



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F25J 1/0022 (2020.01); F25J 1/0035 (2020.01); F25J 1/0037 (2020.01); F25J 1/004 (2020.01); F25J 1/0202 (2020.01); F25J 1/0209 (2020.01); F25J 1/021 (2020.01); F25J 3/061 (2020.01); F25J 3/0635 (2020.01); F25J 3/067 (2020.01)

(21)(22) Заявка: 2018123933, 01.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
01.12.2016Дата регистрации:  
15.04.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
03.12.2015 EP 15197898.8

(43) Дата публикации заявки: 14.01.2020 Бюл. № 2

(45) Опубликовано: 15.04.2020 Бюл. № 11

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 03.07.2018(86) Заявка РСТ:  
EP 2016/079386 (01.12.2016)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2017/093377 (08.06.2017)Адрес для переписки:  
101000, Москва, ул. Мясницкая, 13, стр. 5, ООО  
"Союзпатент", С.Б. Фелициной

(72) Автор(ы):

ГРУНЕНДЕЙК Тейс (NL),  
ПОРТЕ Раймо Эдвин Грегор (NL),  
РАГХАВАН Нирупа (NL),  
ВАН АКЕН Михил Гейсберт (NL)

(73) Патентообладатель(и):

ШЕЛЛ ИНТЕРНЭШНЛ РИСЕРЧ  
МААТСХАППИЙ Б.В. (NL)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 3376709 A, 09.04.1968. WO 2014/  
166925 A2, 16.10.2014. SU 642585 A1, 15.01.1979.  
US 2015/159946 A1, 11.06.2015. EA 6001 B1,  
25.08.2005.(54) СПОСОБ СЖИЖЕНИЯ ПОТОКА ГАЗА, ЗАГРЯЗНЕННОГО CO<sub>2</sub>, СОДЕРЖАЩЕГО  
УГЛЕВОДОРОДЫ

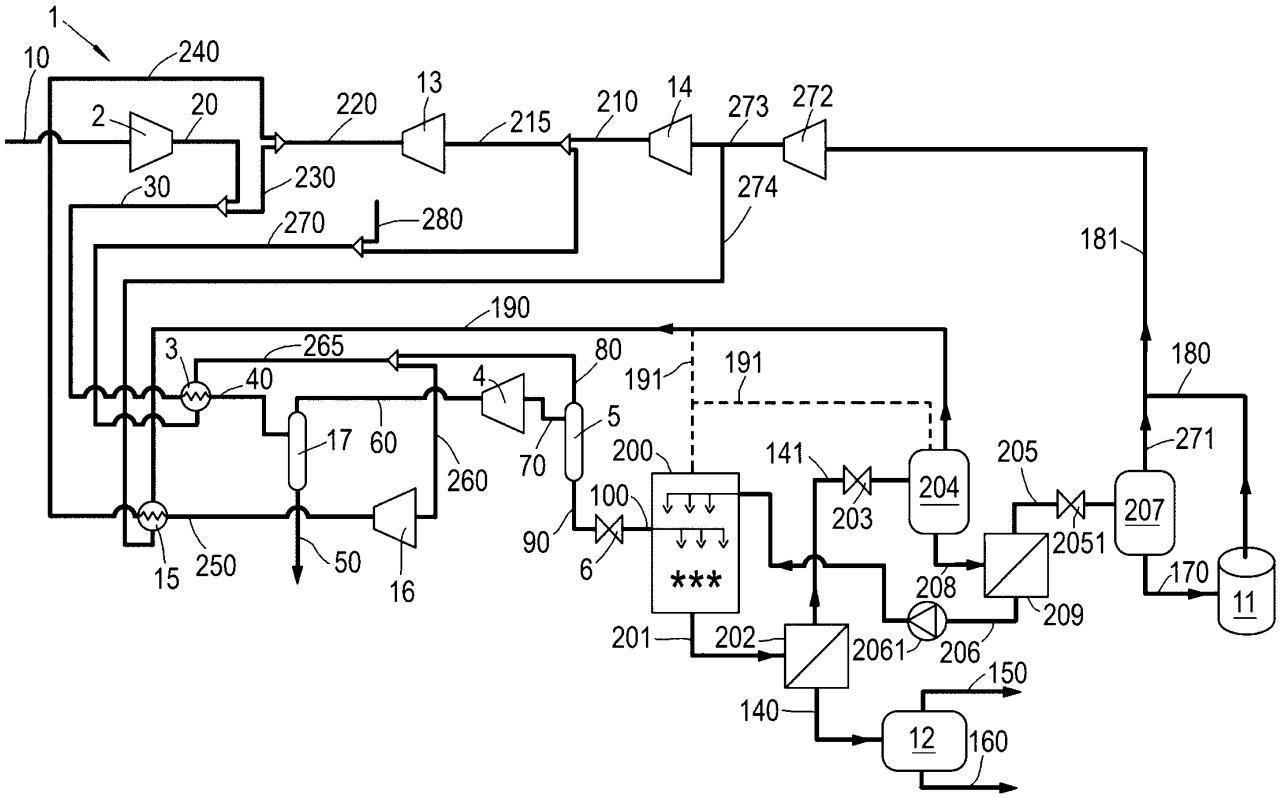
(57) Реферат:

Предложен способ сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды. Получают поток (20) загрязненного CO<sub>2</sub> газа, содержащего углеводороды. Охлаждают указанный поток загрязненного газа, содержащего углеводороды, получая частично сжиженный поток (70). Разделяют указанный частично сжиженный поток, получая поток (90) жидкости. Охлаждают указанный поток (90) жидкости в теплообменнике (200) с

непосредственным контактом сред, получая многофазный поток (201), содержащий по меньшей мере жидкую фазу и твердую фазу CO<sub>2</sub>. Разделяют указанный многофазный поток в сепараторе (202) твердой и жидкой фаз, получая поток (141) жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub>. Пропускают поток (141) жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub> через каскад дополнительного охлаждения, понижения давления и разделения, создающий дополнительный поток (206)

суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>. Пропускают по меньшей мере часть указанного дополнительного потока (206) суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>, через теплообменник (200) с непосредственным

контактом сред, обеспечивая охлаждение потока (90) жидкости и смешивание с ним. Техническим результатом является упрощение процесса сжижения. 2 н. и 13 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг. 1А

RU 2718943 C2

RU 2718943 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*F25J 1/0022* (2020.01); *F25J 1/0035* (2020.01); *F25J 1/0037* (2020.01); *F25J 1/004* (2020.01); *F25J 1/0202* (2020.01); *F25J 1/0209* (2020.01); *F25J 1/021* (2020.01); *F25J 3/061* (2020.01); *F25J 3/0635* (2020.01); *F25J 3/067* (2020.01)

(21)(22) Application: **2018123933, 01.12.2016**(24) Effective date for property rights:  
**01.12.2016**Registration date:  
**15.04.2020**

Priority:

(30) Convention priority:  
**03.12.2015 EP 15197898.8**(43) Application published: **14.01.2020 Bull. № 2**(45) Date of publication: **15.04.2020 Bull. № 11**(85) Commencement of national phase: **03.07.2018**(86) PCT application:  
**EP 2016/079386 (01.12.2016)**(87) PCT publication:  
**WO 2017/093377 (08.06.2017)**Mail address:  
**101000, Moskva, ul. Myasnitskaya, 13, str. 5, OOO  
"Soyuzpatent", S.B. Felitsinoj**

(72) Inventor(s):

**GRUNENDEJK Tejs (NL),  
PORTE Rajmo Edvin Gregor (NL),  
RAGKHAVAN Nirupa (NL),  
VAN AKEN Mikhil Gejsbert (NL)**

(73) Proprietor(s):

