



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F25J 1/02 (2020.08); C10L 3/06 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2017134994, 05.10.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.10.2017Дата регистрации:
26.10.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
07.10.2016 US 15/287,963

(43) Дата публикации заявки: 08.04.2019 Бюл. № 10

(45) Опубликовано: 26.10.2020 Бюл. № 30

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

КРИШНАМУРТИ Говри (US),
РОБЕРТС Марк Джулиан (US)

(73) Патентообладатель(и):

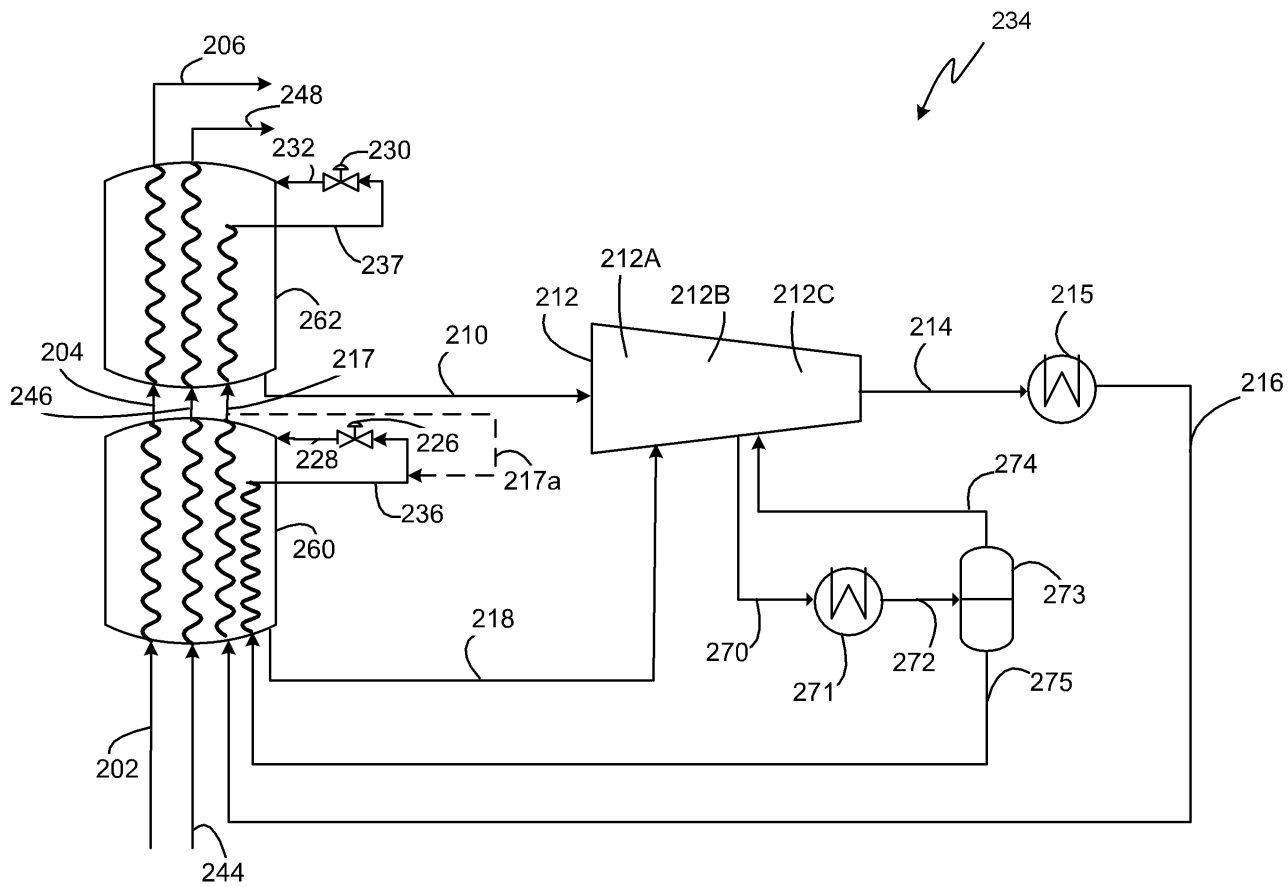
ЭР ПРОДАКТС ЭНД КЕМИКАЛЗ, ИНК.
(US)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: EP 1340952 A2, 03.09.2003. RU
2296280 C2, 27.03.2007. RU 2443952 C2,
27.02.2012. RU 2432534 C2, 27.10.2011. RU
2568697 C2, 20.11.2015. WO 2012048078 A1,
12.04.2012.

(54) СИСТЕМА И СПОСОБ ОХЛАЖДЕНИЯ СМЕШАННЫМ ХЛАДАГЕНТОМ С НЕСКОЛЬКИМИ УРОВНЯМИ ДАВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение предназначено для сжижения природного газа. Описаны системы и способы сжижения природного газа, имеющие систему предварительного охлаждения смешанным хладагентом с несколькими уровнями давления, включающие охлаждение сжатого потока смешанного хладагента и разделение охлажденного сжатого потока смешанного хладагента на паровую и жидкую фракции. Жидкая фракция обеспечивает холодоснабжение для первого теплообменника предварительного

охлаждения. Паровую фракцию дополнительно сжимают, охлаждают и используют для обеспечения холодоснабжения второго теплообменника предварительного охлаждения. Необязательно можно использовать дополнительные теплообменники предварительного охлаждения и/или фазовые сепараторы. Технический результат: повышение мощности и эффективности процессов сжижения природного газа. 2 н. и 20 з.п. ф-лы, 5 ил., 1 табл., 1 пр.



ФИГ. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

F25J 1/02 (2020.08); C10L 3/06 (2020.08)(21)(22) Application: **2017134994, 05.10.2017**(24) Effective date for property rights:
05.10.2017Registration date:
26.10.2020

Priority:

(30) Convention priority:
07.10.2016 US 15/287,963(43) Application published: **08.04.2019 Bull. № 10**(45) Date of publication: **26.10.2020 Bull. № 30**

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B.Spasskaya, 25, stroenie 3,
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i
Partnery"**

(72) Inventor(s):

**ROBERTS, Mark Julian (US),
KRISHNAMURTHY, Gowri (US)**

(73) Proprietor(s):

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.
(US)**(54) **COOLING SYSTEM AND METHOD WITH MIXED COOLANT WITH SEVERAL PRESSURE LEVELS**

(57) Abstract:

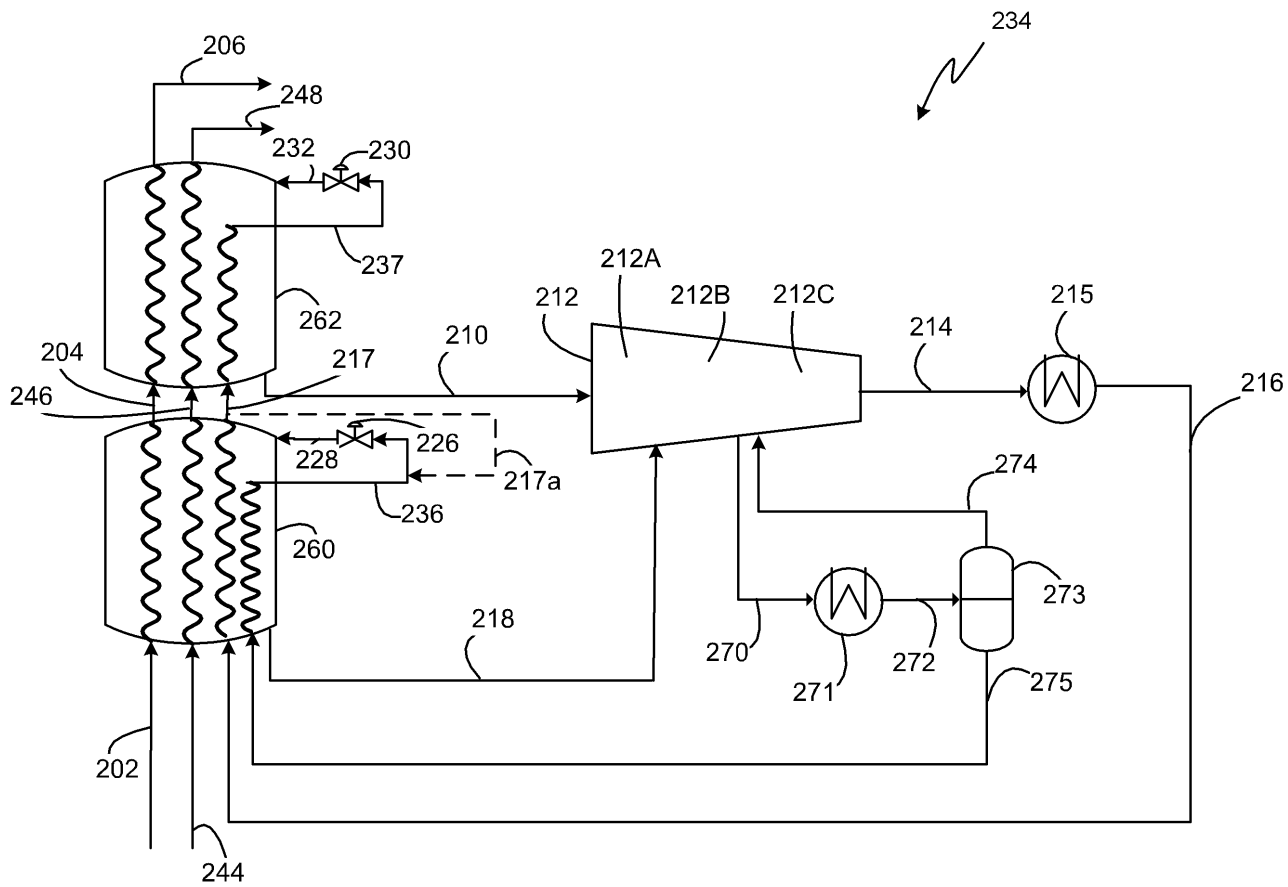
FIELD: oil and gas industry.

SUBSTANCE: invention is intended for liquefaction of natural gas. Described are natural gas liquefaction systems and methods, having a pre-cooling system with a mixed refrigerant with several pressure levels, including cooling of compressed flow of mixed coolant and separation of cooled compressed flow of mixed coolant into steam and liquid fractions. Liquid fraction provides cold supply for the first heat exchanger of

preliminary cooling. Steam fraction is additionally compressed, cooled and used to provide cold supply of the second pre-cooling heat exchanger. Optionally, additional pre-cooling heat exchangers and/or phase separators can be used.

EFFECT: increasing power and efficiency of natural gas liquefaction processes.

22 cl, 5 dwg, 1 tbl, 1 ex



ФИГ. 2

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0001] Системы для охлаждения, сжижения и, необязательно, переохлаждения природного газа хорошо известны в данной области техники, такие, как цикл с одноконтурным охлаждением смешанным хладагентом (ОСХ), охлаждение смешанным хладагентом с предварительным трехуровневым охлаждением пропаном (ЦЗСХ), цикл с двухконтурным охлаждением смешанным хладагентом (ДСХ), гибридные циклы с охлаждением азотом (ЦЗСХ-Азот), такие как (АР-ХTM), расширительный цикл с азотом или метаном и каскадные циклы. Обычно в таких системах природный газ охлаждают, сжижают и, необязательно, переохлаждают путем косвенного теплообмена с одним или более хладагентов. Можно использовать различные хладагенты, такие как смешанные хладагенты, чистые компоненты, двухфазные хладагенты, хладагенты в газовой фазе и тому подобное. Смешанные хладагенты (СХ), которые представляют собой смесь из азота, метана, этана/этилена, пропана, бутанов и пентанов используют на многих заводах базовой нагрузки по производству сжиженного природного газа (СПГ). Состав потока СХ обычно выбирают, исходя из состава сырьевого газа и условий эксплуатации.

[0002] Хладагент циркулирует в контуре хладагента, который включает один или более теплообменников и систему компрессии хладагента. Контур хладагента может быть замкнутым контуром или открытым контуром. Природный газ охлаждается, сжижается и/или переохлаждается путем косвенного теплообмена с хладагентами в одном или более контуров хладагента путем косвенного теплообмена с хладагентами в теплообменниках.

[0003] Система компрессии хладагента включает последовательность компрессии для сжатия и охлаждения циркулирующего хладагента и узел привода, чтобы обеспечить мощность, необходимую для привода компрессоров. Для систем сжижения с предварительным охлаждением количество и тип приводов в узле привода и последовательность сжатия оказывают влияние на соотношение мощности, требуемой для системы предварительного охлаждения и системы сжижения. Система компрессии хладагента является решающим компонентом системы сжижения, поскольку хладагент необходимо сжать до высокого давления и охладить перед расширением, чтобы получить холодный поток хладагента низкого давления, который обеспечивает холодоснабжение, необходимое для охлаждения, сжижения и, необязательно, переохлаждения природного газа.

[0004] Процессы ДСХ включают два потока смешанного хладагента, первый для предварительного охлаждения исходного природного газа, и второй для сжижения предварительно охлажденного природного газа. Два потока смешанного хладагента проходят через два контура хладагента, контур предварительного охлаждения хладагента в системе предварительного охлаждения и контур сжижения хладагента в системе сжижения. В каждом контуре хладагента поток хладагента испаряется, обеспечивая холодоснабжение, требуемое для охлаждения и сжижения сырьевого потока природного газа. Когда поток хладагента испаряется при одном уровне давления, то систему и способ называют «с одним уровнем давления». Когда поток хладагента испаряется при двух или более уровнях давления, то систему и способ называют «с несколькими уровнями давления». На ФИГ. 1 показана система охлаждения и сжижения 100 в типичном способе ДСХ предшествующего уровня техники. Описанный здесь способ ДСХ включает систему сжижения с одноступенчатым сжатием и систему предварительного охлаждения с многоступенчатым сжатием с двумя уровнями давления. Однако можно использовать любое число уровней давления. Сырьевой поток, которым

предпочтительно является природный газ, очищают и высушивают известными способами в секции предварительной обработки (не показана), чтобы удалить воду, кислотные газы, такие как CO_2 и H_2S , и другие загрязняющие вещества, такие как ртуть, получая в результате предварительно обработанный сырьевой поток 102.

5 Предварительно обработанный сырьевой поток 102, который практически не содержит воду, предварительно охлаждают в системе предварительного охлаждения 134 с получением второго предварительно охлажденного потока природного газа 106 и дополнительно охлаждают, сжижают и/или переохлаждают в основном криогенном теплообменнике (ОКТ) 164 с получением потока СПГ 108. Поток СПГ 108 обычно
10 понижают в давлении путем пропускания через клапан или турбину (не показана) и затем направляют в емкость для хранения СПГ (не показана). Любой мгновенно испарившийся пар, образующийся при понижении давления и/или испарившийся в емкости для хранения, можно использовать как топливо на заводе, вернув его в цикл подачи, и/или направить на сжигание.

