



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005132159/06, 16.03.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.03.2004(30) Конвенционный приоритет:
18.03.2003 US 10/391,390

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2006

(45) Опубликовано: 10.10.2007 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 6250105 B1, 26.06.2001. RU 2175099
C2, 27.03.1999. RU 2121637 C1, 10.11.1998. US
4094655 A, 13.06.1978. GB 1572900 A, 06.08.1980.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
18.10.2005(86) Заявка РСТ:
IB 2004/000946 (16.03.2004)(87) Публикация РСТ:
WO 2004/083753 (30.09.2004)

Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Г.Б. Егоровой, рег.№ 513

(72) Автор(ы):
РОБЕРТС Марк Джулиан (US)(73) Патентообладатель(и):
ЭР ПРОДАКТС ЭНД КЕМИКАЛЗ, ИНК. (US)

RU 2 307 990 C2

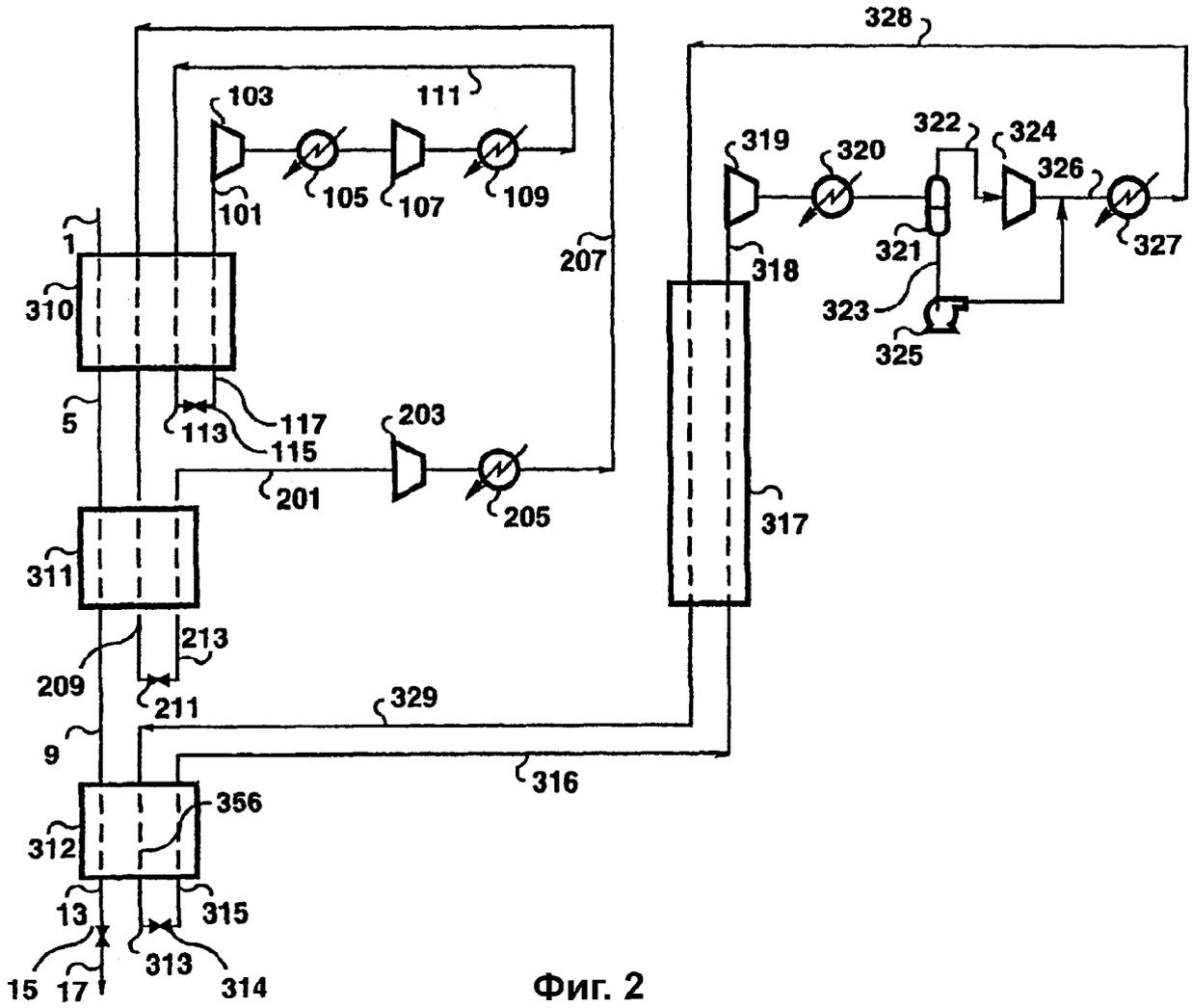
RU 2 307 990 C2

(54) ОБЪЕДИНЕННЫЙ МНОГОКОНТУРНЫЙ СПОСОБ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ СЖИЖЕНИЯ ГАЗА

(57) Реферат:

Способ сжижения газа включает охлаждение подаваемого газового потока последовательно, по меньшей мере, в двух зонах теплообмена для обеспечения сжиженного продукта, в котором охлаждение потока подаваемого газа обеспечивают посредством испаряющихся хладагентов. Хладагент в диапазоне самых холодных температур только частично испаряют в самой холодной зоне теплообмена, чтобы получить частично испаренный хладагент. Осуществляют рециркуляцию частично испаренного хладагента в процессе рециркуляционного охлаждения, который включает стадии дополнительного испарения частично испаренного хладагента в зоне дополнительного теплообмена при температурах выше самой высокой температуры в самой холодной зоне теплообмена, сжатия

дополнительно испаренного хладагента и охлаждения потока сжатого хладагента, чтобы получить самый холодный хладагент. Весь поток сжатого хладагента охлаждают посредством стадий охлаждения всего потока сжатого хладагента в зоне дополнительного теплообмена посредством косвенного теплообмена с дополнительно испаряющимся частично испаренным хладагентом или охлаждения всего потока сжатого хладагента в зоне теплообмена, предшествующей самой холодной зоне теплообмена, посредством косвенного теплообмена с соответствующим испаряющимся хладагентом, дополнительного охлаждения сжатого хладагента в зоне дополнительного теплообмена посредством косвенного теплообмена с частично испаренным хладагентом. Использование изобретения позволит повысить



Фиг. 2

RU 2307990 C2

RU 2307990 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2005132159/06, 16.03.2004**

(24) Effective date for property rights: **16.03.2004**

(30) Priority:
18.03.2003 US 10/391,390

(43) Application published: **10.02.2006**

(45) Date of publication: **10.10.2007 Bull. 28**

(85) Commencement of national phase: **18.10.2005**

(86) PCT application:
IB 2004/000946 (16.03.2004)

(87) PCT publication:
WO 2004/083753 (30.09.2004)

Mail address:
**129010, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. G.B. Egorovoj, reg.№ 513**

(72) Inventor(s):
ROBERTS Mark Dzhulian (US)

(73) Proprietor(s):
EhR PRODAKTS EhND KEMIKALZ, INK. (US)

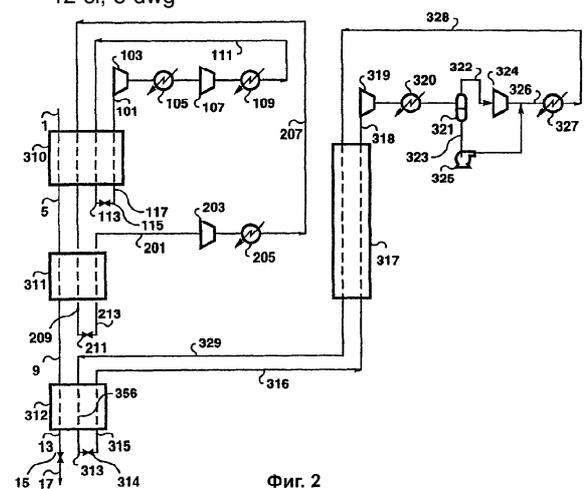
(54) **METHOD OF COOLING FOR LIQUEFYING GAS**

(57) Abstract:

FIELD: liquefying gases.

SUBSTANCE: method comprises cooling gas in series at least in two zones of heat exchange for liquefying in which gas flow is cooled by means of evaporating coolants. The coolant is in part evaporated in the coolest zone of the heat exchange to produce a partially evaporated coolant. The partially evaporated coolant is circulated to provided additional evaporation of the partially evaporated coolant in the zone of additional heat exchange at temperatures that exceed the highest temperature in the coldest zone of heat exchange, compression of the additionally evaporated coolant, and cooling the flow of compressed coolant to produce the coldest coolant. The flow of the compressed coolant is cooled by means additional indirect heat exchange with the additionally evaporating of the

partially evaporated coolant.
EFFECT: enhanced efficiency.
12 cl, 5 dwg



Фиг. 2

RU 2 307 990 C2

RU 2 307 990 C2

Многоконтурные холодильные установки широко используются для сжижения газов при низких температурах. При сжижении природного газа, например, две или три холодильные установки с замкнутым контуром могут быть объединены, чтобы обеспечить искусственное охлаждение последовательно в диапазонах более низких температур, чтобы охладить и сжижать подаваемый газ. Обычно, по меньшей мере в одной из этих холодильных установок с замкнутым контуром используется многокомпонентный или смешанный хладагент, который обеспечивает охлаждение в диапазоне выбранных температур, когда жидкий смешанный хладагент испаряется и охлаждает подаваемый газ посредством косвенного теплообмена. Установки с использованием двух установок со смешанным хладагентом являются хорошо известными; в некоторых применениях третья холодильная установка с использованием хладагента с чистым компонентом, таким как пропан, обеспечивает первоначальное охлаждение подаваемого газа. Эта третья холодильная установка также может быть использована, чтобы обеспечить часть охлаждения, чтобы сконденсировать один или оба смешанных хладагента после сжатия. Охлаждение в диапазоне самых низких температур может быть обеспечено посредством контура с газовым детандером, который объединен с контуром со смешанным хладагентом, работающим в диапазоне более высоких температур.

В обычном многоконтурном способе со смешанным хладагентом для сжижения природного газа низкотемпературный или самый холодный холодильный контур обеспечивает охлаждение посредством испарения в диапазоне температур от примерно -30°C до примерно -165°C , чтобы обеспечить окончательное сжижение и выборочное переохлаждение охлажденного подаваемого газа. Хладагент полностью испаряется в диапазоне самых низких температур и может быть возвращен прямо в компрессор хладагента, например, как описано в патентах США 6119479 и 6253574 В1. Альтернативно, полностью испаренный хладагент может нагреваться перед сжатием, чтобы обеспечить предварительное охлаждение подаваемого газа, как описано в патентах США 4274849 и 4755200, или охлаждение потоков хладагента, как описано в патенте Австралии AU-A-43943/85. Общей характерной особенностью этих способов сжижения является то, что хладагент в низкотемпературном или самом холодном холодильном контуре полностью испаряется, в то же время обеспечивая охлаждение в диапазоне самых низких температур. Любое дополнительное охлаждение, обеспеченное посредством хладагента перед сжатием, таким образом, действует посредством передачи тепла от испаренного хладагента к другим потокам процесса.