**SHELL INTERNESHNL RISERCH  
MAATSKHAPPIJ B.V. (NL)**

(54) **METHOD OF LIQUEFYING STREAM OF CONTAMINATED CO<sub>2</sub> CONTAINING HYDROCARBONS**

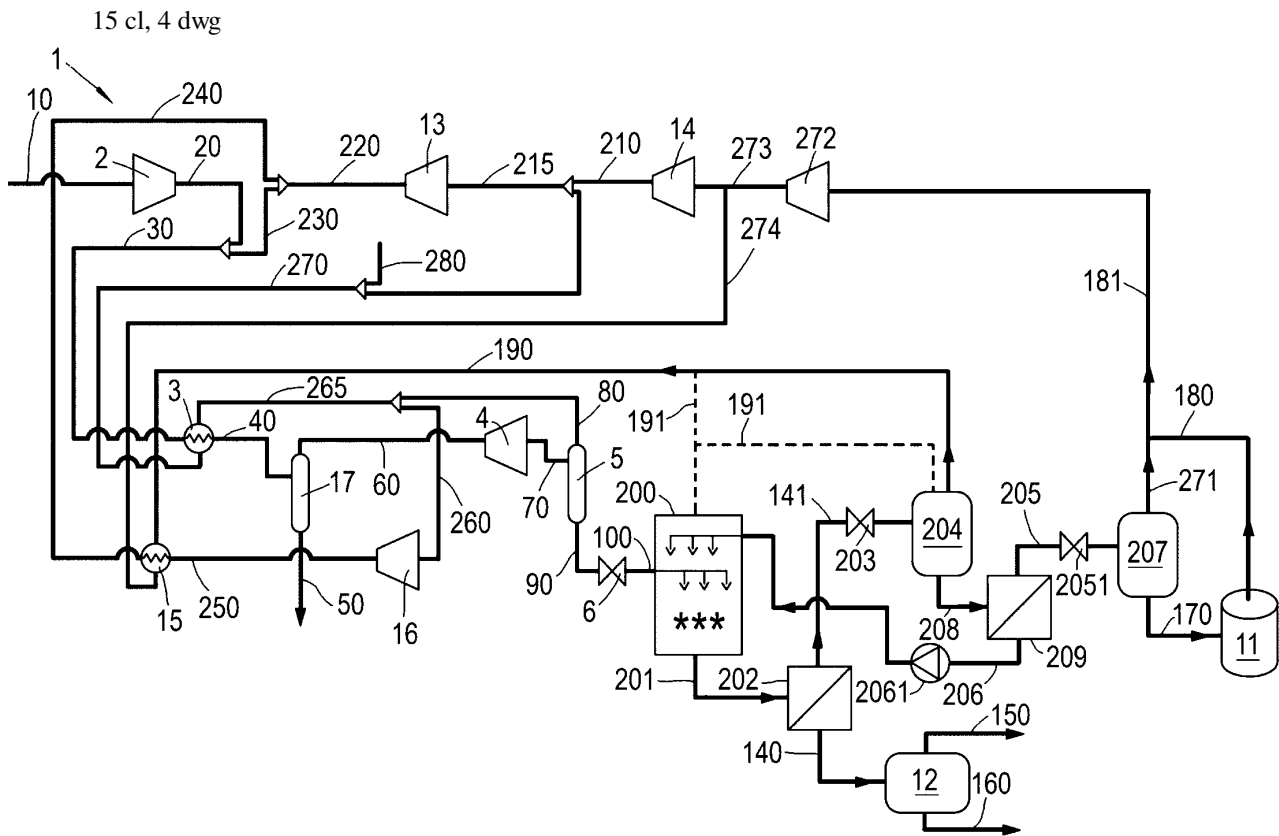
(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: disclosed is a method of liquefying a stream of contaminated gas containing hydrocarbons. Stream (20) contaminated with CO<sub>2</sub> gas containing hydrocarbons. Said stream of contaminated gas containing hydrocarbons is cooled to produce a partially liquefied stream (70). Said partially liquefied stream is separated to produce liquid stream (90). Fluid flow (90) is cooled in heat exchanger (200) with direct contact of media, thus obtaining multiphase flow (201) containing at least liquid phase and solid phase of CO<sub>2</sub>. Separating said multiphase flow in separator (202) of solid and

liquid phases to obtain stream (141) of liquid with low content of CO<sub>2</sub>. Flow (141) of liquid with low content of CO<sub>2</sub> is passed through a cascade of additional cooling, reduction of pressure and separation, which creates additional stream (206) of suspension enriched with CO<sub>2</sub>. At least a portion of said additional stream (206) of CO<sub>2</sub>-rich suspension is passed through heat exchanger (200) with direct contact of media, thereby cooling liquid stream (90) and mixing therewith.

EFFECT: technical result is simplification of liquefaction process.



Фиг. 1А

Данное изобретение относится к способу сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды, загрязнение представляет собой  $\text{CO}_2$ .

Способы сжижения потоков газов, содержащих углеводороды, хорошо известны в данной области техники. Сжижение потока газа, содержащего углеводороды, такого как природный газ, желательно по целому ряду причин. В качестве примера, природный газ проще хранить и транспортировать на большие расстояния в жидкой, чем в газообразной форме, поскольку он занимает меньший объем и не требует хранения при высоких давлениях. Как правило, перед сжижением поток загрязненного газа, содержащего углеводороды, обрабатывают, удаляя одну или более примесей (таких как  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и тому подобное), которые можно вымораживать во время процесса сжижения.

Документ WO2014/166925 описывает способ сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды, включающий по меньшей мере следующие этапы:

- (1) получают поток загрязненного газа, содержащего углеводороды;
- (2) охлаждают указанный поток загрязненного газа, содержащего углеводороды, в первом теплообменнике, таким образом получая охлажденный загрязненный поток, содержащий углеводороды;
- (3) охлаждают указанный охлажденный загрязненный поток, содержащий углеводороды, в расширителе, таким образом получая частично сжиженный поток;
- (4) разделяют указанный частично сжиженный поток в сепараторе, таким образом получая поток газов и поток жидкости;
- (5) расширяют поток жидкости, получаемый в этапе (4), таким образом получая многофазный поток, содержащий по меньшей мере паровую фазу, жидкую фазу и твердую фазу;
- (6) разделяют указанный многофазный поток в сепараторе, таким образом получая поток газов и поток суспензии (содержащей твердый  $\text{CO}_2$  и жидкие углеводороды);
- (7) разделяют указанный поток суспензии в сепараторе твердой и жидкой фаз, таким образом получая поток жидких углеводородов и поток концентрированной суспензии;
- (8) пропускают поток газов, получаемый в этапе (4), через первый теплообменник, таким образом получая поток нагретых газов; и
- (9) сжимают указанный поток нагретых газов, таким образом получая поток сжатых газов; и
- (10) объединяют поток сжатых газов, получаемый в этапе (9) с потоком загрязненного газа, содержащего углеводороды, получаемым в этапе (1).

Указанный способ, описанный в документе WO2014/166925 позволяет сжижать поток загрязненного газа, содержащего углеводороды, с относительно малым количеством оборудования, и таким образом представляет собой простой и рентабельный способ сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды, в частности, потока загрязненного газа, содержащего метан, такого природный газ. Загрязнения могут представлять собой  $\text{CO}_2$ .

Способ согласно документу WO2014/166925 использует схему процесса вымораживания для удаления  $\text{CO}_2$ . В этапе (5), описанном выше, условия процесса в потоке жидкости, получаемом в этапе (4), близки к условиям вымораживания  $\text{CO}_2$  (например, условия процесса составляют 20 бар,  $-120^\circ\text{C}$ , 1% мол.  $\text{CO}_2$ ), так что любое дополнительное понижение температуры вызовет вымораживание  $\text{CO}_2$ . Понижения температуры достигают в этапе (5) путем понижения давления в клапане Джоуля-

Томсона. Указанное понижение давления испаряет часть жидкого метана, таким образом охлаждая остальную жидкость.

Использование клапана Джоуля-Томсона имеет несколько недостатков.

Во-первых, время пребывания молекул в клапане Джоуля-Томсона очень мало ( $< 1$  мс), и поэтому имеется очень мало времени на рост кристаллов  $\text{CO}_2$ .

Во-вторых, получают только ограниченное переохлаждение ниже температуры вымораживания  $\text{CO}_2$ , как правило в диапазоне  $1 - 10^\circ\text{C}$ , что создает ограниченное побуждение для кристаллизации  $\text{CO}_2$ .

В-третьих, клапан Джоуля-Томсона не предоставляет независимого контроля давления и температуры, поскольку температура вниз по потоку зависит от давления вниз по потоку.