15 [0005] Предварительно обработанный сырьевой поток 102 охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 160, чтобы получить первый поток предварительно охлажденного природного газа 104. Первый поток предварительно охлажденного природного газа 104 охлаждают во втором теплообменнике
20 предварительно охлаждения 162, чтобы получить второй поток предварительно охлажденного природного газа 106. Второй поток предварительно охлажденного природного газа 106 сжижают и затем переохлаждают, чтобы получить поток СПГ 108 при температуре в диапазоне от примерно -170°C до примерно -120°C , предпочтительно в диапазоне от примерно -170°C до примерно -140°C . ОКТ 164, показанный на ФИГ. 1, представляет собой спирально-витой теплообменник с двумя
25 трубными пучками, теплым пучком 166 и холодным пучком 167. Однако в этом типе теплообменника можно использовать любое количество пучков. Хотя на ФИГ. 1 показаны два теплообменника предварительного охлаждения и два уровня давления в контуре предварительного охлаждения, любое число теплообменников
30 предварительного охлаждения и уровней давления можно использовать. Показанные на ФИГ. 1 теплообменники предварительного охлаждения являются спирально-витыми теплообменниками. Однако, они могут быть пластинчатыми и ребристыми теплообменниками, кожухотрубными теплообменниками или любыми другими теплообменниками, подходящими для предварительного охлаждения природного газа.

35 [0006] Термин «практически не содержит воду» означает, что любая остаточная вода в предварительно охлажденном сырьевом потоке 102 присутствует в концентрации достаточно низкой для предотвращения эксплуатационных проблем, связанных с замораживанием воды в процессе охлаждения и сжижения ниже по потоку. В описанных здесь вариантах воплощения изобретения концентрация воды предпочтительно составляет не более 1,0 мд и более предпочтительно в диапазоне от 0,1 мд до 0,5 мд.

40 [0007] Хладагент предварительного охлаждения, используемый в способе ДСХ, представляет собой смешанный хладагент (СХ), называемый здесь теплым смешанным хладагентом (ТСХ) или «первым хладагентом», и включает компоненты, такие как азот, метан, этан/этилен, пропан, бутаны и другие углеводородные компоненты. Как
45 показано на ФИГ. 1, поток ТСХ низкого давления 110 выводят с теплого конца межтрубного пространства второго теплообменника предварительного охлаждения 162 и сжимают на первой ступени сжатия 112А компрессора ТСХ 112. Поток ТСХ среднего давления 118 выводят с теплого конца межтрубного пространства первого теплообменника предварительного охлаждения 160 и вводят как боковой поток в

компрессор ТСХ 112, где его смешивают со сжатым потоком (не показано) с первой ступени сжатия 112А. Смешанный поток (не показан) сжимают на второй ступени сжатия ТСХ 112В компрессора 112, чтобы получить сжатый поток ТСХ 114. Любую жидкость, присутствующую в потоке ТСХ низкого давления 110 и потоке ТСХ среднего давления 118 удаляют в устройствах для разделения жидкости и пара (не показано).

[0008] Сжатый поток ТСХ 114 охлаждают и предпочтительно конденсируют во вторичном охладителе ТСХ 115, чтобы получить первый охлажденный сжатый поток ТСХ 116, который затем вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 160, чтобы дополнительно охладить в трубном контуре с получением второго охлажденного сжатого потока ТСХ 120. Второй охлажденный сжатый поток ТСХ 120 разделяют на две части; первую часть 122 и вторую часть 124. Первую часть второго охлажденного сжатого потока ТСХ 122 расширяют в первом дроссельном устройстве ТСХ 126, чтобы получить первый дросселированный поток ТСХ 128, который затем вводят в межтрубное пространство первого теплообменника предварительного охлаждения 160, чтобы обеспечить холодоснабжение. Вторую часть второго охлажденного сжатого потока ТСХ 124 вводят во второй теплообменник предварительного охлаждения 162 для дополнительного охлаждения, после которого его расширяют во втором дроссельном устройстве ТСХ 130, чтобы получить второй дросселированный поток ТСХ 132, который вводят в межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения 162, чтобы обеспечить холодоснабжение. Процесс сжатия и охлаждения ТСХ после его вывода из теплообменников предварительного охлаждения обычно называют здесь последовательностью сжатия ТСХ.

[0009] Хотя на ФИГ. 1 показано, что ступени сжатия 112А и 112В выполняются в одном корпусе компрессора, они могут осуществляться в двух или более отдельных компрессорах. Кроме того, между ступенями могут работать теплообменники промежуточного охлаждения. Компрессор ТСХ 112 может быть компрессором любого типа, например, центробежным, осевым компрессором, объемным компрессором или любым другим типом компрессора.

[0010] В способе ДСХ сжижение и переохлаждение выполняют путем обмена теплом предварительно охлажденного природного газа в противотоке со вторым потоком смешанного хладагента, называемого здесь холодным смешанным хладагентом (ХСХ) или «вторым хладагентом».

[0011] Теплый поток ХСХ низкого давления 140 выводят с теплого конца межтрубного пространства ОКТ 164, пропускают через впускной сепаратор (не показан), чтобы отделить какие-либо жидкости, а поток пара сжимают в компрессоре ХСХ 141, чтобы получить сжатый поток ХСХ 142. Теплый поток ХСХ низкого давления 140 обычно выводят при температуре, равной или близкой температуре предварительного охлаждения ТСХ и предпочтительно меньше, чем примерно -30°C и при давлении меньше, чем 10 бар (145 фунт/кв. дюйм; 0,1 МПа). Сжатый поток ХСХ 142 охлаждают во вторичном охладителе ХСХ 143, чтобы получить сжатый охлажденный поток ХСХ 144. В схеме могут присутствовать дополнительные фазовые сепараторы, компрессоры и вторичные охладители. Сжатие и охлаждение ХСХ после его выпуска с теплого конца ОКТ 164 обычно называется здесь последовательностью сжатия ХСХ.

[0012] Сжатый охлажденный поток ХСХ 144 затем охлаждают за счет испарения ТСХ в системе предварительного охлаждения 134. Сжатый охлажденный поток ХСХ 144 охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 160, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток ХСХ 146 и затем охлаждают во

втором теплообменнике предварительного охлаждения 162, чтобы получить второй предварительно охлажденный поток ХСХ 148, который может быть полностью конденсированным или двухфазным в зависимости от температуры предварительного охлаждения и состава потока ХСХ. На ФИГ. 1 показана схема, где второй

5 предварительно охлажденный поток ХСХ 148 является двухфазным и его направляют в фазовый сепаратор ХСХ 150, из которого получают поток жидкого ХСХ (ХСХЖ) 152 и поток пара ХСХ (ХСХП) 151, которые направляют обратно в ОКТ 164 для дополнительного охлаждения. Жидкие потоки, выпускающие из фазовых сепараторов, называются в этой отрасли СХЖ, а потоки пара, выпускающие из фазовых сепараторов,

10 называются в этой отрасли СХП, даже после того, как они затем будут сжижены.