В известных способах сжижения, в которых используются три объединенные холодильные установки с замкнутым контуром, размер оборудования в третьей, или имеющей самую низкую температуру, холодильной установке, может быть меньше относительно двух более теплых холодильных установок. Когда производительность сжижения повышается, размеры компрессорного и теплообменного оборудования в двух более теплых установках будут достигать максимальных размеров, имеющихся в наличии у поставщиков оборудования, в то время как размеры соответствующего оборудования в холодильной установке с самой низкой температурой будут меньше, чем максимальные размеры. Для того, чтобы дополнительно повысить производственную мощность способа сжижения, потребуются параллельные агрегаты из последовательных элементов из-за ограничений размеров компрессора и/или теплообменника в двух более теплых холодильных установках.

Желательно повышать максимальную производственную мощность способа сжижения при ограничениях размеров имеющихся в наличии компрессора и теплообменника, посредством этого обеспечивая возможность использования способов сжижения с одним агрегатом из последовательных элементов.

Задача настоящего изобретения заключается в обеспечении объединенной холодильной установки, имеющей повышенную производственную мощность без потребности в дублирующем параллельном оборудовании для более теплых холодильных установок.

В одном аспекте настоящее изобретение предусматривает способ сжижения газа,

который включает следующие стадии: охлаждение подаваемого газового потока последовательно по меньшей мере в двух зонах теплообмена при необходимых диапазонах температур для обеспечения сжиженного продукта, в котором охлаждение потока подаваемого газа в указанных диапазонах температур обеспечивают посредством испаряющихся хладагентов, причем один хладагент в диапазоне самых холодных температур только частично испаряют в самой холодной зоне теплообмена, чтобы получить частично испаренный другой хладагент, и осуществляют рециркуляцию частично испаренного хладагента в процессе рециркуляционного охлаждения, который включает стадии: дополнительного испарения частично испаренного хладагента в зоне дополнительного теплообмена при температурах выше самой высокой температуры в самой холодной зоне теплообмена, чтобы получить дополнительно испаренный хладагент, сжатия дополнительно испаренного хладагента, чтобы получить поток сжатого хладагента, и охлаждения потока сжатого хладагента, чтобы получить самый холодный хладагент, при этом весь поток сжатого хладагента охлаждают посредством стадий:

(i) охлаждения всего потока сжатого хладагента в зоне дополнительного теплообмена посредством косвенного теплообмена с дополнительно испаряющимся частично испаренным хладагентом, чтобы обеспечить охлажденный поток хладагента, тем самым обеспечивая самоохлаждение для рециркуляционного охлаждения, и обеспечения самого холодного хладагента посредством дополнительного охлаждения охлажденного потока хладагента, или

(ii) охлаждения всего потока сжатого хладагента в зоне теплообмена, предшествующей самой холодной зоне теплообмена, посредством косвенного теплообмена с соответствующим испаряющимся хладагентом, дополнительного охлаждения сжатого хладагента в зоне дополнительного теплообмена посредством косвенного теплообмена с частично испаренным хладагентом, чтобы получить поток охлажденного хладагента, и дополнительного охлаждения потока охлажденного хладагента, чтобы получить самый холодный хладагент.

Предпочтительно, поток подаваемого газа представляет собой природный газ.

Согласно одному варианту, самый холодный хладагент в диапазоне самых холодных температур представляет собой многокомпонентную смесь, содержащую азот, *i*-пентан и *n*-пентан с молярным отношением *i*-пентана к *n*-пентану в самом холодном хладагенте, составляющим больше единицы, причем *i*-пентан и *n*-пентан получают из потока подаваемого газа, и молярное отношение *i*-пентана к *n*-пентану в самом холодном хладагенте является большим, чем молярное отношение *i*-пентана к *n*-пентану в потоке подаваемого газа.

Согласно другому варианту, самый холодный хладагент в диапазоне самых холодных температур представляет собой многокомпонентную смесь, содержащую азот, *i*-пентан и один или более углеводородов, имеющих четыре атома углерода, причем *i*-пентан и один или более углеводородов получают из потока подаваемого газа, и молярное отношение *i*-пентана к одному или более углеводородам, имеющим четыре атома углерода, в самом холодном хладагенте является большим, чем молярное отношение *i*-пентана к одному или более углеводородам, имеющим четыре атома углерода, в потоке подаваемого газа.

Предпочтительно, самый холодный хладагент содержит (в мольных %) 5-15% азота, 30-60% метана, 10-30% этана, 0-10% пропана и 5-15% *i*-пентана.

Дополнительное охлаждение потока охлажденного хладагента осуществляют посредством косвенного теплообмена с самым холодным хладагентом, испаряющимся в самой холодной зоне теплообмена.

Предпочтительно, перед испарением для охлаждения потока сжатого хладагента, частично испаренный хладагент объединяют с охлажденным жидким хладагентом пониженного давления, чтобы получить объединенный двухфазный хладагент, который испаряют, чтобы охладить поток сжатого хладагента, сжатый парообразный хладагент охлаждают, чтобы получить частично сконденсированный хладагент, частично сконденсированный хладагент разделяют на поток парообразного хладагента и поток

жидкого хладагента, поток парообразного хладагента сжимают и охлаждают, чтобы получить частично сконденсированный поток, и частично сконденсированный поток разделяют на сжатый парообразный хладагент и жидкий хладагент, давление жидкого хладагента понижают, чтобы получить жидкий хладагент пониженного давления, жидкий хладагент пониженного давления объединяют с потоком жидкого хладагента, чтобы получить объединенный жидкий хладагент, поток (343) объединенного жидкого хладагента переохлаждают посредством косвенного теплообмена с объединенным двухфазным хладагентом, чтобы получить охлажденный жидкий хладагент пониженного давления для объединения с частично испаренным хладагентом.

В одном варианте осуществления способа сжижения газа охлаждают поток подаваемого газа последовательно в первом и втором диапазонах температур, чтобы обеспечить сжиженный продукт, в котором охлаждение потока подаваемого газа в первом диапазоне температур обеспечивают посредством испаряющегося первого хладагента, и охлаждение потока подаваемого газа во втором диапазоне температур обеспечивают посредством испаряющегося второго хладагента, причем второй хладагент обеспечивает дополнительное охлаждение посредством дополнительного испарения при температурах выше самой низкой температуры в первом диапазоне температур.

В другом варианте осуществления способа сжижения газа охлаждают поток подаваемого газа последовательно в первом, втором и третьем диапазонах температур, чтобы обеспечить сжиженный продукт, в котором охлаждение потока подаваемого газа в первом диапазоне температур обеспечивают посредством испаряющегося первого хладагента, охлаждение потока подаваемого газа во втором диапазоне температур обеспечивают посредством испаряющегося второго хладагента и охлаждение потока подаваемого газа в третьем диапазоне температур обеспечивают посредством испаряющегося третьего хладагента, причем третий хладагент обеспечивает дополнительное охлаждение посредством дополнительного испарения при температуре выше самой низкой температуры во втором диапазоне температур. Первый хладагент может быть однокомпонентным хладагентом. Второй и третий хладагенты могут быть многокомпонентными хладагентами.

Первый диапазон температур может находиться между примерно 35°C и примерно -70°C, второй диапазон температур может находиться между примерно 0°C и примерно -140°C, третий диапазон температур может находиться между примерно -90°C и примерно -165°C.

Охлаждение потока подаваемого газа может быть осуществлено посредством:

(а) охлаждения потока подаваемого газа в первом диапазоне температур посредством косвенного теплообмена с первым хладагентом, испаряющимся в первой зоне теплообмена, чтобы обеспечить первый частично охлажденный подаваемый поток и первый парообразный хладагент;

(b) дополнительного охлаждения частично охлажденного подаваемого потока во втором диапазоне температур посредством косвенного теплообмена со вторым хладагентом, испаряющимся во второй зоне теплообмена, чтобы обеспечить второй частично охлажденный подаваемый поток и второй парообразный хладагент; и

(с) дополнительного охлаждения второго частично охлажденного подаваемого потока в третьем диапазоне температур посредством косвенного теплообмена с третьим хладагентом, испаряющимся в третьей зоне теплообмена, чтобы обеспечить сжиженный продукт и поток двухфазного хладагента.

Третий хладагент может быть многокомпонентной смесью, содержащей два или более компонентов, выбранных из азота и углеводородов, имеющих от одного до пяти атомов углерода. Третий хладагент может содержать (в мольных %) 5-15% азота, 30-60% метана, 10-30% этана, 0-10% пропана и 5-15% i-пентана. Третий хладагент может содержать i-пентан и один или более углеводородов, имеющих четыре атома углерода, причем молярное отношение i-пентана к одному или более углеводородам, имеющим четыре атома углерода, является большим, чем единица.

Третий хладагент может содержать i-пентан и n-пентан, и молярное отношение i-пентана к n-пентану в третьем хладагенте может быть большим, чем единица, i-пентан и n-пентан могут быть получены из потока подаваемого газа с молярным отношением i-пентана к n-пентану в третьем хладагенте большим, чем молярное отношение i-пентана к n-пентану в потоке подаваемого газа. Третий хладагент может содержать i-пентан и один или более углеводородов, имеющих четыре атома углерода, причем i-пентан и один или более углеводородов, имеющих четыре атома углерода, в третьем хладагенте могут быть получены из потока подаваемого газа с молярным отношением i-пентана к одному или более углеводородам, имеющим четыре атома углерода, в третьем хладагенте большим, чем молярное отношение i-пентана к одному или более углеводородам, имеющим четыре атома углерода, в потоке подаваемого газа.

Третий хладагент может быть получен посредством рециркуляционного охлаждения, при котором испаряют поток двухфазного хладагента в четвертой зоне теплообмена при температурах выше, чем самая низкая температура во втором диапазоне температур, чтобы обеспечить третий парообразный хладагент, сжимают третий парообразный хладагент, чтобы получить поток сжатого третьего хладагента, охлаждают поток сжатого третьего хладагента в четвертой зоне теплообмена посредством косвенного теплообмена с потоком двухфазного хладагента, чтобы получить поток охлажденного третьего хладагента, и дополнительно охлаждают поток охлажденного третьего хладагента, чтобы получить третий хладагент.

Дополнительное охлаждение потока охлажденного третьего хладагента может быть осуществлено посредством косвенного теплообмена с третьим хладагентом, испаряющимся в третьей зоне теплообмена, при котором сжимают третий парообразный хладагент на первой ступени сжатия, чтобы обеспечить первый сжатый пар, охлаждают первый сжатый пар, чтобы получить двухфазный поток, разделяют двухфазный поток на поток пара и поток жидкости, сжимают поток пара, чтобы получить дополнительно сжатый пар, нагнетают поток жидкости, чтобы получить жидкость повышенного давления, объединяют дополнительно сжатый пар и сжатую жидкость, чтобы получить поток объединенного хладагента, и охлаждают поток объединенного хладагента, чтобы получить сжатый поток третьего хладагента.

