полный коэффициент теплопередачи;

d_{int} – внутренний диаметр трубопровода;

T – температура СПГ на участке трубопровода x ;

10 T_0 – температура грунта на глубине заложения трубопровода; g – ускорение свободного падения,

i – гидравлический уклон, p_i, p_{i+1} – давления в начале и в конце участка трубопровода, соответственно;

15 x – протяженность участка трубопровода, D_h – коэффициент Джоуля-Томсона.

Выражение, позволяющее определить температуру в любой точке потока:

$$T(x) = T_0 + \frac{Ggi}{K_i\pi d_{int}} - \frac{Gc_p D_h}{K_i\pi d_{int}} \cdot \frac{p_i - p_{i+1}}{x} + \left(T_{in} - T_0 - \frac{Ggi}{K_i\pi d_{int}} + \frac{Gc_p D_h}{K_i\pi d_{int}} \cdot \frac{p_i - p_{i+1}}{x} \right) \cdot e^{-x \frac{K_i\pi d_{int}}{Gc_p}} \quad (4)$$

20 Тепло поступает от грунта к изолированному трубопроводу, затем от изоляционного покрытия к стенке трубы и от стенки трубы к перекачиваемому потоку. Этот процесс математически выражается полным коэффициентом теплопередачи:

$$25 \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_{int}}{2\lambda_p} \ln \frac{d_{ext}}{d_{int}} + \frac{d_{int}}{2\lambda_{ins}} \ln \frac{d_{ins}}{d_{ext}} + \frac{d_{int}}{\alpha_2 d_{ins}} \quad (5)$$

λ_p, λ_{ins} – коэффициенты теплопроводности стенки трубы и изоляционного материала трубопровода, соответственно, d_{ext} – наружный диаметр трубопровода; d_{ins} – диаметр трубопровода с изоляционным покрытием; α_1 – внутренний коэффициент теплопередачи,

30 характеризующий движение тепла от внутренней поверхности трубопровода к СПГ:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_{LNG} Nu}{d_{int}} \quad (6)$$

λ_{LNG} – коэффициент теплопроводности СПГ;

35 Nu – число Нуссельта.

α_2 – внешний коэффициент теплопередачи, характеризующий движение тепла от грунта к внешней поверхности изоляционного покрытия:

$$40 \alpha_2 = \frac{2\lambda_{gr}}{d_{ins} \cdot \ln \left(\frac{2h_0}{d_{ins}} + \sqrt{\left(\frac{2h_0}{d_{ins}} \right)^2 - 1} \right)} \quad (7)$$

λ_{gr} – коэффициент теплопроводности грунта;

45 h_0 – эквивалентная глубина заложения трубопровода.

Если неизвестны начальное давление и диаметр трубопровода, то для их определения выполняется гидравлический расчет, полагая, что режим течения стационарный при постоянной температуре, выбранной по диаграмме фазовых состояний для жидкости заданного состава. По ним рассматривается область слева, лежащая выше кривой

начала испарения. Исходя из необходимости поддержания потока в однофазном состоянии, расчет для определения начального давления в трубопроводе выполняется по верхней границе выбранного температурного интервала, так как в этом случае существует наибольшая вероятность образования двухфазного потока. Для определения 5 давления в начале участка трубопровода, делается допущение, что давление в конце участка равно давлению насыщения СПГ. Таким образом, давление в начале складывается из потерь давления по длине трубы (формула 1) и давления в конце участка трубопровода.

При движении криогенной жидкости по трубопроводу допускается повышение ее 10 температуры до температуры промежуточного уровня, но не превышающей температуру насыщения при данном давлении. Рабочее давление перекачиваемой криогенной жидкости должно быть выше давления насыщенных паров при данной температуре.

После заполнения линии криогенной жидкостью и выхода на рабочие параметры в зависимости от необходимого расстояния транспортировки, выбранного давления и 15 температурного интервала перекачки по трассе трубопровода могут быть установлены промежуточные станции поддержания давления и охлаждения. Стоит отметить, что установка промежуточных станций может потребоваться в случаях, если расстояние транспортировки будет 50-100 км. Однако пока транспортировка СПГ на такие расстояния почти не используется. Расчетом обеспечивается необходимый режим 20 транспортировки на расстояние порядка 20 км.