[0013] Оба - поток ХСХЖ 152 и поток ХСХП 151 охлаждают в двух отдельных контурах ОКТ 164. Поток ХСХЖ 152 охлаждают и частично сжижают в теплом трубном пучке 166 ОКТ 164 с получением холодного потока, который понижают в давлении пропуская через дроссельное устройство ХСХЖ 153, чтобы получить

15 дросселированный поток ХСХЖ 154, который направляют обратно в межтрубное пространство ОКТ 164, чтобы обеспечить холодоснабжение, требуемое в теплом трубном пучке 166. Поток ХСХП 151 охлаждают в теплом пучке 166 и затем в холодном пучке 167 ОКТ 164, понижают в давлении, пропуская через дроссельное устройство ХСХП 155, чтобы получить дросселированный поток ХСХП 156, который вводят в

20 ОКТ 164, чтобы обеспечить холодоснабжение, требуемое в холодном пучке 167 и теплом пучке 166.

[0014] ОКТ 164 и теплообменник предварительного охлаждения 160 может быть любым теплообменником, подходящим для охлаждения и сжижения природного газа, таким как спирально-витой теплообменник, пластинчатый и ребристый теплообменник

25 или кожухотрубный теплообменник. Спирально-витые теплообменники представляют собой современные теплообменники для сжижения природного газа и включают, по меньшей мере, один трубный пучок, содержащий множество спирально намотанных труб для выполнения процесса и потоков теплого хладагента, и межтрубное пространство для протекания потока холодного хладагента.

[0015] На схеме, показанной на ФИГ. 1, холодный конец первого теплообменника предварительного охлаждения 160 находится при температуре ниже 20°C, предпочтительно ниже примерно 10°C, и более предпочтительно ниже примерно 0°C. Холодный конец второго теплообменника предварительного охлаждения 162 находится при температуре ниже 10°C, предпочтительно ниже примерно 0°C, и более

35 предпочтительно ниже примерно -30°C. Следовательно, второй теплообменник предварительного охлаждения находится при более низкой температуре, чем первый теплообменник предварительного охлаждения.

[0016] Главным преимуществом цикла смешанного хладагента является то, что состав потока смешанного хладагента может быть оптимизирован для корректировки кривых

40 охлаждения в теплообменнике, температуры на выпуске и, следовательно, эффективности процесса. Это может быть достигнуто путем регулирования состава потока хладагента для различных этапов процесса охлаждения. Например, смешанный хладагент с высокой концентрацией этана и более тяжелых компонентов хорошо подходит как хладагент предварительного охлаждения, в то время как смешанный

45 хладагент с высокой концентрацией метана и азота хорошо подходит в качестве переохлаждающего хладагента.

[0017] На схеме, показанной на ФИГ. 1 состав первого дросселированного потока ТСХ 128, обеспечивающего холодоснабжение для первого теплообменника

предварительного охлаждения, является таким же, как состав второго дросселированного потока ТСХ 132, обеспечивающего холодоснабжение для второго теплообменника предварительного охлаждения 162. Поскольку первый и второй теплообменники предварительного охлаждения охлаждают до разных температур, использование хладагента одинакового состава для обоих теплообменников является неэффективным. Кроме того, неэффективность увеличивается при использовании трех или более теплообменников предварительного охлаждения.

[0018] Пониженная эффективность приводит к повышению энергии, требуемой для производства того же количества СПГ. Кроме того, пониженная эффективность приводит к более теплой общей температуре предварительного охлаждения при фиксированном количестве доступной мощности привода для предварительного охлаждения. Вследствие этого тепловая нагрузка переносится с системы предварительного охлаждения на систему сжижения, что приводит к увеличению размера ОКТ и увеличению энергетической нагрузки на сжижение, что может быть нежелательным с точки зрения капитальных затрат и работоспособности системы.

[0019] Один подход к решению этой проблемы состоит в том, чтобы иметь два отдельных цикла хладагента замкнутого контура для каждого этапа предварительного охлаждения. Это предполагает наличие отдельных контуров смешанного хладагента для первого теплообменника предварительного охлаждения 160 и второго теплообменника предварительного охлаждения 162. Это позволило бы оптимизировать составы двух потоков хладагента, независимо друг от друга и, следовательно, повысить эффективность. Однако для этого подхода потребуются отдельные системы сжатия для каждого теплообменника предварительного охлаждения, что приведет к увеличению капитальных затрат, занимаемой площади и сложности при эксплуатации, что нежелательно.

[0020] Настоящее изобретение обеспечивает высокую эффективность, низкую капитальную стоимость, простоту в эксплуатации, небольшой размер рабочего участка и гибкий процесс ДСХ, что решает выше упомянутые проблемы, и обеспечивает значительные улучшения по сравнению с предшествующим уровнем техники.

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0021] Настоящее описание раскрытия изобретения предоставлено для введения выборки понятий в упрощенной форме, которые далее изложены ниже в подробном описании. Настоящее описание раскрытия изобретения не предназначено для определения ключевых признаков или существенных признаков заявленного предмета изобретения и не предназначено для ограничения объема заявленного предмета изобретения.

[0022] Некоторые варианты воплощения изобретения, описанные ниже и определенные в соответствии с последующими пунктами формулы изобретения, включают усовершенствования части этапа предварительного охлаждения в процессе сжижения СПГ. Некоторые варианты воплощения изобретения удовлетворяют потребностям в данной области техники путем использования множества секций теплообмена для предварительного охлаждения на этапе предварительного охлаждения и введения потока хладагента, используемого для обеспечения холодоснабжения секций теплообмена для предварительного охлаждения, в систему компрессии при различных давлениях. Некоторые варианты воплощения изобретения удовлетворяют потребностям в данной области техники путем направления жидкой фракции потока хладагента на промежуточное охлаждение и разделение между ступенями сжатия системы компрессии.

[0023] Множество аспектов систем и способов изложены ниже.

[0024] Аспект 1: Способ охлаждения потока углеводородного сырья, включающего углеводородный флюид, и сырьевого потока второго хладагента, включающего второй хладагент, путем косвенного теплообмена с первым хладагентом в каждой из множества секций теплообмена, где способ включает:

- 5 (а) введение потока углеводородного сырья и сырьевого потока второго хладагента в самую теплую секцию теплообмена из множества секций теплообмена;
- (б) охлаждение потока углеводородного сырья и сырьевого потока второго хладагента в каждой из множества секций теплообмена, чтобы получить предварительно охлажденный углеводородный поток и предварительно охлажденный поток второго
- 10 хладагента;
- (в) дополнительное охлаждение и сжижение предварительно охлажденного углеводородного потока (206, 306, 406, 506) в основном теплообменнике в противотоке вторым хладагентом, чтобы получить сжиженный углеводородный поток;
- (г) выведение потока первого хладагента низкого давления из самой холодной секции
- 15 теплообмена из множества секций теплообмена и сжатие потока первого хладагента низкого давления, по меньшей мере, в одной ступени системы компрессии;
- (д) выведение потока первого хладагента среднего давления из первой секции теплообмена из множества секций теплообмена, причем первая секция теплообмена теплее, чем самая холодная секция теплообмена;
- 20 (е) объединение потока первого хладагента низкого давления и потока первого хладагента среднего давления, чтобы получить объединенный поток первого хладагента после выполнения этапов (г) и (д);
- (ж) выведение из системы компрессии потока первого хладагента очень высокого давления;
- 25 (з) охлаждение и, по меньшей мере, частичная конденсация потока первого хладагента очень высокого давления, по меньшей мере, в одном узле охлаждения, чтобы получить охлажденный поток первого хладагента очень высокого давления;
- (и) введение охлажденного потока первого хладагента очень высокого давления в первое устройства разделения жидкости и пара, чтобы получить первый поток пара
- 30 хладагента и первый поток жидкого хладагента;
- (к) введение первого потока жидкого хладагента в самую теплую секцию теплообмена из множества секций теплообмена;
- (л) охлаждение первого потока жидкого хладагента в самой теплой секции
- 35 теплообмена из множества секций теплообмена, чтобы получить первый охлажденный поток жидкого хладагента;
- (м) расширение, по меньшей мере, части первого охлажденного потока жидкого хладагента, чтобы получить первый дросселированный поток хладагента;
- (н) введение первого дросселированного потока хладагента в самую теплую секцию
- 40 теплообмена, чтобы обеспечить холодоснабжение, необходимое для первой части охлаждения этапа (б);
- (о) сжатие, по меньшей мере, части первого потока пара хладагента из этапа (и), по меньшей мере, в одной ступени сжатия;
- (п) охлаждение и конденсация сжатого потока первого хладагента, по меньшей мере, в одном узле охлаждения, чтобы получить конденсированный поток первого хладагента,
- 45 по меньшей мере, в одном узле охлаждения, находящемся ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде, по меньшей мере, с одной ступенью сжатия этапа (о);
- (р) введение конденсированного потока первого хладагента в самую теплую секцию теплообмена из множества секций теплообмена;