Третий хладагент может быть получен посредством рециркуляционного охлаждения, при котором испаряют поток двухфазного хладагента в четвертой зоне теплообмена при температурах выше, чем самая низкая температура во втором диапазоне температур, чтобы получить третий парообразный хладагент, сжимают и охлаждают третий парообразный хладагент, чтобы получить поток сжатого третьего хладагента, охлаждают поток сжатого третьего хладагента в первой зоне теплообмена посредством косвенного теплообмена с первым испаряющимся хладагентом и в четвертой зоне теплообмена посредством косвенного теплообмена с потоком испаряющегося двухфазного хладагента, чтобы получить поток охлажденного третьего хладагента, и дополнительно охлаждают поток охлажденного третьего хладагента, чтобы получить третий хладагент.

Третий хладагент может быть получен посредством рециркуляционного охлаждения, при котором объединяют поток двухфазного хладагента с потоком охлажденного жидкого хладагента пониженного давления, чтобы получить поток объединенного двухфазного хладагента, испаряют поток объединенного хладагента в четвертой зоне теплообмена при температурах выше, чем самая низкая температура во втором диапазоне температур, чтобы получить третий парообразный хладагент, сжимают и охлаждают третий парообразный хладагент, чтобы получить частично сконденсированный третий хладагент, разделяют частично сконденсированный третий хладагент на поток парообразного хладагента и поток жидкого хладагента, сжимают и охлаждают поток парообразного хладагента, чтобы получить частично сконденсированный поток, и разделяют частично сконденсированный поток на сжатый третий парообразный хладагент и жидкий хладагент, понижают давление жидкого хладагента, чтобы получить жидкий хладагент пониженного давления, объединяют жидкий хладагент пониженного давления с потоком жидкого

хладагента, чтобы получить объединенный жидкий хладагент, переохлаждают поток объединенного жидкого хладагента в четвертой зоне теплообмена, чтобы получить переохлажденный жидкий хладагент, объединяют переохлажденный жидкий хладагент и поток двухфазного хладагента, чтобы получить объединенный двухфазный хладагент, испаряют объединенный двухфазный хладагент в четвертой зоне теплообмена, чтобы обеспечить в ней охлаждение, охлаждают сжатый третий парообразный хладагент в четвертой зоне теплообмена, чтобы получить поток охлажденного третьего хладагента, и дополнительно охлаждают и понижают давление потока охлажденного третьего хладагента, чтобы получить третий хладагент.

Во втором аспекте настоящего изобретения предусмотрена установка для сжижения потока газа, содержащая по меньшей мере две зоны теплообмена для охлаждения потока газа последовательно в необходимых диапазонах температур для обеспечения сжиженного продукта, и холодильные установки для обеспечения подачи хладагентов по трубопроводам хладагентов в зоны теплообмена, причем в самой холодной зоне теплообмена только частично испаряется самый холодный хладагент, причем холодильная установка, обеспечивающая самый холодный хладагент, является рециркуляционной установкой, содержащей зону дополнительного теплообмена, чтобы дополнительно испарять полученный в результате частично испаренный хладагент при температурах выше самой высокой температуры самой холодной зоны теплообмена, средство для сжатия испаренного хладагента, чтобы получить поток сжатого хладагента, трубопровод для обеспечения подачи испаренного хладагента из зоны дополнительного теплообмена в средство для сжатия, трубопровод для обеспечения подачи сжатого хладагента в зону дополнительного теплообмена, трубопровод для обеспечения подачи охлажденного сжатого хладагента из зоны дополнительного теплообмена в самую холодную зону теплообмена, и средство для дополнительного охлаждения охлажденного сжатого хладагента для обеспечения сконденсированного хладагента, при этом трубопровод, обеспечивающий подачу сжатого хладагента в зону дополнительного теплообмена, содержит

(i) трубопровод, обеспечивающий подачу всего потока сжатого хладагента в зону дополнительного теплообмена, причем зона дополнительного теплообмена обеспечивает самоохлаждение для рециркуляционной холодильной установки, или

(ii) трубопровод, обеспечивающий подачу всего потока сжатого хладагента в зону теплообмена, предшествующую самой холодной зоне теплообмена, причем зона теплообмена обеспечивает охлаждение всего потока сжатого хладагента посредством косвенного теплообмена, чтобы получить промежуточный охлажденный сжатый хладагент, и трубопровод для подачи промежуточного охлажденного сжатого хладагента в зону дополнительного теплообмена.

Средство для дополнительного охлаждения охлажденного сжатого хладагента для обеспечения сконденсированного хладагента содержит самую холодную зону теплообмена, при этом установка дополнительно содержит средство для понижения давления сконденсированного хладагента, чтобы обеспечить подачу хладагента по трубопроводу хладагента в самую холодную зону теплообмена.

Зона дополнительного теплообмена включает средство для переохлаждения жидкого хладагента, чтобы получить переохлажденный жидкий хладагент, и самая холодная холодильная установка содержит средство для понижения давления переохлажденного жидкого хладагента, чтобы получить хладагент пониженного давления, и трубопровод для объединения хладагента пониженного давления с частично испаренным хладагентом из самой холодной зоны теплообмена, чтобы обеспечить подачу потока объединенного испаряющегося хладагента в зону дополнительного теплообмена, в которой поток объединенного испаряющегося хладагента испаряется, чтобы обеспечить подачу испаренного хладагента в средство для сжатия.

При этом средство для сжатия испаренного хладагента из зоны дополнительного теплообмена содержит компрессор первой ступени, промежуточный охладитель для

охлаждения и частичной конденсации полученного в результате потока первого сжатого хладагента, чтобы получить поток частично сконденсированного первого сжатого хладагента, первый сепаратор для разделения потока частично сконденсированного первого сжатого хладагента на поток первого парообразного хладагента и поток первого жидкого хладагента, компрессор второй ступени для сжатия потока парообразного хладагента, чтобы получить поток сжатого парообразного хладагента, переохладитель для охлаждения потока сжатого парообразного хладагента, чтобы получить поток охлажденного двухфазного хладагента, второй сепаратор для обеспечения потока второго жидкого хладагента и сжатого хладагента в трубопроводе для подачи в зону дополнительного теплообмена, средство для понижения давления потока второго жидкого хладагента, чтобы получить поток второго жидкого хладагента пониженного давления, и трубопроводы для объединения потока второго жидкого хладагента пониженного давления и потока первого жидкого хладагента, чтобы обеспечить подачу жидкого хладагента в зону дополнительного теплообмена.

15 В установке согласно изобретению самая холодная холодильная установка содержит трубопровод для обеспечения подачи испаренного хладагента из зоны дополнительного теплообмена в средство для сжатия испаренного хладагента, чтобы обеспечить сжатый хладагент, средство для охлаждения в зоне теплообмена, предшествующей самой холодной зоне теплообмена для охлаждения сжатого хладагента посредством косвенного теплообмена с хладагентом, испаряющимся в зоне теплообмена, чтобы получить охлажденный сжатый хладагент, трубопровод для обеспечения подачи сжатого хладагента в зону дополнительного теплообмена для дополнительного охлаждения охлажденного сжатого хладагента посредством косвенного теплообмена с испаряющимся хладагентом из самой холодной зоны теплообмена, чтобы получить испаренный третий хладагент и дополнительно охлажденный сжатый хладагент, средство для дополнительного охлаждения охлажденного сжатого хладагента в самой холодной зоне теплообмена, чтобы получить сконденсированный хладагент, и средство для понижения давления сконденсированного хладагента, чтобы обеспечить подачу хладагента по трубопроводу хладагента в самую холодную зону теплообмена.

30 В одном варианте осуществления изобретения установка для сжижения потока газа содержит первую, вторую и третью зоны теплообмена для охлаждения потока газа последовательно в первом, втором и третьем диапазонах температур, соответственно, чтобы получить сжиженный продукт, первую холодильную установку для обеспечения подачи первого хладагента по трубопроводу первого хладагента в первую зону теплообмена, вторую холодильную установку для обеспечения подачи второго хладагента по трубопроводу второго хладагента во вторую зону теплообмена, и третью холодильную установку для обеспечения подачи третьего хладагента по трубопроводу третьего хладагента в третью зону теплообмена, в которой третья холодильная установка содержит трубопровод для обеспечения подачи испаренного третьего хладагента в средство для сжатия, чтобы сжимать испаренный третий хладагент, трубопровод для обеспечения подачи сжатого третьего хладагента в четвертую зону теплообмена, трубопровод для обеспечения подачи охлажденного сжатого третьего хладагента из четвертой зоны теплообмена в третью зону теплообмена, средство для дополнительного охлаждения охлажденного сжатого третьего хладагента в третьей зоне теплообмена, чтобы получить сконденсированный третий хладагент, и средство для понижения давления для понижения давление сконденсированного третьего хладагента, чтобы обеспечить подачу третьего хладагента по трубопроводу третьего хладагента в третью зону теплообмена.

Средство для сжатия испаренного третьего хладагента может содержать компрессор первой ступени, промежуточный охладитель для охлаждения и частичного конденсирования потока первого сжатого хладагента, чтобы получить поток частично сконденсированного первого сжатого хладагента, сепаратор для разделения потока частично сконденсированного первого сжатого хладагента на поток парообразного хладагента и поток жидкого хладагента, компрессор второй ступени для сжатия потока

парообразного хладагента, чтобы получить поток сжатого парообразного хладагента, насос для создания повышенного давления потока жидкого хладагента, чтобы получить поток жидкого хладагента повышенного давления, трубопровод для объединения потока сжатого парообразного хладагента и потока жидкого хладагента повышенного давления, и
5 обеспечить подачу потока объединенного хладагента в переохладитель для охлаждения потока объединенного хладагента, чтобы получить сжатый третий хладагент.

Четвертая зона теплообмена может включать средство для переохлаждения жидкого хладагента, чтобы получить переохлажденный жидкий хладагент, средство для понижения давления переохлажденного жидкого хладагента, чтобы получить хладагент пониженного
10 давления, трубопровод для объединения хладагента пониженного давления с дополнительно испаряющимся третьим хладагентом из третьей зоны теплообмена, чтобы обеспечить подачу потока объединенного испаряющегося хладагента в четвертую зону теплообмена, причем поток объединенного испаряющегося хладагента испаряется в четвертой зоне теплообмена, чтобы получить испаренный третий хладагент.

Средство для сжатия испаренного третьего хладагента может содержать компрессор первой ступени, промежуточный охладитель для охлаждения и частичного конденсирования потока первого сжатого хладагента, чтобы получить частично
15 сконденсированный поток первого сжатого хладагента, первый сепаратор для разделения частично сконденсированного потока первого сжатого хладагента на поток парообразного хладагента и поток жидкого хладагента, компрессор второй ступени для сжатия потока парообразного хладагента, чтобы получить поток сжатого парообразного хладагента, переохладитель для охлаждения потока сжатого парообразного хладагента, чтобы
20 получить поток охлажденного двухфазного хладагента, второй сепаратор, чтобы получить поток второго жидкого хладагента и сжатый третий хладагент, средство для понижения давления потока второго жидкого хладагента, чтобы получить поток второго жидкого хладагента пониженного давления, и трубопровод для объединения потока второго жидкого хладагента пониженного давления и потока первого жидкого хладагента, чтобы обеспечить подачу жидкого хладагента в четвертую зону теплообмена.