На конечном участке трубопровода в зависимости от нужд конечного потребителя устанавливается станция дополнительного охлаждения 3 (фиг. 1) либо СПГ напрямую поступает на установку регазификации 4. На станции дополнительного охлаждения криогенная жидкость охлаждается до температуры ниже температуры нормального 25 кипения, в тех случаях, если криогенная жидкость хранится в низкотемпературном хранилище 5 при атмосферном давлении, поступает напрямую к потребителю 6 или на дальнейшую погрузку в газовоз 7.

В качестве примера, подтверждающего работоспособность способа, был выполнен расчет трубопровода СПГ состава (в % об.): CH_4 - 99,8 %; N_2 - 0,13 %; C_2H_6 - 0,07 %, 30 по указанным выше формулам 1-7 для трубопровода, изготовленного из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и стали AISI 321, аналога 12X18H10T. Давление и температура на входе составили 2 МПа и -160°C соответственно. В качестве теплоизоляционного слоя применен пенополиуретан, покровный слой выполнен из рулонного стеклопластика и два слоя пароизоляционного материала из 35 полиэтиленовой термоусадочной пленки. Исходные характеристики трубопровода представлены в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	Величина	
	СВМПЭ	AISI 321
Наружный диаметр трубопровода, d_{ext} , мм	350	351
Внутренний диаметр трубопровода, d_{int} , мм	286	325
Внешний диаметр трубопровода с изоляционным покрытием, d_{ins} , мм	410	411
Протяженность трубопровода, L, м	20000	
Шероховатость стенки трубопровода, мм	0,00022	0,2
Массовый расход, G, т/сут	5000	
Коэффициент теплопроводности материала трубы, λ_{pipe} , Вт/(м·К)	0,3	11
Коэффициент теплопроводности изоляционного покрытия, λ_{ins} , Вт/(м·К)	0,03	
Коэффициент теплопроводности грунта, λ_{gr} , Вт/(м·К)	1,9	

Эквивалентная глубина заложения, h_0 , м	2
--	---

На фиг. 3 представлен график падения давления в подземном трубопроводе СПГ, изготовленного из стали (пунктирная линия) и СВМПЭ (сплошная линия) в зависимости от его длины, полученный по результатам выполненного расчета. Потери давления в стальном трубопроводе значительно превышают аналогичный из СВМПЭ, что очевидно объясняется более высокими значениями шероховатости стали. Как видно из графика падение давления происходит почти линейно.

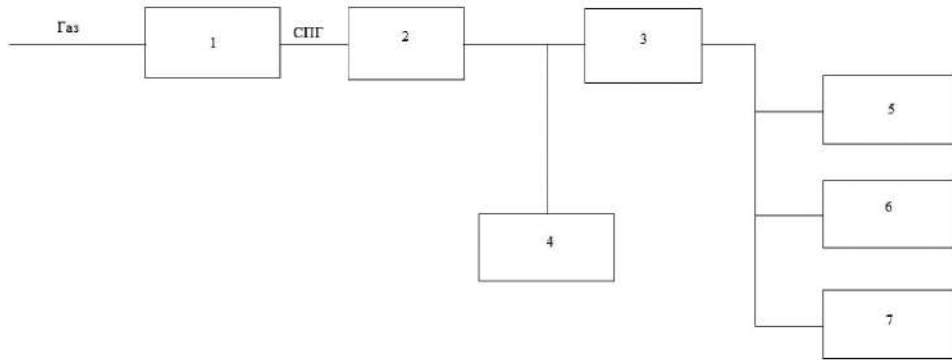
На фиг. 4 представлено изменение температуры СПГ для трубопровода, изготовленного из СВМПЭ и стали AISI 321, построенный по результатам расчета. Из него видно, что темп роста температуры в трубопроводе из СВМПЭ ниже, чем в аналогичном из стали, что связано в первую очередь со значительно меньшим коэффициентом теплопроводности полимерного материала $0,3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ в сравнении с $11 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ для стального трубопровода.

Однако наиболее показательной является разница в потерях давления при движении, что подтверждается основными формулами гидравлики и различной шероховатостью труб, а также способностью полимеров к самосмазыванию. Исходя из этого, можно сделать вывод о возможности транспортировки криогенных жидкостей на большие расстояния без сооружения дополнительных насосных станций и станций дополнительного охлаждения.