Кроме того, мгновенное испарение потока жидкости в клапане Джоуля-Томсона создает многофазную смесь, содержащую в основном пары, немного жидкости и небольшое количество твердых частиц, в которой обильное количество паровой фазы перемешивает жидкую фазу, таким образом мешая процессу роста кристаллов  $\text{CO}_2$ , поскольку перемешивание может вызвать разрушение твердых частиц.

Клапан Джоуля-Томсона также создает относительно большое усилие сдвига в потоке жидкости. Указанное усилие сдвига, оказываемое в узком зазоре клапана Джоуля-Томсона, стремится разрушить частицы  $\text{CO}_2$ , и таким образом мешает образованию и/или росту частиц  $\text{CO}_2$ .

Все упомянутые выше недостатки способствуют образованию относительно мелких частиц  $\text{CO}_2$ . Как правило, твердые частицы  $\text{CO}_2$  имеют размер менее 20 микрон ( $< 20 \cdot 10^{-6}$  метра).

Мелкие частицы  $\text{CO}_2$  относительно сложно отделить от жидких углеводородов, что может привести к наличию твердого остатка  $\text{CO}_2$  в очищенном СПГ (сжиженном природном газе).

Документ WO2015017357 описывает способ и систему производства сжиженного природного газа (СПГ) из природного газа. Сначала природный газ частично очищают, удаляя воду и другие примеси, а затем охлаждают, замораживая некоторые примеси, и получая поток, позволяющий удалить другие примеси. Эти примеси можно удалить из указанного потока.

Этот процесс вызывает вымораживание на единственном уровне температуры путем изобарического охлаждения в башенном охладителе; однако, любые дополнительные примеси, вымораживаемые благодаря изобарическому охлаждению в холодильнике, не отделяются от очищенного СПГ. Твердые частицы, образованные в холодильнике, могут со временем блокировать канал потока, таким образом осложняя работу процесса.

Документ WO2012068588 описывает систему и способ отделения конденсируемых паров от газов путем теплообмена с непосредственным контактом. Конденсируемые пары, такие как диоксид углерода, отделяют от легких газов в технологическом потоке. Указанные системы и способы используют теплообменник с непосредственным обменом для десублимации конденсируемых паров из технологического потока. Конденсируемые пары конденсируют путем непосредственного контакта с жидким теплоносителем в теплообменнике с непосредственным контактом сред, а неконденсированные легкие газы из технологического потока образуют поток отделенных легких газов. Указанный поток отделенных легких газов может быть использован в рекуперативном теплообменнике, охлаждающем технологический поток.

Процесс по документу WO2012068588 представляет потребность в отдельном нелетучем жидком теплоносителе (таким как метилциклопентан), и поэтому не подходит для использования в способе сжижения газа, содержащего углеводороды (то есть, получения СПГ), поскольку этот отдельный посторонний жидкий теплоноситель может  
5 загрязнять СПГ.

Документ WO2012162690 описывает способ и систему отделения конденсируемых паров, таких как диоксид углерода, от легких газов или жидкостей в смешанном технологическом потоке. Отделение выполняют в криогенном процессе с помощью  
10 одного или более внешних холодильных контуров (ВХК), сначала охлаждающих смешанный технологический поток, содержащий конденсируемые пары и легкие газы или жидкости, заставляя конденсируемые пары десублимировать и образовывать твердые частицы. Затем твердые частицы отделяют от легких газов или жидкостей, формируя поток твердых частиц и поток легких газов или жидкостей. Затем хладагенты ВХК охлаждают путем нагрева потока отделенных твердых частиц и потока легких  
15 газов или жидкостей, эффективно регенерируя энергию, использованную при охлаждении и десублимации конденсируемых паров.

Процессы по документам WO2012068588 и WO2012162690 не подходят для использования в способе сжижения потока углеводородов для получения СПГ.

Задача данного изобретения заключается в решении или по меньшей мере сведении  
20 к минимуму указанных выше проблем, определенных по отношению к документу WO2014/166925.

Дополнительная задача данного изобретения заключается в предложении более простого и рентабельного способа сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды, в частности, потока загрязненного газа, содержащего метан, такого  
25 природный газ.

Согласно варианту реализации изобретения, предложен способ сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды, включающий по меньшей мере следующие этапы:

(a) получают поток (20) загрязненного газа, содержащего углеводороды, загрязнение  
30 представляет собой CO<sub>2</sub>;

(b) охлаждают указанный поток (20) загрязненного газа, содержащего углеводороды, получая частично сжиженный поток (70);

(c) разделяют указанный частично сжиженный поток (70) в сепараторе (5), таким образом получая поток (80) газов и поток (90) жидкости;

35 (d) охлаждают поток (90) жидкости, получаемый в этапе (c), пропуская указанный поток (90) жидкости через теплообменник (200) с непосредственным контактом сред, таким образом получая многофазный поток (201), содержащий по меньшей мере жидкую фазу и твердую фазу, содержащую частицы CO<sub>2</sub>;

40 (e) разделяют указанный многофазный поток (201) в сепараторе (202) твердой и жидкой фаз, таким образом получая поток (141) жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub> и поток (140) суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>;

(f) пропускают поток (141) жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub> через каскад дополнительного охлаждения, понижения давления и разделения, создающий поток  
45 (190) газов, поток (205) очищенной жидкости и дополнительный поток (206) суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>;

(g) пропускают по меньшей мере часть дополнительного потока (206) суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>, через теплообменник (200) с непосредственным контактом сред,

обеспечивая охлаждение потока (90) жидкости, получаемого в этапе (с), и смешивание с ним.

Указанный дополнительный поток 206 суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ , предпочтительно содержит твердые частицы  $\text{CO}_2$ , на которых может вымораживаться растворенный  $\text{CO}_2$ . Это приводит к образованию более крупных частиц  $\text{CO}_2$  в теплообменнике (200) с непосредственным контактом сред.

Согласно варианту реализации изобретения, предложена система сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды, содержащая:

(a) подающий трубопровод (20), выполненный с возможностью подачи потока (20) загрязненного газа, содержащего углеводороды, загрязнение представляет собой  $\text{CO}_2$ ;

(b) каскад (3, 4) охлаждения и расширения, выполненный с возможностью приема потока (20) загрязненного газа, содержащего углеводороды, и выпуска частично сжиженного потока (70);

(c) сепаратор (5), выполненный с возможностью приема частично сжиженного потока (70) и выпуска потока (80) газов и потока (90) жидкости;

(d) теплообменник (200) с непосредственным контактом сред, выполненный с возможностью приема и охлаждения потока (90) жидкости, получаемого в этапе (с), для получения многофазного потока (201), содержащего по меньшей мере жидкую фазу и твердую фазу, содержащую частицы  $\text{CO}_2$ ;

(e) сепаратор (202) твердой и жидкой фаз, выполненный с возможностью приема многофазного потока (201) и выпуска потока (141) жидкости с низким содержанием  $\text{CO}_2$  и выпуска потока (140) суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ ;

(f) каскад дополнительного охлаждения, понижения давления и разделения, выполненный с возможностью приема потока (141) жидкости с низким содержанием  $\text{CO}_2$  и формирования потока (190) газов, потока (205) очищенной жидкости и дополнительного потока (206) суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ ;

(g) возвратный трубопровод (206), выполненный с возможностью подачи по меньшей мере части дополнительного потока (206) суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ , содержащей твердые частицы  $\text{CO}_2$ , в теплообменник (200) с непосредственным контактом сред.

Этот возвратный трубопровод выполнен с возможностью подачи твердых частиц  $\text{CO}_2$  в теплообменник 200 с непосредственным контактом сред, в котором растворенный  $\text{CO}_2$  можно вымораживать, таким образом получая более крупные частицы  $\text{CO}_2$ , а также обеспечения охлаждения потока (90) жидкости, получаемого в этапе (с), и смешивания с ним.

Указанный способ и указанная система, описанные выше, и описанные ниже со ссылкой на варианты реализации данного изобретения, предпочтительно не используют отдельный хладагент, циркулирующий в отдельном холодильном цикле. Указанный поток 20 загрязненного газа, содержащего углеводороды, предпочтительно охлаждают путем охлаждения расширением и путем охлаждения в теплообменнике потоком хладагента, образованного из самого указанного потока 20 газа, содержащего углеводороды.