В другом варианте осуществления изобретения установка для сжижения потока газа
30 содержит первую, вторую и третью зоны теплообмена для охлаждения потока газа последовательно в первом, втором и третьем диапазонах температур соответственно, чтобы получить сжиженный продукт, первую холодильную установку для обеспечения первого хладагента, испаряющегося в первой зоне теплообмена, вторую холодильную установку для обеспечения второго хладагента, испаряющегося во второй зоне
35 теплообмена, и третью холодильную установку для обеспечения третьего хладагента, испаряющегося в третьей зоне теплообмена, в которой третья холодильная установка содержит средство для сжатия испаренного третьего хладагента, чтобы получить сжатый третий хладагент, средство для охлаждения в первой зоне теплообмена для охлаждения сжатого третьего хладагента посредством косвенного теплообмена с первым хладагентом,
40 испаряющимся в первой зоне теплообмена, чтобы получить охлажденный сжатый третий хладагент, четвертую зону теплообмена для дополнительного охлаждения охлажденного сжатого третьего хладагента посредством косвенного теплообмена с испаряющимся третьим хладагентом из третьей зоны теплообмена, чтобы получить испаренный третий хладагент и дополнительно охлажденный сжатый третий хладагент, средство для
45 дополнительного охлаждения охлажденного сжатого третьего хладагента в третьей зоне теплообмена, чтобы получить сконденсированный третий хладагент, и средство для понижения давления сконденсированного третьего хладагента, чтобы получить третий хладагент, испаряющийся в третьей зоне теплообмена.

Дальнейшее описание представлено только посредством примера и со ссылкой на
50 прилагаемые чертежи предпочтительных вариантов осуществления изобретения.

На фиг.1 изображена схематическая технологическая схема установки для сжижения и охлаждения газа в соответствии с известным уровнем техники.

На фиг.2 изображена схематическая технологическая схема установки для сжижения и

охлаждения газа в соответствии с примерным вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг.3 изображена схематическая технологическая схема установки для сжижения и охлаждения газа в соответствии с альтернативным примерным вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг.4 изображена схематическая технологическая схема установки для сжижения и охлаждения газа в соответствии с другим примерным вариантом осуществления настоящего изобретения.

На фиг.5 изображена схематическая технологическая схема установки для сжижения и искусственного охлаждения газа в соответствии с другим альтернативным примерным вариантом осуществления настоящего изобретения.

Варианты осуществления изобретения, описанные здесь, относятся к усовершенствованным способам охлаждения для сжижения газа с использованием трех холодильных установок с замкнутым контуром, которые охлаждают подаваемый поток в трех диапазонах температур с последовательно понижающимися температурами. Эти варианты осуществления направлены на усовершенствования холодильной установки, которая обеспечивает охлаждение в диапазонах самих низких температур, в которой размеры компрессорного и теплообменного оборудования, используемого в холодильной установке в диапазоне самых низких температур, увеличены по отношению к размерам компрессоров и теплообменников в холодильных установках, используемых в диапазонах более высоких температур. Термин "охлаждение", как он используется здесь, обозначает косвенную передачу тепла при температурах ниже температуры окружающей среды от потока текучей среды к хладагенту. Хладагент представляет собой чистую или смешанную текучую среду, которая абсорбирует тепло от другого потока посредством косвенного теплообмена с этим потоком.

Схематическая технологическая схема способа сжижения в соответствии с известным уровнем техники приведена на фиг.1. Подаваемый газ в трубопроводе 1, например природный газ, который был предварительно нагрет, чтобы удалить воду и другие легко конденсирующиеся примеси, охлаждается в первом диапазоне температур посредством косвенного теплообмена с первым испаряющимся хладагентом в первом теплообменнике 3. Хладагент может быть хладагентом с чистым компонентом, как, например, пропаном, или, альтернативно, может быть многокомпонентным хладагентом, содержащим два или более легких углеводородов, выбранных из этана, этилена, пропана, пропилена, бутана и изобутана.

Охлажденный газ в трубопроводе 5 дополнительно охлаждается во втором диапазоне температур посредством косвенного теплообмена со вторым испаряющимся хладагентом во втором теплообменнике 7. Дополнительно охлажденный газ в трубопроводе 9 еще дополнительно охлаждается и сжимается в третьем диапазоне температур посредством косвенного теплообмена с третьим испаряющимся хладагентом в третьем теплообменнике 11. Хладагент обычно представляет собой многокомпонентный хладагент, содержащий два или более компонентов хладагента, выбранных из метана, этана, этилена, пропана и пропилена. Давление окончательно сжиженного продукта в трубопроводе 13 может быть понижено посредством дроссельного вентиля 15, чтобы получить окончательный жидкий продукт в трубопроводе 17.

Охлаждение обычно обеспечивается посредством трехкратных или каскадных холодильных установок. Первая холодильная установка работает посредством подачи парообразного хладагента по трубопроводу 101 в ступень 103 первого компрессора, в которой газ сжимается до давления от 2 до 4 бар (все давления, приведенные здесь, являются абсолютными давлениями), охлаждается в переохладителе 105, дополнительно сжимается до давления от 6 до 10 бар во втором компрессоре 107, и охлаждается в переохладителе 109, чтобы получить сжатый хладагент при температуре окружающей среды в трубопроводе 111. Сжатый хладагент дополнительно охлаждается и по меньшей мере частично конденсируется в теплообменных каналах в первом теплообменнике 3.

Давление частично или полностью сконденсированного хладагента в трубопроводе 113 понижается посредством дроссельного вентиля 115, чтобы обеспечить хладагент пониженного давления в трубопроводе 117, и этот хладагент испаряется в отдельных теплообменных каналах, чтобы обеспечить охлаждение в первом теплообменнике 3.

5 Испаренный хладагент в трубопроводе 101 сжимается, как описано выше.

Вторая холодильная установка работает посредством подачи парообразного хладагента по трубопроводу 201 в компрессор 203, в котором газ сжимается до давления от 10 до 20 бар и охлаждается в переохладителе 205 примерно до температуры окружающей среды.

10 Сжатый хладагент в трубопроводе 207 дополнительно охлаждается и по меньшей мере частично конденсируется в теплообменных каналах в первом теплообменнике 3 и втором теплообменнике 7. Давление частично или полностью сконденсированного хладагента в трубопроводе 209 понижается посредством дроссельного вентиля 211, чтобы получить хладагент пониженного давления в трубопроводе 213, и этот хладагент испаряется в отдельных теплообменных каналах, чтобы обеспечить охлаждение во втором

15 теплообменнике 7. Испаренный хладагент в трубопроводе 201 сжимается, как описано выше.

Третья холодильная установка работает посредством подачи парообразного хладагента по трубопроводу 301 в компрессор 302, в котором газ сжимается до давления от 35 до 60 бар и охлаждается в переохладителе 303 примерно до температуры окружающей среды.

20 Сжатый хладагент в трубопроводе 304 дополнительно охлаждается и по меньшей мере частично конденсируется в теплообменных каналах в первом теплообменнике 3, втором теплообменнике 7 и третьем теплообменнике 11. Давление частично или полностью сконденсированного хладагента в трубопроводе 305 понижается посредством дроссельного вентиля 307, чтобы получить хладагент пониженного давления в

25 трубопроводе 309, и этот хладагент испаряется в отдельных теплообменных каналах, чтобы обеспечить охлаждение в третьем теплообменнике 11. Испаренный хладагент в трубопроводе 301 сжимается, как описано выше. Использование третьего холодильного контура, включающего теплообменник 11 и компрессор 302, обеспечивает часть общей холодопроизводительности, необходимой для сжижения подаваемого газа, и понижает

30 холодопроизводительность и размеры первой и второй холодильных установок.

Известные модификации или альтернативы способа согласно известному уровню техники с использованием трех холодильных контуров на фиг.1 являются возможными. Например, в первом холодильном контуре может использоваться каскадное охлаждение, при котором хладагент испаряется при трех различных давлениях, причем испаряющийся

35 хладагент возвращается на различные ступени в многоступенчатом компрессоре. Во втором холодильном контуре хладагент может испаряться при двух различных давлениях посредством двух отдельных комплектов теплообменных каналов в теплообменнике 7, и каждый поток испаренного хладагента может возвращаться в две отдельные ступени компрессора.

40 В другой модификации в третьем холодильном контуре хладагент может испаряться при двух различных давлениях посредством двух отдельных комплектов теплообменных каналов в теплообменнике 11, и каждый поток испаренного хладагента может возвращаться в две отдельные ступени компрессора. Испаренный хладагент в трубопроводе 301 перед компрессором 302 может быть использован в отдельном

45 теплообменнике, чтобы обеспечить охлаждение для части потока 215 второго хладагента и для части сжатого хладагента в трубопроводе 304.

В другом известном способе с тремя холодильными контурами испаряющийся хладагент в первом холодильном контуре используется, чтобы предварительно охладить подаваемый газ; выпуск из компрессора первого холодильного контура охлаждается и конденсируется

50 посредством части испаряющегося хладагента из второго холодильного контура.

Испаренный хладагент в третьем холодильном контуре из третьего теплообменника перед сжатием используется, чтобы дополнительно предварительно охладить подаваемый газ. Этот дополнительно предварительно охлажденный подаваемый газ затем охлаждается и

конденсируется в третьем теплообменнике. Второй холодильный контур охлаждает и конденсирует сжатый третий хладагент.

Общим характерным признаком этих известных способов сжижения является то, что хладагент в третьем холодильном контуре, т.е. низкотемпературном или самом холодном
5 холодильном контуре, полностью испаряется, в то же время обеспечивая охлаждение в диапазоне самых низких температур. Любое дополнительное охлаждение, обеспеченное посредством хладагента перед сжатием, является эффективным только посредством передачи тепла от испаренного хладагента к другим потокам процесса.

В нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения сконденсированный
10 хладагент третьего или самого холодного холодильного контура только частично испаряется в третьем теплообменнике в третьем или самом низком диапазоне температур. Частично испаренный хладагент из третьего теплообменника дополнительно испаряется при температурах выше самой низкой температуры во втором диапазоне температур. Это проиллюстрировано посредством первого примерного варианта осуществления
15 изобретений, показанного на фиг.2. Подаваемый газ в трубопроводе 1, например природный газ, подвергнутый предварительной обработке, чтобы удалить воду и другие конденсирующиеся примеси, охлаждается в первом диапазоне температур посредством косвенного теплообмена с первым испаряющимся хладагентом в первом теплообменнике 310. Хладагент может быть многокомпонентным хладагентом, содержащим, например, два
20 или более легких углеводородов, выбранных из этана, этилена, пропана, бутана, n-пентана и i-пентана (т.е. 2-метилбутана). Альтернативно, хладагент может быть одним компонентом, таким как пропан. Более высокая температура первого диапазона температур может быть температурой окружающей среды, и более низкая температура первого диапазона температур может быть между примерно -35°C и примерно -55°C .
25 Специальный состав хладагента может быть выбран, чтобы достичь требуемой более низкой температуры в первом диапазоне температур.