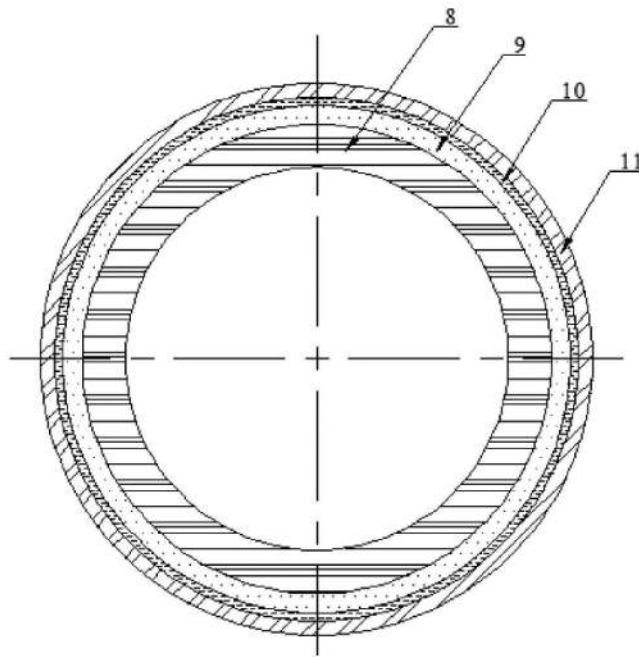
(57) Формула изобретения

Способ транспортировки криогенных жидкостей, включающий транспортировку СПГ по трубопроводам и охлаждение трубопровода перед транспортировкой, отличающийся тем, что трубопровод изготавливают из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, сверху покрывают несколькими слоями изоляции, включающей как минимум один теплоизоляционный слой, затем не менее двух пароизоляционных слоев и покровный слой, рабочее давление в трубопроводе должно быть выше давления упругости паров криогенной жидкости, при этом в движении допускают рост температуры криогенной жидкости до температуры, которая не превышает температуру насыщения криогенной жидкости при данном рабочем давлении, а охлаждение трубопровода производят инертным газом, в качестве которого используют азот, в газообразном состоянии с температурой сжижения ниже, чем у криогенной жидкости.

1

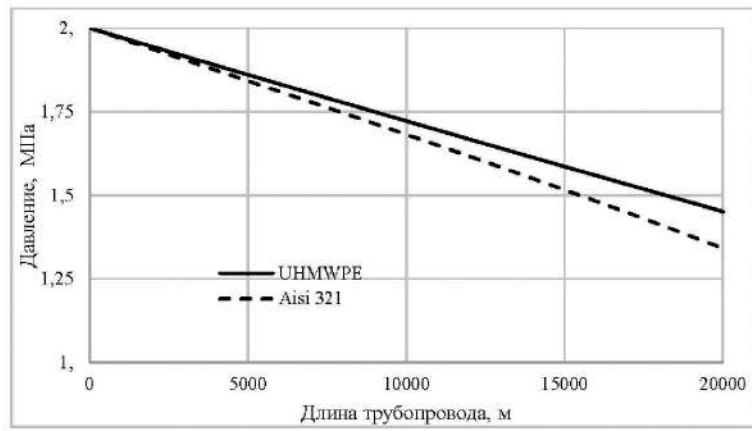


Фиг. 1

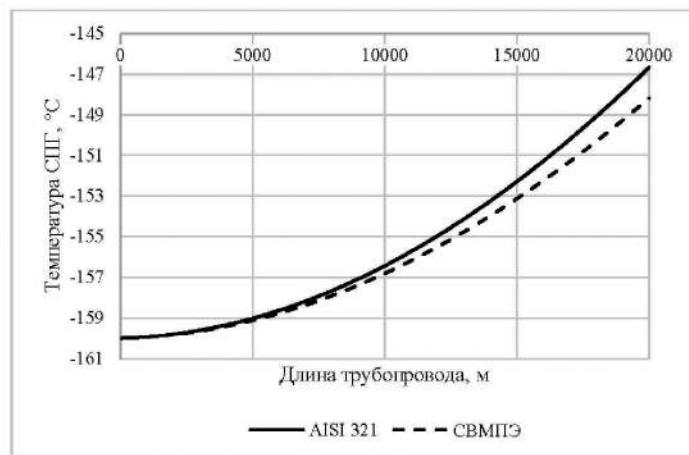


Фиг. 2

2



Фиг. 3



Фиг. 4