Далее в данном документе изобретение дополнительно проиллюстрировано следующими графическими материалами, не имеющими ограничительного характера. В данном документе показаны:

на фиг. 1а-с схематически показаны различные схемы процесса, выполняющего способ согласно различным вариантам реализации данного изобретения, и



на фиг. 2 схематически изображен график границы замерзания для двойной смеси CO<sub>2</sub> и метана.

В рамках данного описания номера позиций относятся как к потоку, так и к трубопроводу, несущему этот поток.

5 На фиг. 1а – 1с схематически показана схема системы или процесса для выполнения способа сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды. Система в целом обозначена номером позиции 1.

10 Схема 1 процесса, показанная на фиг. 1а, содержит компрессор 2, теплообменник 3 («первый теплообменник»), расширитель 4, первый сепаратор 5, клапан 6 Джоуля - Томсона, теплообменник 200 с непосредственным контактом сред, сепаратор 202 твердой и жидкой фаз, клапан 203 (Джоуля-Томсона), сепаратор 204, дополнительный сепаратор 209 твердой и жидкой фаз, испарительный сосуд 207 концевой газа, второй теплообменник 15, расширитель 16 и в качестве варианта сепаратор 17 метанола. Указанная схема процесса может также включать дополнительное оборудование, такое как, например, дополнительные теплообменники в дополнение к первому  
15 теплообменнику 3 и второму теплообменнику 15. Предпочтительно, первый теплообменник 3 и второй теплообменник 15 представляют собой разделенные теплообменники.

20 Во время использования схемы 1 процесса подают поток 20 загрязненного газа, содержащего углеводороды (ранее сжатый в качестве потока 10 в компрессоре 2). Это относится к этапу (а), описанному выше.

Выше по потоку от компрессора 2 можно выполнять обработку газа, например, удаление воды, удаление тяжелых углеводородов (гептан и более тяжелые фракции), удаление H<sub>2</sub>S.

25 Поток 20 загрязненного газа, содержащего углеводороды, как правило представляет собой поток природного газа. Поток 20 загрязненных углеводородов как правило имеет давление в диапазоне от 40 до 120 бар и температуру в диапазоне от -30 до 30°C. Поток 20 загрязненного газа, содержащего углеводороды, содержит по меньшей мере 50% об. метана, предпочтительно по меньшей мере 80% об.

30 В следующем этапе (b) поток 20 загрязненного газа, содержащего углеводороды, охлаждают, получая частично сжиженный поток 70. Как указано выше, предпочтительно это выполняют без использования отдельных холодильных циклов, но предпочтительно выполняют путем охлаждения частью потока 10 или потока 20 загрязненного газа, содержащего углеводороды, получаемого в качестве части схемы процесса или способа.

35 Согласно варианту реализации изобретения, этап (b) включает

(b1) охлаждение указанного потока 20 загрязненного газа, содержащего углеводороды, в первом теплообменнике 3 с получением таким образом охлажденного загрязненного потока 40, содержащего углеводороды;

40 (b2) охлаждение указанного охлажденного загрязненного потока 40, 60, содержащего углеводороды, в расширителе 4 с получением таким образом частично сжиженного потока 70.

Указанный охлажденный загрязненный поток 40, содержащий углеводороды, получаемый в этапе (b1), как правило имеет температуру не более -40°C, предпочтительно не более -50°C, более предпочтительно не более -60°C.

45 Первый теплообменник 3 (как и второй теплообменник 15) представляет собой непрямой теплообменник; следовательно, между указанными потоками происходит только теплообменный контакт без непосредственного контакта.

Как показано в вариантах реализации изобретения, показанных на фиг. 1а-с,

охлажденный загрязненный поток 40, содержащий углеводороды, в качестве варианта пропускают через сепаратор 17 метанола, чтобы отделить метанол (в виде потока 50), который был введен ранее (например, в поток 20) для предотвращения образования гидратов.

5 После сепаратора 17 метанола охлажденный поток загрязненного газа, содержащего углеводороды (с низким содержанием метанола), дополнительно охлаждают в виде потока 60 в расширителе 4, таким образом получая частично сжиженный поток 70 (этап b2). Этот частично сжиженный поток 70 разделяют в сепараторе 5, таким образом получая поток 80 газов и поток 90 жидкости (этап с).

10 Сепаратор 5 может работать немного выше границы замерзания  $\text{CO}_2$ , например, при 20 бар и минус  $120^\circ\text{C}$  для потока с 1,0% мол.  $\text{CO}_2$ .

Как показано на фигурах, поток 90 жидкости можно расширять в клапане 6 Джоуля-Томсона, таким образом получая многофазный поток 100.

15 Так, согласно варианту реализации изобретения, пропускание потока 90 жидкости, получаемого в этапе (с), через теплообменник 200 с непосредственным контактом сред включает пропускание указанного потока 90 жидкости через устройство понижения давления. Указанное устройство понижения давления может представлять собой клапан 6 (Джоуля-Томсона). Клапан понижения давления частично испаряет поток 90 жидкости, и таким образом охлаждает оставшуюся жидкую фазу с получением многофазного

20 потока, содержащего жидкость, пары и возможно твердые частицы. Многофазный поток 100 может содержать фракцию  $\text{CO}_2$  в диапазоне 0,001% мол. - 10% мол.  $\text{CO}_2$ .

Поток 90 жидкости, получаемый в этапе (с), как правило имеет давление в диапазоне 25 12 - 30 бар, например, 15 - 25 бар. Устройство 6 понижения давления как правило создает падение давления 1 - 20 бар. Давление многофазного потока 100 вниз по потоку от устройства понижения давления как правило находится в диапазоне 4 - 29 бар, например, в диапазоне 10 - 24 бар.

Многофазный поток 100 может иметь температуру в диапазоне от  $-100^\circ\text{C}$  до  $-130^\circ\text{C}$ .

30 Таким образом, загрязненный поток 20, содержащий углеводороды, сначала охлаждают в теплообменнике 3 и с помощью расширителя 4 (этапы b1 и b2). Затем указанный поток разделяют (этап с) и в качестве варианта дополнительно охлаждают путем испарения в устройстве 6 понижения давления.

35 Полученный охлажденный загрязненный поток, содержащий углеводороды, в этапе (d) дополнительно охлаждают в теплообменнике 200 с непосредственным контактом сред, таким образом получая многофазный поток 201. Указанный многофазный поток 201 содержит по меньшей мере жидкую фазу и твердую фазу, содержащую частицы  $\text{CO}_2$ .

40 На фиг. 2 схематически изображено фазовое поведение двойной смеси  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Показаны две границы замерзания (пунктирные линии I и II), а кривая условий начала кипения показана непрерывной линией.

Граница замерзания I соответствует двойной смеси 0,2% мол.  $\text{CO}_2$  и 99,8% мол.  $\text{CH}_4$ . Граница замерзания II соответствует двойной смеси 1 мол.  $\text{CO}_2$  и 99% мол.  $\text{CH}_4$ . Выше кривой условий начала кипения находится жидкая фаза, но не парообразная фаза.

45 Присутствие твердого  $\text{CO}_2$  зависит от давления, температуры и концентрации  $\text{CO}_2$ . Рассмотрим точку D, расположенную на границе замерзания  $\text{CO}_2$  для 0,2% мол.  $\text{CO}_2$ . Если концентрация  $\text{CO}_2$  превышает 0,2% мол. при условиях давления и температуры

точки D, присутствует твердая фаза  $\text{CO}_2$  и присутствует жидкая фаза, состоящая из  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ .

Границы замерзания  $\text{CO}_2$  прерывисты на кривой условий начала кипения (как можно увидеть по точкам В и D, обе из которых находятся на границе замерзания для 0,2% мол.  $\text{CO}_2$ , и по точкам А и С, обе из которых находятся на границе замерзания для 1,0% мол.  $\text{CO}_2$ ).

Температура вымораживания  $\text{CO}_2$  для точки D (которая расположена выше кривой условий начала кипения, следовательно в зоне жидкого/твердого фазового состояния) на 25 градусов Цельсия ниже температуры вымораживания в точке В (которая расположена ниже кривой условий начала кипения, следовательно в зоне парообразного/жидкого/твердого фазового состояния).