Охлажденный газ в трубопроводе 5 дополнительно охлаждается во втором диапазоне температур посредством косвенного теплообмена со вторым испаряющимся хладагентом
30 во втором теплообменнике 311 до температуры между примерно -40°C и примерно -100°C . Хладагент обычно представляет собой многокомпонентный хладагент и может содержать, например, два или более компонентов, выбранных из метана, этана, этилена и пропана. Состав специального хладагента может быть выбран, чтобы достичь требуемой более низкой температуры во втором диапазоне температур.

Дополнительно охлажденный газ в трубопроводе 9 еще дополнительно охлаждается и
35 сжижается в третьем диапазоне температур, достигая более низкой температуры между примерно -85°C и примерно -160°C посредством косвенного теплообмена с третьим испаряющимся хладагентом в третьем теплообменнике 312. Этот хладагент представляет собой многокомпонентный хладагент и может содержать, например, два или более
40 компонентов, выбранных из метана, этана, этилена, пропана, пропилена, одного или более углеводородов, имеющих четыре атома углерода, n-пентана, i-пентана (т.е. 2-метилбутана) и азота. В этом хладагенте i-пентан является предпочтительным (но не необходимым) компонентом. Состав специального хладагента может быть выбран, чтобы достичь необходимой более низкой температуры в третьем диапазоне температур.
45 Давление окончательно сжиженного продукта в трубопроводе 13 может быть понижено посредством дроссельного вентиля 15, чтобы получить конечный жидкий продукт в трубопроводе 17.

Первый диапазон температур может быть определен посредством первой температуры и второй температуры, и первая температура может быть температурой окружающей
50 среды. Вторым диапазоном температур может быть определен посредством второй температуры и третьей температуры, и третий диапазон температур может быть определен посредством третьей температуры и четвертой температуры. Первый диапазон температур является самым высоким или самым теплым диапазоном температур, и третий диапазон температур является самым низким или самым холодным диапазоном температур. Первая

температура является самой высокой температурой, и четвертая температура является самой низкой температурой.

Охлаждение для этого способа может быть обеспечено посредством трех кратных или каскадных холодильных установок. Первая холодильная установка может быть подобной первой холодильной установке, как описано выше со ссылкой на фиг.1, и может работать посредством подачи парообразного хладагента по трубопроводу 101 в ступень 103 первого компрессора, в которой газ сжимается до давления от 2 до 4 бар, охлаждается в переохладителе 105, дополнительно сжимается до давления от 6 до 10 бар во втором компрессоре 107 и охлаждается в переохладителе 109, чтобы получить сжатый хладагент при температуре окружающей среды в трубопроводе 111. Сжатый хладагент дополнительно охлаждается и по меньшей мере частично конденсируется в теплообменных каналах в первом теплообменнике 310. Давление частично или полностью сконденсированного хладагента в трубопроводе 113 понижается посредством дроссельного вентиля 115, чтобы получить хладагент пониженного давления в трубопроводе 117, и этот хладагент испаряется в отдельных теплообменных каналах, чтобы обеспечить охлаждение в первом теплообменнике 3. Испаренный хладагент в трубопроводе 101 сжимается, как описано выше.

Вторая холодильная установка может быть подобной первой холодильной установке, как описано выше со ссылкой на фиг.1, и может работать посредством подачи парообразного хладагента по трубопроводу 201 в компрессор 203, в котором газ сжимается до давления от 10 до 20 бар и охлаждается в переохладителе 205 примерно до температуры окружающей среды. Сжатый хладагент в трубопроводе 207 дополнительно охлаждается и по меньшей мере частично конденсируется в теплообменных каналах в первом теплообменнике 310 и втором теплообменнике 311. Давление частично или полностью сконденсированного хладагента в трубопроводе 209 понижается посредством дроссельного вентиля 211, чтобы получить хладагент с пониженным давлением в трубопроводе 213, и этот хладагент испаряется в отдельных теплообменных каналах, чтобы обеспечить охлаждение во втором теплообменнике 311. Испаренный хладагент в трубопроводе 201 сжимается, как описано выше.

Третья холодильная установка согласно этому варианту осуществления отличается от третьей холодильной установки согласно известному уровню техники, описанному ранее, и работает независимо от первой и второй холодильных установок. В этой третьей холодильной установке давление сконденсированного хладагента в трубопроводе 313 понижается посредством дроссельного вентиля 314, и сконденсированный хладагент пониженного давления из трубопровода 315 частично испаряется в третьем теплообменнике 312, чтобы обеспечить в нем охлаждение. Частично испаренный хладагент проходит через трубопровод 316 и испаряется полностью в четвертом теплообменнике 317, чтобы обеспечить в нем охлаждение. Испаренный хладагент в трубопроводе 318 обычно при температуре, близкой к температуре окружающей среды, и давлении от 2 до 10 бар, сжимается в первом компрессоре 319, охлаждается и частично конденсируется в промежуточном охладителе 320 и разделяется в сепараторе 321, чтобы получить поток пара в трубопроводе 322 и поток жидкости в трубопроводе 323.

Поток пара в трубопроводе 322 дополнительно сжимается до давления от 30 до 70 бар в компрессоре 324, давление потока жидкости в трубопроводе 232 повышается посредством насоса 325 до того же давления, два потока с повышенным давлением объединяются, чтобы обеспечить поток 326 двухфазного хладагента, который дополнительно охлаждается в переохладителе 327. Частично или полностью сконденсированный хладагент в трубопроводе 328 дополнительно охлаждается в четвертом теплообменнике 317, чтобы получить охлажденный хладагент в трубопроводе 329. Охлажденный хладагент в трубопроводе 329 дополнительно охлаждается в каналах 356 для потока третьего теплообменника 312, чтобы получить хладагент 313, описанный выше.

Смешанный хладагент, используемый в третьей холодильной установке, содержит выбранные компоненты и составы, которые обеспечивают возможность хладагенту

испаряться в широком диапазоне температур. Критерии для выбора этих компонентов и диапазона температур, в котором испаряется хладагент, являются отличными от критериев для выбора смешанных хладагентов, обычно используемых в третьем или низкотемпературном холодильном контуре трехконтурных установок для сжижения, известных в этой области техники. Смешанный хладагент в третьем контуре согласно настоящему изобретению должен обеспечивать возможность испарения в третьем диапазоне температур (т.е. в третьем теплообменнике 312), так же как при температурах выше самой низкой температуры во втором диапазоне температур (т.е. выше самой низкой температуры во втором теплообменнике 311). В зависимости от состава хладагента и давления испарение может быть возможным и желательным при температурах выше самой высокой температуры во втором диапазоне температур.

Типичные составы (в мольных %) хладагента, используемого в третьем контуре, могут включать 5-15% азота, 30-60% метана, 10-30% этана, 0-10% пропана и 5-15% i-пентана. Один или более углеводородов, имеющих четыре атома углерода, может присутствовать в хладагенте, но предпочтительно общая концентрация одного или более углеводородов, имеющих четыре атома углерода, является меньшей, чем концентрация i-пентана. Молярное отношение i-пентана к одному или более углеводородам, имеющим четыре атома углерода, в хладагенте обычно является большим, чем единица, и может быть большим, чем 1,5. Нормальный пентан (n-пентан) также может присутствовать в хладагенте, предпочтительно при меньших концентрациях, чем i-пентан.

Компоненты хладагента для использования в третьем холодильном контуре могут состоять из жидких углеводородов, более тяжелых, чем метан, которые конденсируются посредством начального охлаждения природного газа. Эти сконденсированные природные газоконденсаты (ПГК) могут быть извлечены и фракционированы посредством известных способов, чтобы получить отдельные компоненты для использования в предпочтительном смешанном хладагенте. Когда подача природного газа содержит как n-пентан, так и i-пентан, например, и когда эти компоненты извлекаются из ПГК посредством дистилляции для использования в хладагенте в третьем холодильном контуре, молярное отношение i-пентана к n-пентану в хладагенте может быть большим, чем молярное отношение i-пентана к n-пентану в подаваемом газе. Предпочтительно, молярное отношение i-пентана к n-пентану в хладагенте является большим в два раза, чем молярное отношение i-пентана к n-пентану в подаваемом газе. i-Пентан является более предпочтительным, чем n-пентан, для использования в этом хладагенте, потому что i-пентан имеет более низкую точку замерзания, чем n-пентан, что обеспечивает возможность использовать хладагент при более низких температурах.

Когда подаваемый природный газ содержит как i-пентан, так и один или более углеводородов, имеющих четыре атома углерода, и когда эти компоненты извлекаются из ПГК посредством дистилляции для использования в хладагенте в третьем холодильном контуре, молярное отношение i-пентана к одному или более углеводородам, имеющим четыре атома углерода, в хладагенте может быть большим, чем молярное отношение i-пентана к одному из углеводородов, имеющих четыре атома углерода, в подаваемом природном газе.

Третий холодильный контур в этом варианте осуществления является самоохлаждаемым и является независимым от первого и второго холодильных контуров. В отличие от способа на фиг.1, сжатый хладагент в третьем холодильном контуре на фиг.2 не охлаждается в первой и второй зонах теплообмена посредством первого и второго холодильных контуров. Это разгружает первый и второй холодильные контуры и, таким образом, уменьшает размеры первой и второй зон теплообмена и компрессорного оборудования в первом и втором холодильных контурах по сравнению со способом на фиг.1. Это особенно выгодно, когда способ на фиг.2 используется как установка для сжижения, спроектированная для очень большой производительности по продукту. Когда размеры компрессорного и теплообменного оборудования в первом и втором холодильных контурах достигают максимальных размеров, имеющихся в наличии у поставщиков

оборудования, более высокая производительность может быть достигнута посредством способа на фиг.2, чем способа на фиг.1.

Возможны изменения вариантов осуществления способа на фиг.2. Например, одна ступень или больше, чем две ступени сжатия, могут быть использованы, если требуется, что образует множество потоков жидкости для подачи насосом в связи со ступенями сжатия пара. В другом изменении, состав хладагента и давления в установке сжатия могут быть такими, что конденсация на промежуточной ступени не происходит, и разделение пар/жидкость не требуется.

В альтернативном варианте осуществления способа на фиг.2 вторая холодильная установка не требуется, и теплообменник 311, вентиль 211, компрессор 203, охладитель 205 и связанный с ними трубопровод не используются. В этом варианте теплообменник 310 не должен включать каналы для охлаждающего хладагента, подаваемого через трубопровод 207. Способ в этом варианте осуществления поэтому содержит охлаждение подаваемого газа в трубопроводе 1 последовательно в первом и втором диапазонах температур, чтобы обеспечить сжиженный продукт в трубопроводе 13, в котором охлаждение потока газа обеспечивается посредством первого хладагента в трубопроводе 117, испаряющегося в первом диапазоне температур, и второго хладагента в трубопроводе 315, испаряющегося во втором диапазоне температур, и дополнительно испаряющегося при температурах выше самой низкой температуры в первом диапазоне температур. Таким образом, диапазоны температур, в которых испаряются первый и второй хладагенты, перекрываются. В этом альтернативном варианте осуществления первый хладагент может быть пропаном, и второй хладагент может быть многокомпонентным хладагентом. В другом варианте осуществления оба хладагента могут быть выбраны из многокомпонентных хладагентов.