(с) охлаждение конденсированного потока первого хладагента в первой секции теплообмена и самой холодной секции теплообмена, чтобы получить первый охлажденный конденсированный поток хладагента;

5 (т) расширение первого охлажденного конденсированного потока хладагента, чтобы получить второй дросселированный поток хладагента; и

(у) введение второго дросселированного потока хладагента в самую холодную секцию теплообмена, чтобы обеспечить холодоснабжение для второй части охлаждения этапа (б).

10 [0025] Аспект 2: Способ по Аспекту 1, где этап (д) дополнительно включает выведение потока первого хладагента среднего давления из первой секции теплообмена из множества секций теплообмена, причем первая секция теплообмена теплее, чем самая холодная секция теплообмена, где первая секция теплообмена также является самой теплой секцией теплообмена.

15 [0026] Аспект 3: Способ по любому одному из аспектов 1-2, где этап (о) дополнительно включает сжатие первого потока пара хладагента из этапа (и), по меньшей мере, в одной ступени сжатия, чтобы получить сжатый поток первого хладагента этапа (п).

[0027] Аспект 4: Способ по любому одному из аспектов 1-3, дополнительно включающий сжатие объединенного потока первого хладагента из этапа (е), по меньшей мере, в одной ступени сжатия системы компрессии перед выполнением этапа (ж).

20 [0028] Аспект 5: Способ по любому одному из аспектов 1-4, где этап (д) дополнительно включает выведение потока первого хладагента среднего давления из первой секции теплообмена из множества секций теплообмена и сжатие потока первого хладагента среднего давления, по меньшей мере, в одной ступени сжатия системы компрессии, причем первая секция теплообмена теплее, чем самая холодная секция теплообмена.

25 [0029] Аспект 6: Способ по любому одному из аспектов 1-5, дополнительно включающий:

(ф) выведение первого промежуточного потока хладагента из системы компрессии перед этапом (ж); и

30 (х) охлаждение первого промежуточного потока хладагента, по меньшей мере, в одном узле охлаждения, чтобы получить охлажденный первый промежуточный поток хладагента и введение охлажденного первого промежуточного потока хладагента в систему компрессии перед этапом (ж).

[0030] Аспект 7: Способ по любому одному из аспектов 1-6, дополнительно включающий:

35 (ф) выведение потока первого хладагента высокого давления из самой теплой секции теплообмена из множества секций теплообмена; и

(х) введение потока первого хладагента высокого давления в систему компрессии перед этапом (ж).

[0031] Аспект 8: Способ по аспекту 7, дополнительно включающий:

40 (ц) выведение потока первого хладагента высокого давления из самой теплой секции теплообмена из множества секций теплообмена; и

(ч) объединение потока первого хладагента высокого давления с охлажденным первым промежуточным потоком хладагента с образованием объединенного первого промежуточного потока хладагента и введение объединенного первого промежуточного

45 потока хладагента в систему компрессии перед этапом (ж).

[0032] Аспект 9: Способ по любому одному из Аспектов 1-8, где этап (о) дополнительно включает:

(ф) выведение второго промежуточного потока хладагента из системы компрессии;

и

(х) охлаждение второго промежуточного потока хладагента, по меньшей мере, в одном узле охлаждения, чтобы получить охлажденный второй промежуточный поток хладагента.

5 [0033] Аспект 10: Способ по Аспекту 9, дополнительно включающий:

(ц) введение охлажденного второго промежуточного потока хладагента во второе устройство разделения жидкости и пара, чтобы получить второй поток пара хладагента и второй поток жидкого хладагента.

10 (ч) введение второго потока жидкого хладагента в самую теплую секцию теплообмена из множества секций теплообмена; и

(ш) сжатие второго потока пара хладагента, по меньшей мере, в одной ступени сжатия системы компрессии перед получением сжатого потока первого хладагента этапа (п).

15 [0034] Аспект 11: Способ по любому одному из Аспектов 1-10, где этап (с) дополнительно включает охлаждение конденсированного потока первого хладагента в самой теплой секции перед охлаждением в первой секции теплообмена.

[0035] Аспект 12: Способ по любому одному из Аспектов 1-11, где поток первого хладагента низкого давления из этапа (г), объединенный поток первого хладагента из этапа (е), и первый поток пара хладагента из этапа (и) сжимают в множества ступенях 20 сжатия одного компрессора.

[0036] Аспект 13: Способ по любому одному из Аспектов 1-12, где первый поток жидкого хладагента имеет первый состав, состоящий из меньше, чем 50% этана и более легких компонентов.

25 [0037] Аспект 14: Способ по любому одному из Аспектов 1-13, где первый поток пара хладагента имеет второй состав, состоящий, больше, чем на 40% из компонентов, легче этана.

[0038] Аспект 15: Установка для охлаждения потока углеводородного сырья, содержащая:

30 множество секций теплообмена, содержащих самую теплую секцию теплообмена и самую холодную секцию теплообмена;

первый углеводородный контур, который проходит через каждую из множества секций теплообмена, при этом первый углеводородный контур находится ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде с источником подачи углеводородного флюида;

35 контур второго хладагента, который проходит через каждую из множества секций теплообмена, причем контур второго хладагента содержит второй хладагент;

первый контур предварительного охлаждения хладагента, который проходит через самую теплую секцию теплообмена, причем первый контур предварительного охлаждения хладагента содержит первый хладагент;

40 второй контур предварительного охлаждения хладагента, который проходит через самую теплую секцию теплообмена и самую холодную секцию теплообмена, причем второй контур предварительного охлаждения хладагента содержит первый хладагент;

впуск в первый контур предварительного охлаждения хладагента, расположенный на верхнем по потоку конце первого контура предварительного охлаждения хладагента, 45 первое устройство понижения давления, расположенное на нижнем по потоку нижнем по потоку конце первого контура предварительного охлаждения хладагента, и первый канал дросселированного хладагента ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде с первым устройством понижения давления и первым холодным контуром самой

теплой секции теплообмена;