Это фазовое поведение используется в вариантах реализации данного изобретения. В качестве примера в ходе процесса разделения вымораживанием при условиях давления и температуры точки В удаляется такое же количество  $\text{CO}_2$ , как в ходе процесса при условиях давления и температуры точки D.

Согласно варианту реализации изобретения, комбинацией давления и температуры в теплообменнике 200 с непосредственным контактом сред управляют так, чтобы она была ниже кривой условий начала кипения для соответствующей молекулярной концентрации  $\text{CO}_2$  на графике зависимости давления и температуры (например, точка А или В на фиг. 2), в соответствии с зоной парообразного, жидкого и твердого фазового состояния.

Как можно увидеть на фиг. 2, температура вымораживания  $\text{CO}_2$  для точки D (которая расположена выше кривой условий начала кипения, следовательно в зоне жидкого/твердого фазового состояния) ниже (приблизительно на 25°C) температуры вымораживания в точке В (которая расположена ниже кривой условий начала кипения, следовательно в зоне парообразного/жидкого/твердого фазового состояния).

Ниже кривой условий начала кипения происходит термодинамический процесс вымораживания, в ходе которого по меньшей мере часть жидкого  $\text{CO}_2$  замерзает с образованием твердого  $\text{CO}_2$ , и по меньшей мере часть газообразного  $\text{CO}_2$  замерзает с образованием твердых частиц  $\text{CO}_2$ . Температурными условиями в теплообменнике 200 с непосредственным контактом сред (при любом заданном рабочем давлении) можно управлять, управляя скоростью и/или температурой обратного потока 206. Это позволяет максимизировать количество  $\text{CO}_2$ , находящегося в твердой фазе, таким образом оптимизируя условия разделения в сепараторе 202 твердой и жидкой фаз. Обратный поток 206 можно приводить в движение насосом 2061.

Средство охлаждения для теплообменника 200 с непосредственным контактом сред получают с помощью обратного потока 206 от дополнительного охлаждения и разделения многофазного потока 201, как более подробно объяснено ниже.

Управлять скоростью потока можно, например, управляя рабочими параметрами насоса 2061.

Многофазный поток 201 разделяют, получая поток 141 жидкости с низким содержанием  $\text{CO}_2$  и поток 140 суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$  (этап (e)), и указанный поток 141 жидкости с низким содержанием  $\text{CO}_2$  дополнительно подвергают этапу понижения давления, охлаждения и разделения (этап (f)), таким образом получая поток 190 газов, поток 205 очищенной жидкости и дополнительный поток 206 суспензии,

обогащенной CO<sub>2</sub>.

Термин «каскад понижения давления, охлаждения и разделения», использованный в данном тексте, не обязательно подразумевает охлаждение хладагентом, но может включать охлаждение расширением и/или охлаждение самим собой (то есть, как более  
5 подробно объяснено со ссылкой на фиг. 1b-c). В альтернативном варианте указанный каскад понижения давления, охлаждения и разделения можно назвать каскадом понижения давления и разделения.

Дополнительный поток 206 суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>, используют для получения  
10 твердых частиц CO<sub>2</sub>, на которых растворенный CO<sub>2</sub> может вымерзнуть, образуя таким образом более крупные частицы CO<sub>2</sub>, кроме того, он действует в качестве средства охлаждения в теплообменнике 200 с непосредственным контактом сред (этап (g)).

Поток 140 концентрированной суспензии может быть дополнительно обработан; если это желательно, как правило он представляет собой поток с высоким содержанием  
15 CO<sub>2</sub>. Предпочтительно поток 140 концентрированной суспензии нагревают в нагревателе 12 суспензии и разделяют на жидкую фазу 160 и газообразную фазу 150; газообразную фазу 150 можно объединять с потоком горючего газа (схематически показан на фиг. 1a).

Использование теплообменника 200 с непосредственным контактом сред приводит  
20 к образованию более крупных частиц CO<sub>2</sub> в многофазном потоке 201, получаемом в теплообменнике 201 с непосредственным контактом сред (этап d) и пропускаемом через сепаратор 202 твердой и жидкой фаз (этап e).

Кроме того, другие примеси, такие как вода и тяжелые углеводороды, также  
25 вымерзают в теплообменнике 200 с непосредственным контактом сред. Следы этих других примесей могут все же присутствовать в верхнем потоке 60, получаемом из сепаратора 17 метанола и также эффективно удаляются.

Следовательно, данный способ имеет преимущество, заключающееся в том, что  
30 можно обрабатывать потоки загрязненного газа, содержащего углеводороды, имеющие содержание CO<sub>2</sub> более 2% мол., более 5% мол. или даже до 10% мол. Дополнительное преимущество заключается в том, что образуются более крупные частицы CO<sub>2</sub>, которые легче отделять.

Потоки, пропускаемые через теплообменник 200 с непосредственным контактом  
35 сред, испытывают усилия сдвига, значительно меньшие, чем усилия сдвига, испытываемые потоком, пропускаемым через клапан Джоуля-Томсона или аналогичное расширительное устройство.

Согласно варианту реализации изобретения, твердая фаза многофазного потока 201,  
40 получаемого в этапе (d), содержит частицы CO<sub>2</sub> со средним размером более 50 микрон, предпочтительно более 100 микрон, более предпочтительно более 200 микрон или более 350 микрон.

Как правило средний размер находится в диапазоне 100 – 500 микрон. Это способствует более легкому и лучшему разделению в этапе f.

Согласно варианту реализации изобретения, время пребывания молекул, образующих  
45 поток 90 жидкости, получаемый в этапе (c), и молекул, образующих по меньшей мере часть дополнительного потока 206 суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>, получаемого в этапе (f), в теплообменнике 200 с непосредственным контактом сред составляет более 10 секунд.

Предпочтительно указанное время пребывания составляет более 30 секунд. Более

предпочтительно указанное время пребывания находится в диапазоне 10 – 60 секунд.

Указанное время пребывания определено как среднее время, которое занимает у молекулы потока 90 жидкости, получаемого в этапе (с), проход через теплообменник 200 с непосредственным контактом сред.

5 Относительно долгое время пребывания молекул делает возможными дополнительную кристаллизацию и рост частиц  $\text{CO}_2$ , содержащихся в многофазном потоке 201.

10 Согласно варианту реализации изобретения, температура многофазного потока 201, получаемого в этапе (d) более чем на  $10^\circ\text{C}$  ниже точки замерзания  $\text{CO}_2$ . Указанная точка замерзания определена как температура, при которой образуется первый твердый  $\text{CO}_2$  при данной молекулярной концентрации  $\text{CO}_2$  и данном давлении. Так, указанная точка замерзания  $\text{CO}_2$  представляет собой точку замерзания  $\text{CO}_2$ , связанную с рабочими  
15 условиями теплообменника 200 с непосредственным контактом сред, то есть, связанную с молекулярной концентрацией  $\text{CO}_2$ .

Многофазный поток 201 может содержать концентрацию  $\text{CO}_2$  в диапазоне 0,01% мол. - 20% мол.  $\text{CO}_2$ .

20 На фиг. 2 схематически изображен график границы замерзания для двойной смеси  $\text{CO}_2$  и метана. Специалист сможет определить указанную температуру замерзания для данного многофазного потока.

Температура многофазного потока 201 может находиться в диапазоне минус  $110^\circ\text{C}$  – минус  $160^\circ\text{C}$ , например, минус  $135^\circ\text{C}$  при давлении в диапазоне 4 – 16 бар, предпочтительно в диапазоне 8 – 12 бар, например, 10 бар. Это имеет тот эффект, что  
25 многофазный поток 201 не содержит паровой фазы или только относительно небольшую часть паровой фазы, способной нарушать процесс кристаллизации и роста частиц  $\text{CO}_2$ , содержащегося в многофазном потоке 201.

30 Согласно варианту реализации изобретения, указанная по меньшей мере часть дополнительного потока 206 суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ , пропускаемая через теплообменник 200 с непосредственным контактом сред в этапе (g), содержит частицы  $\text{CO}_2$ , действующие в качестве затравочных частиц в теплообменнике 200 с  
непосредственным контактом сред.