Альтернативный вариант осуществления примерного способа на фиг.2 иллюстрирован на фиг.3. В этом варианте первый холодильный контур на фиг.2 (компрессоры 103 и 107, охладители 105 и 109 и дроссельный вентиль 115) заменен на однокомпонентную каскадную холодильную установку. Пропан может быть использован как единственный хладагент в первом холодильном контуре. В этом варианте осуществления второй и третий холодильные контуры остаются неизменными по сравнению с вариантом осуществления на фиг.2.

Многоступенчатый компрессор 119 и переохладитель 121 работают так, чтобы обеспечить сжатый хладагент в трубопроводе 123 при температуре, близкой к температуре окружающей среде, и давлении в диапазоне от 10 до 15 бар. Давление сжатого хладагента в трубопроводе 123 понижается посредством дроссельного вентиля 125, и хладагент пониженного давления в трубопроводе 127 частично испаряется в теплообменнике 129, чтобы обеспечить в нем охлаждение и получить двухфазный хладагент в трубопроводе 131. Этот двухфазный хладагент разделяется в сепараторе 133, чтобы обеспечить пар в трубопроводе 135, причем этот пар возвращается на всасывание ступени низкого давления компрессора 119, и жидкость в трубопроводе 137. Давление этой жидкости понижается посредством дроссельного вентиля 139, и она частично испаряется в теплообменнике 129, чтобы обеспечить в нем охлаждение. Двухфазный хладагент в трубопроводе 141 разделяется в сепараторе 143 на выходящий пар в трубопроводе 145, причем этот пар возвращается на всасывание промежуточной ступени компрессора 119, и жидкость в трубопроводе 147. Давление этой жидкости понижается посредством дроссельного вентиля 149, и хладагент пониженного давления испаряется в теплообменнике 129, чтобы обеспечить в нем дополнительное охлаждение. Пар в трубопроводе 151 возвращается на вход компрессора 119.

Другой примерный вариант осуществления на фиг.2 иллюстрирован на фиг.4. В этом варианте осуществления используется модифицированный третий холодильный контур, в котором жидкость, образованная на ступени сжатия, объединяется с частично испаренной жидкостью из третьего теплообменника, и объединенный поток обеспечивает охлаждение, чтобы охладить сжатый парообразный хладагент. Испаренный хладагент в трубопроводе

330 сжимается в компрессоре 311 до давления от 2 до 10 бар, охлаждается и частично конденсируется в переохладителе 332 и разделяется в сепараторе 333, чтобы обеспечить пар в трубопроводе 334 и жидкость в трубопроводе 335. Пар в трубопроводе 334 дополнительно сжимается в компрессоре 336 до давления от 6 до 20 бар, охлаждается и

5 частично конденсируется в переохладителе 337 и разделяется в сепараторе 338, чтобы обеспечить пар в трубопроводе 339 и жидкость в трубопроводе 340.

Давление жидкости в трубопроводе 340 понижается посредством дроссельного вентиля 341, жидкость пониженного давления в трубопроводе 342 объединяется с жидкостью из трубопровода 335, и объединенная жидкость в трубопроводе 343 переохлаждается в

10 четвертом теплообменнике 344, чтобы произвести переохлажденный жидкий хладагент в трубопроводе 345. Давление этого переохлажденного хладагента понижается посредством дроссельного вентиля 346, и он объединяется с частично испаренным хладагентом в трубопроводе 316 из третьего теплообменника 312. Объединенный хладагент в трубопроводе 347 испаряется в теплообменнике 344, чтобы обеспечить в нем охлаждение

15 и получить парообразный хладагент в трубопроводе 330. Охлажденный хладагент в трубопроводе 329 дополнительно охлаждается и по меньшей мере частично сжижается в третьем теплообменнике 312, его давление понижается посредством дроссельного вентиля 314, чтобы получить хладагент пониженного давления в трубопроводе 315, причем хладагент пониженного давления частично испаряется в теплообменнике 312, чтобы

20 обеспечить в нем охлаждение, как описано выше. Частично испаренный хладагент в трубопроводе 316 возвращается в теплообменник 344, как описано выше.

Другой примерный вариант осуществления на фиг.2 иллюстрирован на фиг.5. В этом примерном варианте осуществления используется модифицированный третий

25 холодильный контур, в котором хладагент сжимается при температурах ниже температуры окружающей среды, и часть охлаждения сжатого хладагента обеспечивается посредством первого холодильного контура. Со ссылкой на фиг.5, парообразный хладагент в трубопроводе 348 при температурах в диапазоне от примерно 0°C до примерно -90°C сжимается в компрессоре 349 до давления от 10 до 20 бар и охлаждается в переохладителе 350 до температуры окружающей среды. Охлажденный сжатый хладагент

30 в трубопроводе 351 дополнительно охлаждается в каналах 352 для потока первого теплообменника 352, причем охлаждение обеспечивается посредством первого холодильного контура, как описано ранее.

Охлажденный хладагент в трубопроводе 354 дополнительно охлаждается в четвертом теплообменнике 355, чтобы обеспечить дополнительно охлажденный хладагент в

35 трубопроводе 329. Охлажденный хладагент в трубопроводе 329 дополнительно охлаждается и по меньшей мере частично сжижается в третьем теплообменнике 312, его давление понижается посредством дроссельного вентиля 314, чтобы обеспечить хладагент пониженного давления в трубопроводе 315, причем хладагент пониженного давления частично испаряется в теплообменнике 312, чтобы обеспечить в нем охлаждение, как

40 описано выше. Частично испаренный хладагент в трубопроводе 316 возвращается в теплообменник 354, как описано выше.

В этом примерном варианте осуществления смешанный хладагент в трубопроводе 348 находится при температурах в диапазоне от примерно 0 до примерно -90°C на входе в компрессор 349. Использование холодного сжатия в компрессоре 349 является

45 противоположным вариантам осуществления на фиг.2, 3 и 4, в которых парообразный хладагент входит на вход компрессора примерно при температуре окружающей среды. Смешанный хладагент в варианте осуществления на фиг.5 является более легким, чем хладагент в варианте осуществления на фиг.2; предпочтительно смешанный хладагент на фиг.5 не содержит компонентов тяжелее, чем пропан.

50 Когда приведенные выше варианты осуществления используются для сжижения природного газа, углеводороды тяжелее, чем метан, могут быть сконденсированы и удалены перед окончательным сжижением метана посредством известных способов, включая колонны-скрубберы или другие способы частичной конденсации и/или

дистилляции. Как описано выше, эти сконденсированные природные газоконденсаты (ПГК) могут быть фракционированы, чтобы обеспечить выбранные компоненты для хладагентов в холодильных установках.

Пример

5 Способ на фиг.3 иллюстрирован посредством следующего не ограничивающего примера, в котором поток подаваемого газа при 100 кг-моль/час природного газа в трубопроводе 1 сжижается, чтобы получить продукт - сжиженный природный газ (СПГ) в трубопроводе 17. Подаваемый газ в трубопроводе 1, предварительно очищенный (не
10 показано), чтобы удалить воду и примеси кислых газов, обеспечивается при температуре 27°C и давлении 60 бар. Подаваемый газ в трубопроводе 1 и смешанный парообразный хладагент в трубопроводе 207 охлаждаются до температуры -33°C в первом теплообменнике 129 посредством трех ступеней охлаждения пропаном. Чтобы осуществить это охлаждение, пропан испаряется при трех величинах давления, образуя три потока всасывания (135, 145 и 151) в пропановый компрессор 119. Давления в этих трех потоках
15 всасывания составляют 1,3 бар, 2,8 бар и 4,8 бар соответственно. Компрессор 119 имеет давление на выходе 16,3 бар. Пропан охлаждается до температуры 43°C и конденсируется в переохладителе 121 с использованием охлаждающей среды при температуре окружающей среды, такой как охлаждающая вода или воздух. Общий поток пропана в трубопроводе 123 составляет 114 кг-моль/час.

20 Охлажденный подаваемый газ в трубопроводе 5 и второй смешанный хладагент в трубопроводе 208 охлаждаются до температуры -119°C во втором теплообменнике 311, чтобы обеспечить дополнительно охлажденную подачу в трубопроводе 9 и дополнительно охлажденный второй смешанный хладагент в трубопроводе 209. Смешанный хладагент в трубопроводе 209 дросселируется посредством вентиля 211 до давления 4,2 бар, чтобы
25 получить смешанный хладагент пониженного давления в трубопроводе 213. Смешанный хладагент в трубопроводе 213 испаряется в теплообменнике 311, чтобы обеспечить в нем охлаждение. Смешанный хладагент для этого второго холодильного контура имеет расход 87 кг-моль/час и состав 27 мольных % метана, 63 мольных % этана и 10 мольных % пропана. Поток испаренного второго смешанного хладагента в трубопроводе 201
30 сжимается в трехступенчатом компрессоре 203 промежуточного охлаждения до давления 57 бар. Сжатый смешанный хладагент охлаждается в переохладителе 205 до 36,5°C с использованием охлаждающей воды, чтобы получить охлажденный сжатый смешанный хладагент в трубопроводе 207.

35 Подаваемый газ трубопроводе 9 и третий смешанный хладагент в трубопроводе 329 охлаждаются до окончательной температуры -156°C в третьем теплообменнике 312, чтобы получить, соответственно, продукт СПГ в трубопроводе 17 и сконденсированный третий смешанный хладагент в трубопроводе 313. Смешанный хладагент в трубопроводе 313 дросселируется посредством вентиля 314 до давления 3,7 бар, чтобы получить третий
40 смешанный хладагент пониженного давления в трубопроводе 315. Этот третий смешанный хладагент пониженного давления частично испаряется в третьем теплообменнике 312, чтобы обеспечить в нем охлаждение, и частично испаренный хладагент в трубопроводе 316 имеет паровую фракцию 55% и температуру -123°C. Смешанный хладагент для этого третьего холодильного контура имеет расход 59 кг-моль/час и состав (в мольных %) 12% азота, 52% метана, 18% этана, 6% пропана и 12% i-пентана.

45 Смешанный хладагент в трубопроводе 316 полностью испаряется и нагревается до 26°C в четвертом теплообменнике 317, чтобы обеспечить в нем охлаждение. Испаренный хладагент в трубопроводе 318 сжимается до давления 17,7 бар в компрессоре 319 первой ступени, охлаждается до температуры 36,5°C и частично сжижается в охлаждаемом водой промежуточном охладителе 320. Двухфазный хладагент разделяется в сепараторе 321,
50 чтобы получить парообразный хладагент в трубопроводе 322 и жидкий хладагент в трубопроводе 323. Давление жидкого хладагента повышается в насосе 325 до 47 бар. Парообразный хладагент в трубопроводе 322 сжимается до давления 47 бар в компрессоре

324, объединяется с хладагентом повышенного давления из насоса 325, и объединенный поток в трубопроводе 326 охлаждается в охлаждаемом водой переохладителе 327 до 36,5°C, чтобы получить охлажденный смешанный хладагент в трубопроводе 328. Этот смешанный хладагент охлаждается в четвертом теплообменнике 317, чтобы получить

охлажденный смешанный хладагент в трубопроводе 329, который дополнительно охлаждается в третьем теплообменнике 312, как описано ранее.