впуск во второй контур предварительного охлаждения хладагента, расположенный на верхнем по потоку конце второго контура предварительного охлаждения хладагента, второе устройство понижения давления, расположенное на нижнем по потоку конце второго контура предварительного охлаждения хладагента, и второй канал дросселированного хладагента ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде с первым устройством понижения давления и вторым холодным контуром самой холодной секции теплообмена;

систему компрессии, содержащую:

канал первого хладагента низкого давления в сообщении по текучей среде с первой ступенью сжатия и теплым концом самой холодной секции теплообмена;

канал первого хладагента среднего давления в сообщении по текучей среде со второй ступенью сжатия и теплым концом первой секции теплообмена;

первый вторичный охладитель ниже по потоку от второй ступени сжатия;

первое устройство разделения жидкости и пара, имеющее первый впуск в сообщении по текучей среде с и находящееся ниже по потоку от первого вторичного охладителя, первый выпуск для пара, расположенный в верхней половине первого устройства разделения жидкости и пара, первый выпуск для жидкости, расположенный в нижней половине первого устройства разделения жидкости и пара, первый выпуск для жидкости, находящийся выше по потоку от и в сообщении по текучей среде с выпуском первого контура предварительного охлаждения хладагента;

третья ступень сжатия ниже по потоку от первого выпуска для пара; и

второй вторичный охладитель ниже по потоку от третьей ступени сжатия;

где самая теплая секция теплообмена сконфигурирована с возможностью частичного предварительного охлаждения углеводородного флюида, протекающего через первый углеводородный контур, второго хладагента, протекающего через контур второго хладагента, первого хладагента, протекающего через первый контур предварительного охлаждения первого хладагента и второй контур предварительного охлаждения хладагента, в противотоке с первым хладагентом, протекающим через первый холодный контур самой теплой секции теплообмена; и

где самая холодная секция теплообмена сконфигурирована с возможностью предварительного охлаждения углеводородного флюида, протекающего через первый углеводородный контур, чтобы предварительно охлаждать углеводородный поток, предварительно охлаждать второй хладагент, протекающий через контур второго хладагента, и предварительно охлаждать первый хладагент, протекающий через второй контур предварительного охлаждения хладагента, в противотоке с первым хладагентом, протекающим через первый холодный контур самой холодной секции теплообмена.

[0039] Аспект 16: Установка по Аспекту 15, где первая секция теплообмена является самой теплой секцией теплообмена из множества секций теплообмена.

[0040] Аспект 17: Установка по любому одному из Аспектов 15-16, где первая ступень сжатия, вторая ступень сжатия и третья ступень сжатия расположены в одном корпусе первого компрессора.

[0041] Аспект 18: Установка по любому одному из Аспектов 15-17, дополнительно содержащая:

основной теплообменник, имеющий второй углеводородный контур, находящийся ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде с первым углеводородным контуром в множества секциях теплообмена, основной теплообменник, сконфигурированный с возможностью, по меньшей мере, частично сжижать предварительно охлажденный

углеводородный поток косвенным теплообменом в противотоке со вторым хладагентом.

[0042] Аспект 19: Установка по любому одному из Аспектов 15-18, где система компрессии дополнительно содержит первый промежуточный охладитель ниже по потоку от второй ступени сжатия и канал охлажденного первого промежуточного хладагента ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде с первым промежуточным охладителем.

[0043] Аспект 20: Установка по Аспекту 19, дополнительно содержащая канал первого хладагента высокого давления, находящийся в сообщении по текучей среде с теплым концом самой теплой секции теплообмена и каналом охлажденного первого промежуточного хладагента.

[0044] Аспект 21: Установка по Аспекту 20, дополнительно содержащая: третий вторичный охладитель ниже по потоку от первого устройства разделения жидкости и пара; и

второе устройство разделения жидкости и пара, имеющее третий выпуск в сообщении по текучей среде с и ниже по потоку от третьего вторичного охладителя, второй выпуск для пара, расположенный в верхней половине второго устройства разделения жидкости и пара, второй выпуск для жидкости, расположенный в нижней половине второго устройства разделения жидкости и пара.

[0045] Аспект 22: Установка по любому одному из Аспектов 15-21, где множество секций теплообмена являются несколькими секциями первого теплообменника.

[0046] Аспект 23: Установка по любому одному из Аспектов 15-22, где из множества секций теплообмена, каждая включает спирально-витой теплообменник.

[0047] Аспект 24: Установка по любому одному из Аспектов 15-23, где основной теплообменник является спирально-витым теплообменником.

[0048] Аспект 25: Установка по любому одному из Аспектов 15-24, где второй контур предварительного охлаждения хладагента проходит через самую теплую секцию теплообмена, первую секцию теплообмена и самую холодную секцию теплообмена.

[0049] Аспект 26: Установка по любому одному из Аспектов 15-25, где первый хладагент, находящийся во втором контуре предварительного охлаждения хладагента, имеет более высокую концентрацию этана и более легких углеводородов, чем первый хладагент, находящийся в первом контуре предварительного охлаждения хладагента.

[0050] Аспект 27: Установка по любому одному из Аспектов 15-26, где первый холодный контур самой теплой секции теплообмена представляет собой межтрубное пространство самой теплой секции теплообмена и первый холодный контур самой холодной секции теплообмена представляет собой межтрубное пространство самой холодной секции теплообмена.

[0051] Аспект 28: Установка по любому одному из Аспектов 15-27, дополнительно содержащая третий контур предварительного охлаждения хладагента, который проходит через, по меньшей мере, самую теплую секцию теплообмена и первую секцию теплообмена, причем третий контур предварительного охлаждения хладагента содержит первый хладагент.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0052] ФИГ. 1 является схематической технологической схемой системы ДСХ в соответствии с предшествующим уровнем техники;

[0053] ФИГ. 2 является схематической технологической схемой системы предварительного охлаждения системы ДСХ в соответствии с первым примерным вариантом воплощения изобретения;

[0054] ФИГ. 3 является схематической технологической схемой системы

предварительного охлаждения системы ДСХ в соответствии со вторым примерным вариантом воплощения изобретения;

[0055] ФИГ. 4 является схематической технологической схемой системы предварительного охлаждения системы ДСХ в соответствии с третьим примерным вариантом воплощения изобретения; и

[0056] ФИГ. 5 является схематической технологической схемой системы предварительного охлаждения системы ДСХ в соответствии с четвертым примерным вариантом воплощения изобретения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0057] В последующем подробном описании представлены только предпочтительные примерные варианты воплощения изобретения, и они не предназначены для ограничения объема, применимости или конфигурации заявленного изобретения. Скорее, последующее подробное описание предпочтительных примерных вариантов воплощения изобретения предоставит специалистам в данной области техники описание для реализации предпочтительных примерных вариантов осуществления заявленного изобретения. Различные изменения могут быть внесены в функцию и расположение элементов без отклонения от сущности и объема заявленного изобретения.

[0058] Номера позиций, которые вводятся в описание в сочетании с чертежом на фигуре, могут повторяться в одной или более последующих фигур без дополнительного указания в описании, чтобы обеспечить контекст для других характеристик.

[0059] Термин «флюид», используемый в описании и формуле изобретения, относится к газу и/или жидкости.

[0060] Термин «сообщение по текучей среде», используемый в описании и формуле изобретения, относится к характеру связи между двумя или более компонентами, что позволяет транспортировать жидкости, пары и/или двухфазные смеси между компонентами контролируемым образом (то есть, без утечки) прямо или косвенно. Попарное соединение двух или более компонентов, таких, что они находятся в сообщении по текучей среде друг с другом, может включать любой подходящий способ, известный в данной области техники, например, с использованием сварных швов, фланцевых трубопроводов, прокладок и болтов. Два или более компонентов также могут быть попарно соединены друг с другом с помощью других компонентов системы, которые могут разделять их, например, клапанов, вентилях или других устройств, которые могут выборочно ограничить или направить поток флюида.