35 Указанные частицы  $\text{CO}_2$ , содержащиеся в по меньшей мере части указанного дополнительного потока суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ , могут иметь средний размер в диапазоне 100 - 300 микрон.

40 Указанные затравочные частицы запускают и ускоряют рост частиц  $\text{CO}_2$ , содержащегося в многофазном потоке 201, приводя к образованию более крупных частиц  $\text{CO}_2$  в многофазном потоке 201, которые можно относительно легко отделить.

Согласно варианту реализации изобретения, давление и температура в теплообменнике 200 с непосредственным контактом сред выбраны так, что паровая фаза, жидкая фаза и твердая фаза присутствуют одновременно.

45 Это имеет преимущества, поскольку оптимальные условия поступающего потока с данной молекулярной концентрацией  $\text{CO}_2$  имеются при давлении и температуре, при которых присутствуют пары / жидкость / твердые частицы (а не в режиме жидкой / твердой фазы). Это позволяет выполнять вымораживание при более высокой температуре (приблизительно на  $25^\circ\text{C}$ ) и/или достигать более глубокого отделения  $\text{CO}_2$ .

Это оптимизирует процесс разделения.

Сепаратор 202 твердой и жидкой фаз может представлять собой любой подходящий сепаратор твердой и жидкой фаз.

5 Пары можно выпускать из теплообменника 200 с непосредственным контактом сред через вентиляционную линию 191, соединяющую теплообменник 200 с непосредственным контактом сред с потоком 190 газов, получаемым в этапе (f), или сепаратором 204, используемым в этапе (f). Оба варианта показаны пунктирной линией на фиг. 1а.

10 Согласно варианту реализации изобретения, сепаратор 202 твердой и жидкой фаз для этапа (e) содержит один или большее количество циклонных сепараторов, один или большее количество фильтров или одну или большее количество гравитационных отстойных камер.

15 Могут быть использованы один или большее количество последовательных и/или параллельных циклонных сепараторов. В циклонном сепараторе поток приводят в вихревое движение, так что более тяжелые компоненты выталкиваются наружу и по меньшей мере частично отделяются от более легких компонентов, образуя поток суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>, (140; тяжелые компоненты) и поток жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub> (141; легкие компоненты). Может быть использован циклонный сепаратор любого подходящего типа, а вихревое движение можно создавать с помощью тангенциального ввода или встроенного циклона, генерирующего вихрь с помощью 20 внутрикорпусных устройств.

25 Могут быть использованы одна или большее количество последовательных и/или параллельных гравитационных отстойных камер, в которые можно вводить многофазный поток 201 с обеспечением достаточного времени пребывания, позволяющего осаждать более тяжелые компоненты и получать поток 140 суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub> в виде нижнего потока.

Согласно варианту реализации изобретения, этап (f) включает

(f1) пропускание потока 141 жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub> через устройство понижения давления, такое как клапан 203 Джоуля-Томсона, в сепаратор 204,

30 (f2) получение потока 190 газов в виде верхнего потока из сепаратора 204 и получение дополнительного многофазного потока 208 в виде нижнего потока из сепаратора 204, указанный дополнительный многофазный поток 208 содержит по меньшей мере жидкую фазу и твердую фазу, содержащую частицы CO<sub>2</sub>;

35 (f3) разделение указанного дополнительного многофазного потока 208 в дополнительном сепараторе 209 твердой и жидкой фаз с получением таким образом потока 205 очищенной жидкости и дополнительного потока 206 суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>.

Сепаратор 204 может представлять собой циклонный сепаратор или гравитационный сепаратор.

40 Дополнительный сепаратор 209 твердой и жидкой фаз может содержать один или большее количество циклонных сепараторов, расположенных параллельно или одну или большее количество гравитационных отстойных камер.

Поток 190 газов может иметь давление от 1 до 10 бар.

45 Согласно варианту реализации изобретения, способ включает

(h) прохождение потоком 205 очищенной жидкости каскада концевого испарения с получением потока 271 концевого газа испарения и потока 170 жидкого природного газа.

Указанный каскад концевого испарения содержит клапан 2051 и испарительный

сосуд 207 концевго газа и производит поток 271 концевго газа испарения и поток 170 жидкого природного газа в виде нижнего потока.

Поток 170 жидкого природного газа пригоден для хранения в резервуаре 11 СПГ, предпочтительно при атмосферном или близком к нему давлении (например, в диапазоне 5 1 – 1,2 бар).

Как показано на фигурах, поток 180 отпарного газа получают из резервуара 11 СПГ.

Согласно варианту реализации изобретения, часть потока 170 жидкого природного газа отводят назад в каскад охлаждения, понижения давления и разделения для этапа (f), получая средство охлаждения потока 141 жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub>. В 10 частности, средство охлаждения получают для дополнительного многофазного потока 208 (получаемого в этапе f2). Преимущественно может быть использовано средство охлаждения из потока 170 жидкого природного газа. Это можно реализовать различными способами, примеры которых представлены на фиг. 1b – 1c.

Согласно вариантам реализации изобретения, показанным на фиг. 1b и 1c, 15 дополнительный возвратный трубопровод 171, выполненный с возможностью переноса дополнительного возвратного потока, получаемого в виде потока, отделенного от потока 170 жидкого природного газа, предусмотрен между испарительным сосудом 207 концевго газа и резервуаром 11 СПГ. Однако в альтернативном варианте возвратный поток 171 можно получать непосредственно из резервуара 11 СПГ.

Преимущество указанного варианта реализации изобретения на фиг. 1b заключается 20 в том, что указанный дополнительный возвратный поток 171 (имеющий температуру около -161°C) понижает температуру в дополнительном сепараторе 209 твердой и жидкой фаз, а значит создает более суровые условия замораживания CO<sub>2</sub>, что улучшает образование твердого CO<sub>2</sub> и улучшает отделение CO<sub>2</sub> в дополнительном сепараторе 25 209 твердой и жидкой фаз.

Согласно варианту реализации изобретения, часть потока 170 жидкого природного газа смешивают с дополнительным многофазным потоком 208, получаемым в этапе (f2), выше по потоку от дополнительного сепаратора 209 твердой и жидкой фаз из этапа 30 (f3).

Фиг. 1b схематически изображает вариант реализации изобретения в котором смешивание выполняют путем добавления возвратного потока 171 к дополнительному многофазному потоку 208, например, с помощью объединителя.

Согласно варианту реализации изобретения, смешивание потока 171 жидкого 35 природного газа и дополнительного многофазного потока 208 выполняют в дополнительном теплообменнике 211 с непосредственным контактом сред.

Это представляет эффективный способ получения частично сжиженного потока из потока загрязненного газа, содержащего углеводороды.

Этот вариант реализации изобретения показан на фиг. 1c и имеет преимущество, 40 заключающееся в том, что дополнительный возвратный поток 171 (имеющий температуру около -161°C) понижает температуру в дополнительном теплообменнике 211 с непосредственным контактом сред, создавая более суровые условия замораживания CO<sub>2</sub>, а время пребывания в дополнительном теплообменнике 211 с непосредственным контактом сред позволяет дополнительный рост твердых частиц CO<sub>2</sub>, что дополнительно 45 улучшает отделение CO<sub>2</sub> в дополнительном сепараторе 209 твердой и жидкой фаз. Для транспортировки возвратного потока 171 может быть предусмотрен насос 1711.

Поток 80 газов, получаемый в сепараторе 5, разделяющем частично сжиженный поток 70 с получением потока 80 газов и потока 90 жидкости в этапе с, пропускают

через первый теплообменник 3, таким образом получая поток 270 нагретых газов; если это желательно, некоторые инертные вещества (такие как N<sub>2</sub>) могут быть удалены из указанного потока 270 нагретых газов в виде (незначительного) потока 280. Поскольку поток 80 используют для охлаждения потока 30, это представляет собой этап

5 «автоохлаждения».

Указанный поток 270 нагретых газов сжимают в компрессоре 13, таким образом получая поток 220 сжатых газов. Часть 230 указанного потока 220 сжатых газов объединяют с потоком 20 загрязненного газа, содержащего углеводороды.