В приведенном выше описании фиг.1-5 позиции для трубопроводов (т.е. труб, через которые проходят потоки) также могут относиться к потокам, проходящим в этих трубопроводах. В пунктах формулы изобретения на способ позиции обозначают потоки, проходящие в этих трубопроводах. В пунктах формулы изобретения на установку позиции обозначают трубопроводы, а не потоки, проходящие в этих трубопроводах. Позиции на фиг.2-5 включены в следующие пункты формулы изобретения для ясности и в любом случае не предназначены для ограничения объема пунктов формулы изобретения.

Формула изобретения

1. Способ сжижения газа (1), который включает следующие стадии: охлаждение подаваемого газового потока последовательно, по меньшей мере, в двух зонах (310, 311, 312, 353) теплообмена при необходимых диапазонах температур для обеспечения сжиженного продукта (13), в котором охлаждение потока подаваемого газа в указанных диапазонах температур обеспечивают посредством испаряющихся хладагентов (117, 213 и 315), причем хладагент (315) в диапазоне самых холодных температур только частично испаряют в самой холодной зоне (312) теплообмена, чтобы получить частично испаренный хладагент (316), и осуществляют рециркуляцию частично испаренного хладагента в процессе рециркуляционного охлаждения, который включает стадии дополнительного испарения частично испаренного хладагента (316) в зоне (317, 355) дополнительного теплообмена при температурах выше самой высокой температуры в самой холодной зоне (312) теплообмена, чтобы получить дополнительно испаренный хладагент (318, 348), сжатия (319, 324, 349) дополнительно испаренного хладагента (318, 348), чтобы получить поток сжатого хладагента, и охлаждения потока сжатого хладагента, чтобы получить самый холодный хладагент (315), отличающийся тем, что весь поток сжатого хладагента охлаждают посредством стадий

(i) охлаждения всего потока (328) сжатого хладагента в зоне (317) дополнительного теплообмена посредством косвенного теплообмена с дополнительно испаряющимся, частично испаренным хладагентом (316), чтобы обеспечить охлажденный поток хладагента (329), тем самым обеспечивая самоохлаждение для рециркуляционного охлаждения и обеспечения самого холодного хладагента (315) посредством дополнительного охлаждения (312) охлажденного потока хладагента (329), или

(ii) охлаждения всего потока (351) сжатого хладагента в зоне (353) теплообмена, предшествующей самой холодной зоне (312) теплообмена, посредством косвенного теплообмена (352) с соответствующим испаряющимся хладагентом (117), дополнительного охлаждения сжатого хладагента в зоне (355) дополнительного теплообмена посредством косвенного теплообмена с частично испаренным хладагентом (316), чтобы получить поток охлажденного хладагента (329), и дополнительного охлаждения (312) потока охлажденного хладагента (329), чтобы получить самый холодный хладагент (315).

2. Способ по п.1, в котором поток (1) подаваемого газа представляет собой природный газ.

3. Способ по п.1, в котором самый холодный хладагент в диапазоне самых холодных температур (315) представляет собой многокомпонентную смесь, содержащую азот, i-пентан и n-пентан с молярным отношением i-пентана к n-пентану в самом холодном хладагенте (315), составляющим больше единицы, причем i-пентан и n-пентан получают из потока (1) подаваемого газа, и молярное отношение i-пентана к n-пентану в самом холодном хладагенте (315) является большим, чем молярное отношение i-пентана к n-пентану в потоке (1) подаваемого газа.

4. Способ по п.1, в котором самый холодный хладагент (315) представляет собой многокомпонентную смесь, содержащую азот, i-пентан и один или более углеводородов, имеющих четыре атома углерода, причем i-пентан и один или более углеводородов получают из потока (1) подаваемого газа, и молярное отношение i-пентана к одному или

5 более углеводородам, имеющим четыре атома углерода, в самом холодном хладагенте (315) является большим, чем молярное отношение i-пентана к одному или более углеводородам, имеющим четыре атома углерода, в потоке (1) подаваемого газа.

5. Способ по п.4, в котором самый холодный хладагент (315) содержит (в мольных %) 5-15% азота, 30-60% метана, 10-30% этана, 0-10% пропана и 5-15% i-пентана.

10 6. Способ по п.1, в котором дополнительное охлаждение потока (329) охлажденного хладагента осуществляют посредством косвенного теплообмена с самым холодным хладагентом (315), испаряющимся в самой холодной зоне (312) теплообмена.

7. Способ по п.1, в котором перед испарением для охлаждения потока (328, 339) сжатого хладагента частично испаренный хладагент (316) объединяют с охлажденным

15 жидким хладагентом (345) пониженного давления, чтобы получить объединенный двухфазный хладагент (347), который испаряют, чтобы охладить поток (328, 339) сжатого хладагента, сжатый парообразный хладагент (330) охлаждают (332), чтобы получить частично сконденсированный хладагент, частично сконденсированный хладагент разделяют (333) на поток (334) парообразного хладагента и поток (335) жидкого

20 хладагента, поток (334) парообразного хладагента сжимают (336) и охлаждают (337), чтобы получить частично сконденсированный поток, и частично сконденсированный поток разделяют (338) на сжатый парообразный хладагент (328, 339) и жидкий хладагент (340), давление жидкого хладагента понижают (341), чтобы получить жидкий хладагент (342) пониженного давления, жидкий хладагент (342) пониженного давления объединяют с

25 потоком (335) жидкого хладагента, чтобы получить объединенный жидкий хладагент (343), поток (343) объединенного жидкого хладагента переохлаждают посредством косвенного теплообмена (344) с объединенным двухфазным хладагентом (347), чтобы получить охлажденный жидкий хладагент (345) пониженного давления для объединения с частично испаренным хладагентом (316).

30 8. Установка для сжижения потока (1) газа посредством способа по п.1, содержащая, по меньшей мере, две зоны (310, 311, 312, 353) теплообмена для охлаждения потока (1) газа последовательно в необходимых диапазонах температур для обеспечения сжиженного продукта (13), и холодильные установки для обеспечения подачи хладагентов по трубопроводам (117, 213, 315) хладагентов в зоны (310, 311, 312, 353) теплообмена,

35 причем в самой холодной зоне (312) теплообмена только частично испаряется самый холодный хладагент (315), причем холодильная установка, обеспечивающая самый холодный хладагент, является рециркуляционной установкой, содержащей зону (317, 355) дополнительного теплообмена, чтобы дополнительно испарять полученный в результате частично испаренный хладагент при температурах выше самой высокой температуры

40 самой холодной зоны (312) теплообмена, средство (319, 324, 349) для сжатия испаренного хладагента, чтобы получить поток сжатого хладагента, трубопровод (318, 348) для обеспечения подачи испаренного хладагента из зоны (317, 355) дополнительного теплообмена в средство (319, 324, 349) для сжатия, трубопровод (328) для обеспечения подачи сжатого хладагента (328, 354) в зону (317, 355) дополнительного теплообмена,

45 трубопровод (329) для обеспечения подачи охлажденного сжатого хладагента из зоны (317, 355) дополнительного теплообмена в самую холодную зону (312) теплообмена и средство (356) для дополнительного охлаждения охлажденного сжатого хладагента для обеспечения сконденсированного хладагента (313), отличающаяся тем, что трубопровод (328, 351), обеспечивающий подачу сжатого хладагента в зону (317, 355)

50 дополнительного теплообмена, содержит

(i) трубопровод (328), обеспечивающий подачу всего потока сжатого хладагента в зону (317) дополнительного теплообмена, причем зона (317) дополнительного теплообмена обеспечивает самоохлаждение для рециркуляционной холодильной установки, или

(ii) трубопровод (351) обеспечивает подачу всего потока сжатого хладагента в зону (353) теплообмена, предшествующую самой холодной зоне (312) теплообмена, причем зона (353) теплообмена обеспечивает охлаждение всего потока сжатого хладагента (351) посредством косвенного теплообмена (352), чтобы получить промежуточный охлажденный сжатый хладагент, и трубопровод (354) для подачи промежуточного охлажденного сжатого хладагента в зону (355) дополнительного теплообмена.

9. Установка по п.8, в которой средство для дополнительного охлаждения (356) охлажденного сжатого хладагента для обеспечения сконденсированного хладагента содержит самую холодную зону (312) теплообмена, при этом установка дополнительно содержит средство (314) для понижения давления сконденсированного хладагента, чтобы обеспечить подачу хладагента по трубопроводу (315) хладагента в самую холодную зону (312) теплообмена.

10. Установка по п.9, в которой зона (317, 344) дополнительного теплообмена включает средство для переохлаждения жидкого хладагента, чтобы обеспечить переохлажденный жидкий хладагент, и самая холодная холодильная установка содержит средство (346) для понижения давления переохлажденного жидкого хладагента, чтобы обеспечить хладагент пониженного давления, и трубопровод (347) для объединения хладагента пониженного давления с частично испаренным хладагентом из самой холодной зоны (312) теплообмена, чтобы обеспечить подачу потока объединенного испаряющегося хладагента в зону (317, 344) дополнительного теплообмена, в которой поток объединенного испаряющегося хладагента испаряется, чтобы обеспечить подачу испаренного хладагента в средство (319) для сжатия.

11. Установка по п.10, в которой средство для сжатия испаренного хладагента из зоны (344) дополнительного теплообмена, содержит компрессор (331) первой ступени, промежуточный охладитель (332) для охлаждения и частичной конденсации полученного в результате потока первого сжатого хладагента, чтобы произвести поток частично сконденсированного первого сжатого хладагента, первый сепаратор (333) для разделения потока частично сконденсированного первого сжатого хладагента на поток первого парообразного хладагента и поток первого жидкого хладагента, компрессор (336) второй ступени для сжатия потока парообразного хладагента, чтобы обеспечить поток сжатого парообразного хладагента, переохладитель (337) для охлаждения потока сжатого парообразного хладагента, чтобы обеспечить поток охлажденного двухфазного хладагента, второй сепаратор (338) для обеспечения потока второго жидкого хладагента и сжатого хладагента в трубопроводе (328) для подачи в зону (317) дополнительного теплообмена, средство (341) для понижения давления потока второго жидкого хладагента, чтобы обеспечить поток второго жидкого хладагента пониженного давления, и трубопроводы (335, 342, 343) для объединения потока второго жидкого хладагента пониженного давления и потока первого жидкого хладагента, чтобы обеспечить подачу жидкого хладагента в зону (344) дополнительного теплообмена.