[0061] Термин «канал», используемый в описании и формуле изобретения, относится к одной или более структур, через которые флюиды можно транспортировать между двумя или более компонентами системы. Например, каналы могут включать трубопроводы, воздухопроводы, проходы и их комбинации, посредством которых транспортируют жидкости, пары и/или газы.

[0062] Термин «природный газ», используемый в описании и формуле изобретения, означает углеводородную газовую смесь, состоящую в основном из метана.

[0063] Термины «углеводородный газ» или «углеводородный флюид», используемые в описании и формуле изобретения, означают газ или флюид, содержащий, по меньшей мере, один углеводород, который составляет, по меньшей мере, 80%, а более предпочтительно, по меньшей мере, 90% от общего состава газа или флюида.

[0064] Термин «смешанный хладагент» (сокращенно «СХ»), используемый в описании и формуле изобретения, означает флюид, содержащий, по меньшей мере, два углеводорода, составляющие, по меньшей мере, 80% от общего состава хладагента.

[0065] Термин «тяжелый смешанный хладагент», используемый в описании и формуле

изобретения, означает СХ, в котором углеводороды, по меньшей мере, такие тяжелые как этан, составляют, по меньшей мере, 80% от общего состава СХ. Предпочтительно, углеводороды, по меньшей мере, такие тяжелые как бутан, составляют, по меньшей мере, 10% от общего состава смешанного хладагента.

5 [0066] Термины «пучок» и «трубный пучок» используются взаимозаменяемо в этой заявке и являются синонимами.

[0067] Термин «флюид при окружающей среде», используемый в описании и формуле изобретения, означает флюид, который подают в систему при или около давления и температуры окружающей среды.

10 [0068] В формуле изобретения буквы используются для идентификации заявленных этапов (например, (а), (б) и (в)). Эти буквы используются для удобства обращения к этапам способа и не предназначены для указания порядка, в котором выполняются заявленные этапы, если не указано иное и только в той степени, в которой такой порядок конкретно изложен в формуле изобретения.

15 [0069] В описании и формуле изобретения могут использоваться термины, указывающие направления (например, вверх, вниз, слева, справа и тому подобное). Эти термины направления предназначены только для оказания помощи в описании примерных вариантов воплощения изобретения и не предназначены для ограничения объема заявленного изобретения. Используемый в данном описании термин «выше по
20 потоку» означает в направлении, противоположном направлению потока флюида в канале, считая от точки отсчета. Аналогичным образом, термин «ниже по потоку» означает в направлении, которое совпадает с направлением потока флюида в канале, считая от точки отсчета.

[0070] Используемые в описании и формуле изобретения термины «очень высокий»,
25 «высокий», «средний», «низкий» и «очень низкий» предназначены для выражения относительных значений свойства элементов, с которыми эти термины используются. Например, термин поток очень высокого давления предназначен для обозначения потока, имеющего более высокое давление, чем соответствующий поток высокого
30 давления или поток среднего давления или поток низкого давления, приведенные в описании или формуле изобретения в этой заявке. Аналогично, термин поток высокого давления предназначен для обозначения потока, имеющего более высокое давление, чем соответствующий поток среднего давления или поток низкого давления, приведенные в описании или формуле изобретения, но ниже чем соответствующий
35 поток очень высокого давления, приведенный в описании или формуле изобретения этой заявки. Аналогично, термин поток среднего давления предназначен для обозначения потока, имеющего более высокое давление, чем соответствующий поток низкого давления, приведенный в описании или формуле изобретения, но ниже, чем соответствующий поток высокого давления, приведенный в описании или формуле изобретения этой заявки.

40 [0071] Если не указано иное, то любой и все проценты, определенные в описании, на чертежах и в формуле изобретения следует понимать, как массовая процентная концентрация. Если не указано иное, то любое и все давления, определенные в описании, на чертежах и в формуле изобретения, следует понимать, как среднее абсолютное давление.

45 [0072] Используемый здесь термин «криоген» или «криогенный флюид» предназначен обозначать жидкость, газ или флюид смешанной фазы с температурой меньше, чем -70°C. Примеры криогенов включают жидкий азот (ЖА), сжиженный природный газ (СПГ), жидкий гелий, жидкий диоксид углерода и криогены смешанной фазы под

давлением (например, смесь ЖА и газообразного азота). Используемый здесь термин «криогенная температура» означает температуру ниже -70°C .

[0073] Используемый в описании и формуле изобретения термин «секция теплообмена» определяется как секция, имеющая теплый конец и холодный конец; где отдельный
5 поток холодного хладагента (при температуре, отличной от окружающей среды) вводится на холодном конце секции теплообмена и теплый поток первого хладагента выводится с теплого конца секции теплообмена. Множество секций теплообмена могут, необязательно, размещаться в одном или более теплообменников. В случае кожухотрубного теплообменника или спирально-витого теплообменника множество
10 секций теплообмена могут размещаться в пределах одного корпуса.

[0074] Используемая в описании и формуле изобретения «температура» секции теплообмена определяется температурой углеводородного потока на выпуске из этой секции теплообмена. Например, термины «самая теплая» «теплее», «самая холодная» и «холоднее» при использовании в отношении секции теплообмена представляют
15 температуру на выпуске углеводородного потока из этой секции теплообмена относительно температур углеводородного потока на выпуске из других секций теплообмена. Например, выражение самая теплая секция теплообмена указывает секцию теплообмена, где углеводородный поток на выпуске имеет температуру теплее, чем температура углеводородного потока на выпуске из любых других секций теплообмена.

[0075] Используемый в описании и формуле изобретения термин «система компрессии» означает одну или более ступеней сжатия. Например, система компрессии может включать множество ступеней сжатия в одном компрессоре. В альтернативном примере система компрессии может включать множество компрессоров.

[0076] Если не указано иное, то введение потока в месте означает введение по существу
25 всего указанного потока в этом месте. Следует понимать, что все потоки, обсуждаемые в описании и показанные на чертежах (как правило, обозначены линией со стрелкой, показывающей общее направление потока флюида во время нормальной работы), должны находиться в соответствующем канале. Следует понимать, что каждый канал имеет, по меньшей мере, один впуск и, по меньшей мере, один выпуск. Кроме того,
30 следует понимать, что каждая часть оборудования имеет, по меньшей мере, один впуск и, по меньшей мере, один выпуск.

[0077] В Таблице 1 приведен перечень сокращений, используемых в описании и на чертежах с целью лучшего объяснения описанных вариантов воплощения изобретения.