10 Как можно увидеть на показанных вариантах реализации изобретения, часть 240 потока 220 сжатых газов пропускают через второй теплообменник 15 (и охлаждают в нем), таким образом получая поток 250 охлажденных сжатых газов. Указанный поток 250 охлажденных сжатых газов расширяют в расширителе 16, таким образом получая поток 260 расширенных газов. Затем указанный поток 260 расширенных газов объединяют с потоком 80 газов, образуя поток 265.

15 Кроме того, поток 190 газов, получаемый в этапе (f) в каскаде дополнительного охлаждения, понижения давления и разделения, пропускают через второй теплообменник 15, таким образом получая второй поток 274 нагретых газов. Указанный второй поток 274 нагретых газов сжимают в компрессоре 14, таким образом получая второй поток 210 сжатых газов; этот второй поток 210 сжатых газов объединяют с потоком 270

20 нагретых газов (образуя поток 215).

Так, согласно варианту реализации изобретения, способ включает следующие этапы (i) пропускают поток 80 газов, получаемый в этапе (c), через первый теплообменник 3, таким образом получая поток 270 нагретых газов; и

25 (j) сжимают указанный поток 270 нагретых газов, таким образом получая поток 220 сжатых газов; и

(k) объединяют указанный поток 220 сжатых газов, получаемый в этапе (j) с потоком 20 загрязненного газа, содержащего углеводороды, получаемым в этапе (a).

30 Согласно варианту реализации изобретения, способ дополнительно включает: охлаждение части 240 потока 220 сжатых газов, получаемого в этапе (j), во втором теплообменнике 15 с получением таким образом потока 250 охлажденных сжатых газов; расширение указанного потока 250 охлажденных сжатых газов с получением таким образом потока 260 расширенных газов; и объединение указанного потока 260 расширенных газов с потоком 80 газов, получаемым в этапе (c).

35 Так, согласно варианту реализации изобретения способ включает: пропускание потока 190 газов, получаемого в этапе (f), через второй теплообменник 15 с получением таким образом второго потока 274 нагретых газов; сжатие указанного второго потока 274 нагретых газов с получением таким образом второго потока 210 сжатых газов; и объединение указанного второго потока 210 сжатых газов с потоком 270 нагретых газов, получаемым в этапе (i).

40 Согласно дополнительному варианту реализации изобретения, способ включает следующие этапы

- сжимают поток 181 концевго газа, содержащий поток 271 концевго газа испарения и в качестве варианта поток 180 отпарного газа, компрессором 272, получая поток 273 сжатого концевго газа испарения, и

45 - объединяют указанный поток 273 сжатого концевго газа испарения со вторым потоком 274 нагретых газов, сжимаемым в компрессоре 14, таким образом получая второй поток 210 сжатых газов.

Поток 273 сжатого концевго газа испарения может иметь давление, позволяющее



объединить его со вторым потоком 274 нагретых газов, например, приблизительно 4 бар. Второй поток 210 сжатых газов может иметь давление 20 бар.

Как показано на фиг. 1a-1c, поток 170 жидких углеводородов, получаемый в этапе (g), хранят в резервуаре 11 СПГ, а поток 180 отпарного газа, получаемый из указанного резервуара 11 СПГ, объединяют с потоком 271 концевое газа испарения, получаемым в этапе (h).

Специалист в данной области легко поймет, что можно внести множество модификаций без отхода от объема данного изобретения. Например, следует понимать, что использование слова этап или этапы не подразумевает конкретного порядка. Этапы можно выполнять в любом подходящем порядке, в том числе одновременно.

#### (57) Формула изобретения

1. Способ сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды, включающий по меньшей мере следующие этапы:

(a) получают поток (20) загрязненного газа, содержащего углеводороды, загрязнение представляет собой  $\text{CO}_2$ ;

(b) охлаждают указанный поток (20) загрязненного газа, содержащего углеводороды, получая частично сжиженный поток (70);

(c) разделяют указанный частично сжиженный поток (70) в сепараторе (5), таким образом получая поток (80) газов и поток (90) жидкости;

(d) охлаждают поток (90) жидкости, получаемый в этапе (c), пропуская указанный поток (90) жидкости через теплообменник (200) с непосредственным контактом сред, таким образом получая многофазный поток (201), содержащий по меньшей мере жидкую фазу и твердую фазу, содержащую частицы  $\text{CO}_2$ ;

(e) разделяют указанный многофазный поток (201) в сепараторе (202) твердой и жидкой фаз, таким образом получая поток (141) жидкости с низким содержанием  $\text{CO}_2$  и поток (140) суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ ;

(f) пропускают поток (141) жидкости с низким содержанием  $\text{CO}_2$  через каскад дополнительного охлаждения, понижения давления и разделения, создающий поток (190) газов, поток (205) очищенной жидкости и дополнительный поток (206) суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ ;

(g) пропускают по меньшей мере часть дополнительного потока (206) суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ , через теплообменник (200) с непосредственным контактом сред, обеспечивая охлаждение потока (90) жидкости, получаемого в этапе (c), и смешивание с ним.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что твердая фаза многофазного потока 201, получаемого в этапе (d), содержит частицы  $\text{CO}_2$  со средним размером более 50 микрон, предпочтительно более 100 микрон, более предпочтительно более 200 микрон или более 350 микрон.

3. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что время пребывания молекул, образующих поток (90) жидкости, получаемый в этапе (c), и молекул, образующих по меньшей мере часть дополнительного потока (206) суспензии, обогащенной  $\text{CO}_2$ , получаемого в этапе (f), в теплообменнике (200) с непосредственным контактом сред составляет более 10 секунд.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что пропускание потока (90) жидкости, получаемого в этапе (c), через теплообменник (200)

с непосредственным контактом сред включает пропускание указанного потока (90) жидкости через устройство (6) понижения давления.

5 5. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что температура многофазного потока (201), получаемого в этапе (d), более чем на 10°C ниже точки замерзания CO<sub>2</sub>.

10 6. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что указанная по меньшей мере часть дополнительного потока (206) суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>, пропускаемая через теплообменник (200) с непосредственным контактом сред в этапе (g), содержит частицы CO<sub>2</sub>, действующие в качестве затравочных частиц в теплообменнике (200) с непосредственным контактом сред.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что давление и температура в теплообменнике (200) с непосредственным контактом сред выбраны так, что паровая фаза, жидкая фаза и твердая фаза присутствуют одновременно.

15 8. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что сепаратор (202) твердой и жидкой фаз для этапа (e) содержит один или большее количество циклонных сепараторов, один или большее количество фильтров или одну или большее количество гравитационных отстойных камер.

20 9. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что этап (f) включает

(f1) пропускание потока (141) жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub> через устройство понижения давления, такое как клапан (203) Джоуля-Томсона, в сепаратор (204),

(f2) получение потока (190) газов в виде верхнего потока из сепаратора (204) и получение дополнительного многофазного потока (208) в виде нижнего потока из сепаратора (204), указанный дополнительный многофазный поток (208) содержит по 25 меньшей мере жидкую фазу и твердую фазу, содержащую частицы CO<sub>2</sub>;

(f3) разделение указанного дополнительного многофазного потока (208) в дополнительном сепараторе (209) твердой и жидкой фаз с получением таким образом потока (205) очищенной жидкости и дополнительного потока (206) суспензии, 30 обогащенной CO<sub>2</sub>.

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий

(h) прохождение потоком (205) очищенной жидкости каскада концевого испарения с получением потока (271) концевого газа испарения и потока (170) жидкого природного газа. 35

11. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что часть потока (170) жидкого природного газа отводят назад в каскад охлаждения, понижения давления и разделения для этапа (f), получая средство охлаждения потока (141) жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub>.

40 12. Способ по п. 11, отличающийся тем, что часть потока (170) жидкого природного газа смешивают с дополнительным многофазным потоком (208), получаемым в этапе (f2), выше по потоку от дополнительного сепаратора (209) твердой и жидкой фаз для этапа (f3).

45 13. Способ по п. 12, отличающийся тем, что смешивание потока (171) жидкого природного газа и дополнительного многофазного потока (208) выполняют в дополнительном теплообменнике (211) с непосредственным контактом сред.