12. Установка по п.8, в которой самая холодная холодильная установка содержит трубопровод (348) для обеспечения подачи испаренного хладагента из зоны (317, 355) дополнительного теплообмена в средство (349) для сжатия испаренного хладагента, чтобы обеспечить сжатый хладагент, средство (352) для охлаждения в зоне (353) теплообмена, предшествующей самой холодной зоне (312) теплообмена для охлаждения сжатого хладагента посредством косвенного теплообмена с хладагентом, испаряющимся в зоне (353) теплообмена, чтобы получить охлажденный сжатый хладагент, трубопровод для обеспечения подачи сжатого хладагента в зону (317, 355) дополнительного теплообмена для дополнительного охлаждения охлажденного сжатого хладагента посредством косвенного теплообмена с испаряющимся хладагентом из самой холодной зоны (312) теплообмена, чтобы получить испаренный третий хладагент и дополнительно охлажденный сжатый хладагент, средство для дополнительного охлаждения (356) охлажденного сжатого хладагента в самой холодной зоне (312) теплообмена, чтобы получить сконденсированный хладагент, и средство (314) для понижения давления сконденсированного хладагента,

чтобы обеспечить подачу хладагента по трубопроводу (315) хладагента в самую холодную зону (312) теплообмена.

5

10

15

20

25

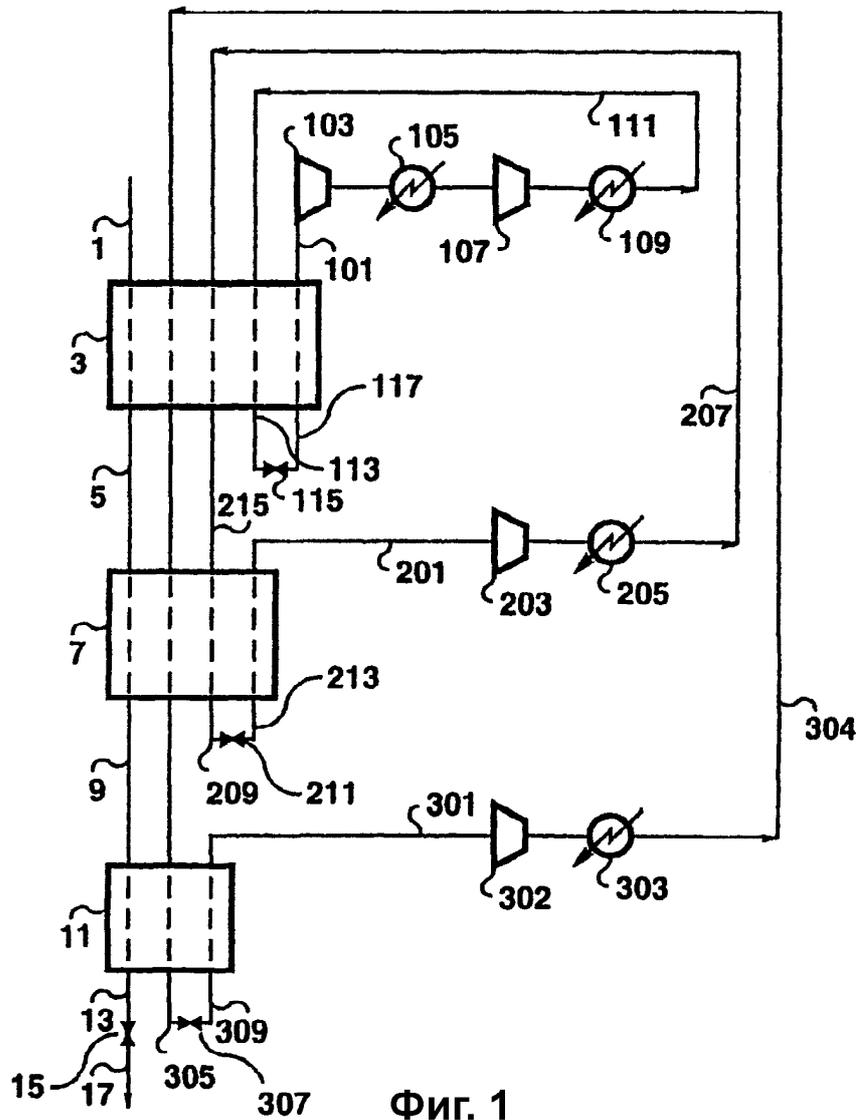
30

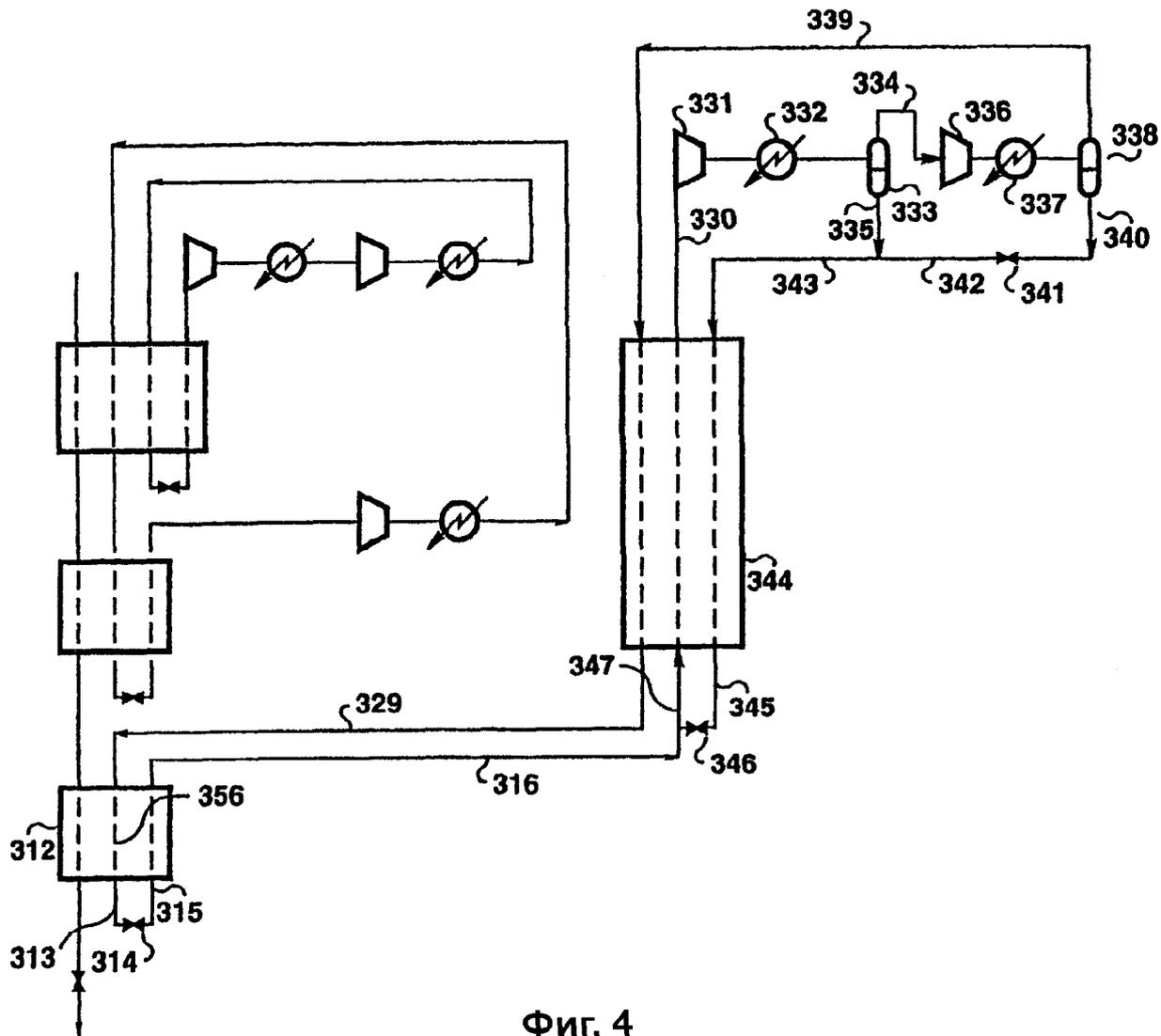
35

40

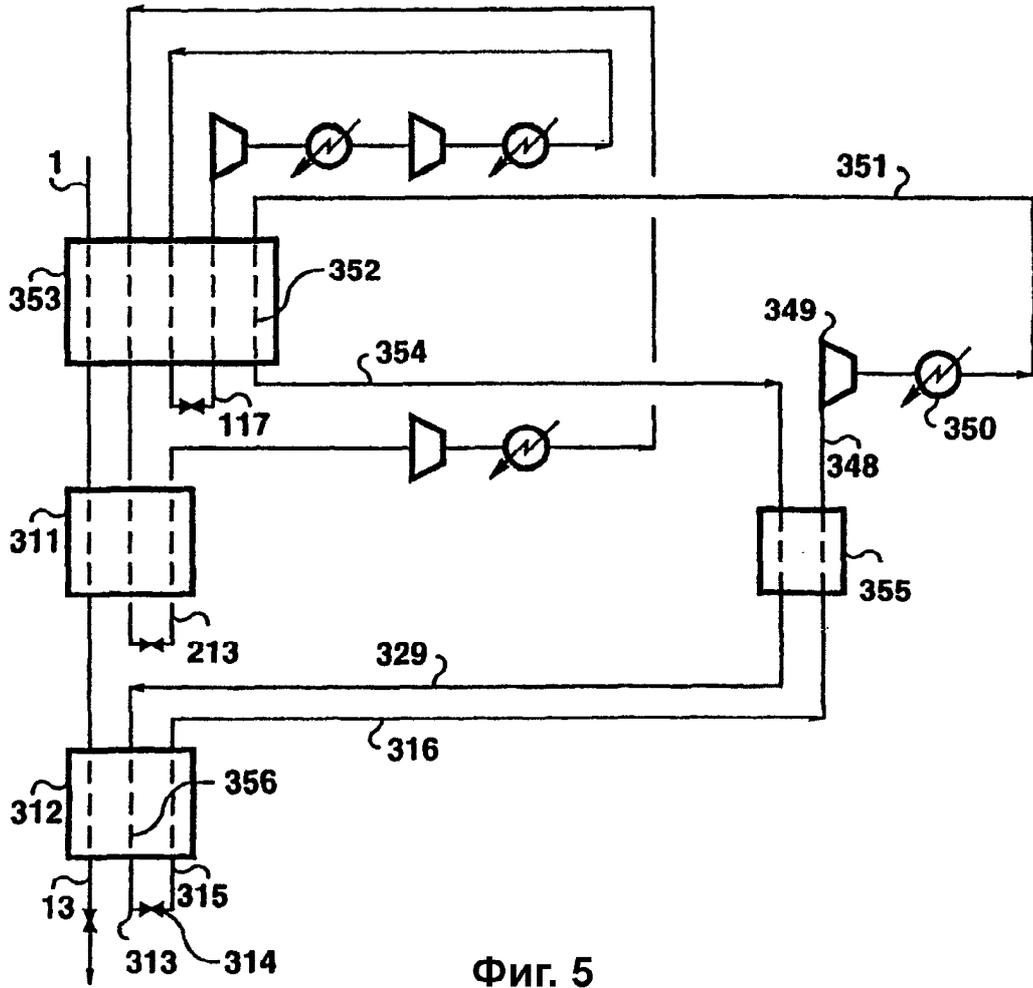
45

50





Фиг. 4



Фиг. 5