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что этап (b) включает

(b1) охлаждение потока (20) загрязненного газа, содержащего углеводороды, в

первом теплообменнике (3) с получением таким образом охлажденного загрязненного потока (40), содержащего углеводороды;

(b2) охлаждение указанного охлажденного загрязненного потока (40, 60), содержащего углеводороды, в расширителе (4) с получением таким образом частично сжиженного потока (70).

15. Система сжижения потока загрязненного газа, содержащего углеводороды, содержащая

(a) подающий трубопровод (20), выполненный с возможностью подачи потока (20) загрязненного газа, содержащего углеводороды, загрязнение представляет собой CO<sub>2</sub>;

(b) каскад (3, 4) охлаждения и расширения, выполненный с возможностью приема потока (20) загрязненного газа, содержащего углеводороды, и выпуска частично сжиженного потока (70);

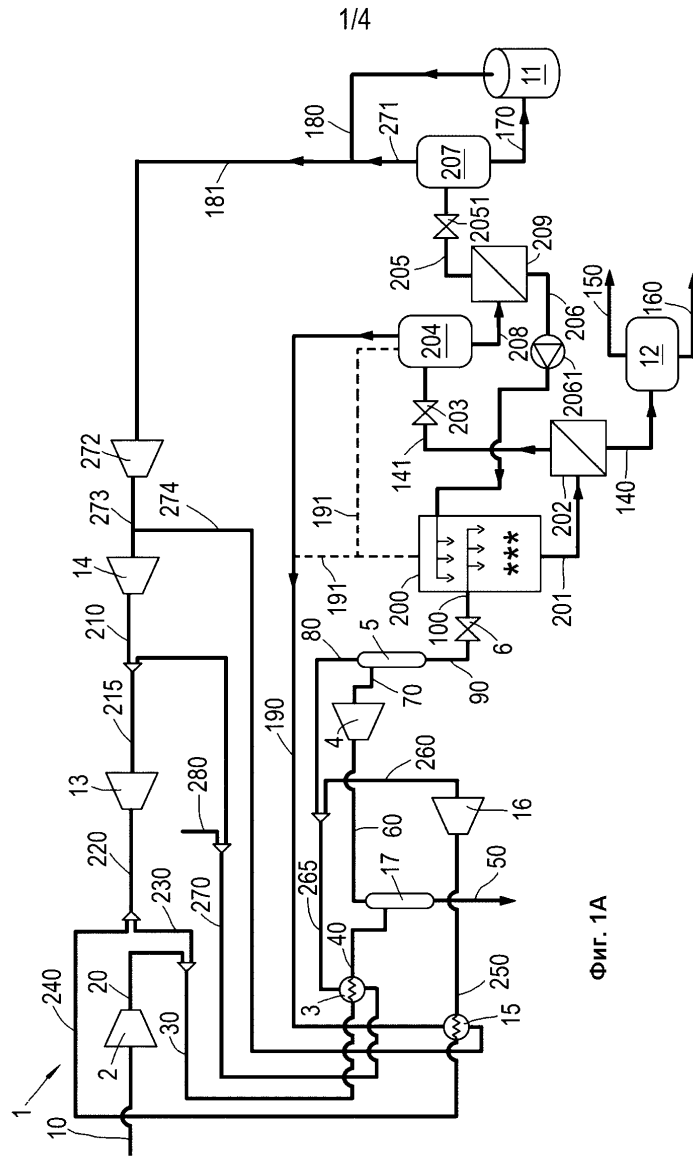
(c) сепаратор (5), выполненный с возможностью приема частично сжиженного потока (70) и выпуска потока (80) газов и потока (90) жидкости;

(d) теплообменник (200) с непосредственным контактом сред, выполненный с возможностью приема и охлаждения потока (90) жидкости, получаемого в этапе (c), для получения многофазного потока (201), содержащего по меньшей мере жидкую фазу и твердую фазу, содержащую частицы CO<sub>2</sub>;

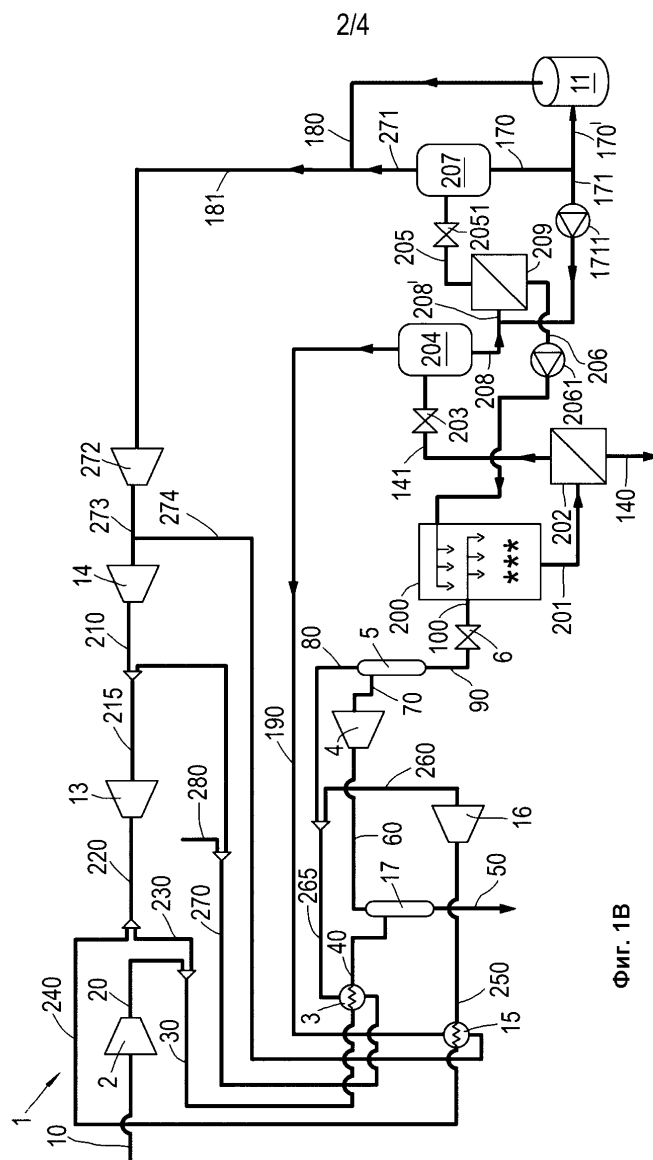
(e) сепаратор (202) твердой и жидкой фаз, выполненный с возможностью приема многофазного потока (201) и выпуска потока (141) жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub> и выпуска потока (140) суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>;

(f) каскад дополнительного охлаждения, понижения давления и разделения, выполненный с возможностью приема потока (141) жидкости с низким содержанием CO<sub>2</sub> и формирования потока (190) газов, потока (205) очищенной жидкости и дополнительного потока (206) суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>;

(g) возвратный трубопровод (206), выполненный с возможностью подачи по меньшей мере части дополнительного потока (206) суспензии, обогащенной CO<sub>2</sub>, содержащей твердые частицы CO<sub>2</sub>, в теплообменник (200) с непосредственным контактом сред.

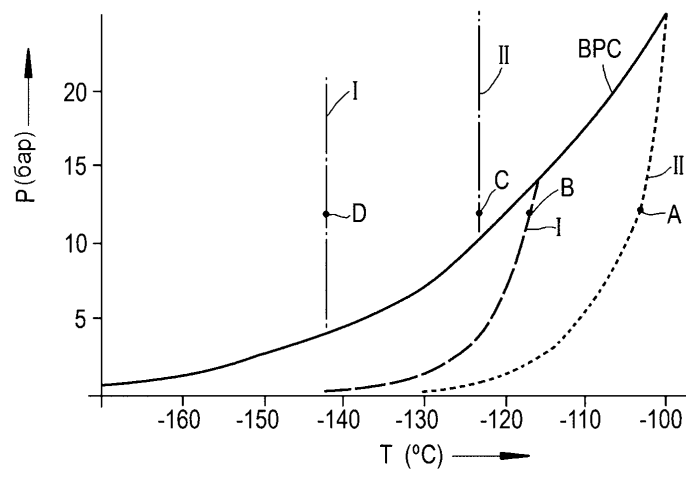


Фиг. 1А



Фиг. 1В





Фиг. 2