35

Таблица 1			
ОСХ	Цикл с одноконтурным охлаждением смешанным хладагентом	СХ	Смешанный хладагент
ДСХ	Цикл с двухконтурным охлаждением смешанным хладагентом	ХСХ	Холодный смешанный хладагент
ЦЗСХ	Охлаждение смешанным хладагентом с предварительным трехуровневым охлаждением пропаном	ТСХ	Теплый смешанный хладагент
СПГ	Сжиженный природный газ	СХЖ	Жидкий смешанный хладагент
ОКТ	Основной криогенный теплообменник	СХП	Пар смешанного хладагента

40

[0078] На ФИГ. 2 показан первый вариант воплощения изобретения. Для простоты только система предварительного охлаждения 234 изображена на ФИГ. 2 и последующих
45 фигурах. Поток ТСХ низкого давления 210 выводят из теплого конца межтрубного пространства второго теплообменника предварительного охлаждения 262 и сжимают в первой ступени сжатия 212А компрессора ТСХ 212. Поток ТСХ среднего давления 218 выводят из теплого конца межтрубного пространства первого теплообменника предварительного охлаждения 260 и вводят как боковой поток в компрессор ТСХ 212,

где он смешивается со сжатым потоком (не показано) с первой ступени сжатия 212А. Смешанный поток (не показан) сжимают во второй ступени сжатия ТСХ 212В компрессора ТСХ 212, чтобы получить поток ТСХ очень высокого давления 270. Любую жидкость, присутствующую в потоке ТСХ низкого давления 210 и потоке ТСХ среднего давления 218 удаляют в устройствах разделения жидкости и пара (не показаны) перед введением в компрессор ТСХ 212.

[0079] Поток ТСХ очень высокого давления 270 может иметь давление в диапазоне 5 бар (0,5 МПа) -40 бар (4МПа) и предпочтительно в диапазоне 15 бар (1,5 МПа) -30 бар (3 МПа). Поток очень высокого давления 270 выводят из компрессора ТСХ 212, и охлаждают и частично конденсируют в промежуточном охладителе ТСХ очень высокого давления 271, чтобы получить охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 272. Промежуточный охладитель ТСХ очень высокого давления 271 может быть любым подходящим типом охладительного оборудования, таким как наружный охладитель, в котором используется воздух или вода, и может включать один или более теплообменников. Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 272 может содержать паровую фракцию с долей в диапазоне (0,2-0,8), предпочтительно (0,3-0,7), и более предпочтительно в диапазоне (0,4-0,6). Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 272 разделяют на фазы в первом устройстве разделения ТСХ на жидкость и пар 273, чтобы получить первый поток ТСХП 274 и первый поток ТСХЖ 275.

[0080] Первый поток ТСХЖ 275 содержит меньше, чем 50% этана и более легких углеводородов, предпочтительно меньше, чем 45% этана и более легких углеводородов и более предпочтительно, меньше, чем 40% этана и более легких углеводородов. Первый поток ТСХП 274 содержит больше, чем 40% этана и более легких углеводородов, предпочтительно больше, чем 45% этана и более легких углеводородов и более предпочтительно, больше, чем 50% этана и более легких углеводородов. Первый поток ТСХЖ 275 вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 260, чтобы охладить в трубном пространстве и получить первый дополнительно охлажденный поток ТСХ 236 (также называемый здесь охлажденным потоком жидкого хладагента), который расширяют в первом дроссельном устройстве ТСХ 226 (также называемом здесь устройством понижения давления), чтобы получить первый дросселированный поток ТСХ 228, который обеспечивает холодоснабжение для первого теплообменника предварительного охлаждения 260. Примеры подходящих дроссельных устройств включают клапан Джоуля-Томсона (J-T) и турбину.

[0081] Первый поток ТСХП 274 вводят в компрессор ТСХ 212, чтобы сжать на третьей ступени сжатия ТСХ 212С компрессора ТСХ 212 с получением сжатого потока ТСХ 214. Сжатый поток ТСХ 214 охлаждают и предпочтительно конденсируют во вторичном охладителе ТСХ 215, чтобы получить первый охлажденный сжатый поток ТСХ 216 (также называемый сжатым потоком первого хладагента), который вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 260 для дополнительного охлаждения в трубном пространстве, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток ТСХ 217. Первый предварительно охлажденный поток ТСХ 217 вводят во второй теплообменник предварительного охлаждения 262, чтобы дополнительно охладить в трубном пространстве с получением второго дополнительно охлажденного потока ТСХ 237. Второй дополнительно охлажденный поток ТСХ 237 расширяют во втором дроссельном устройстве ТСХ 230 (также называемом здесь устройством понижения давления), чтобы получить второй дросселированный поток ТСХ 232, который вводят в межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения 262, чтобы обеспечить холодоснабжение.

[0082] Первый охлажденный сжатый поток ТСХ 216 может быть полностью или частично конденсированным. В предпочтительном варианте воплощения изобретения первый охлажденный сжатый поток ТСХ 216 является полностью конденсированным. Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 272 может включать меньше, чем

- 5 10% компонентов легче, чем этан, предпочтительно, меньше 5% компонентов, легче этана и более предпочтительно, менее 2% компонентов, легче этана. Легкие компоненты накапливаются в первом потоке ТСХП 274, который может содержать меньше, чем 20% компонентов, легче этана, предпочтительно меньше, чем 15% компонентов легче этана и более предпочтительно, меньше, чем 10% компонентов легче этана.
- 10 Следовательно, можно полностью сконденсировать сжатый поток ТСХ 214, чтобы получить полностью конденсированный первый охлажденный сжатый поток ТСХ 216 без необходимости сжимать его до очень высокого давления. Сжатый поток ТСХ 214 может находиться при давлении в диапазоне 300 фунт/кв. дюйм (21 бар; 2,1 МПа) - 600 фунт/кв. дюйм (41 бар; 4,1 МПа), и предпочтительно в диапазоне 400 фунт/кв. дюйм
- 15 (28 бар; 2,8 МПа) - 500 фунт/кв. дюйм (35 бар; 3,5 МПа). Если второй теплообменник предварительного охлаждения 262 был бы теплообменником сжижения, используемым для полного сжижения природного газа, то охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 272 содержал бы азот и метан в более высокой концентрации и, следовательно, давление сжатого потока ТСХ 214 должно было быть выше, чтобы первый охлажденный
- 20 сжатый поток ТСХ 216 полностью сконденсировался. Поскольку этого может быть невозможно достичь, первый охлажденный сжатый поток ТСХ 216 не будет полностью конденсированным и будет содержать пар в значительной концентрации, что может потребовать отдельного сжижения.

- [0083] Сырьевой поток природного газа 202 (называемый в формуле изобретения
- 25 потоком углеводородного сырья) охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 260, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток природного газа 204 при температуре ниже 20°C, предпочтительно, ниже примерно 10°C, и более предпочтительно, ниже примерно 0°C. Как известно в этой области техники, сырьевой поток природного газа 202 предпочтительно
- 30 предварительно обрабатывают, чтобы удалить влагу и другие примеси, такие как кислотные газы, ртуть и другие загрязняющие вещества. Первый предварительно охлажденный поток природного газа 204 охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 262, чтобы получить второй предварительно
- охлажденный поток природного газа 206 при температуре ниже 10°C, предпочтительно, ниже примерно 0°C, более предпочтительно, ниже примерно -30°C, в зависимости от
- 35 температуры окружающей среды, состава и давления сырьевого природного газа. Второй предварительно охлажденный поток природного газа 206 может быть частично конденсированным. Второй предварительно охлажденный поток природного газа 206 направляют в ОКТ (164 на ФИГ. 1) и сжижают до температуры в диапазоне от
- 40 приблизительно -150°C до приблизительно -70°C, предпочтительно в диапазоне от примерно -145°C до примерно -100°C, и затем переохлаждают, чтобы получить поток СПГ (поток 108 на ФИГ.1; называемый сжиженным углеводородным потоком в формуле изобретения) при температуре в диапазоне от примерно -170°C до примерно -120°C, предпочтительно в диапазоне от примерно -170°C до примерно -140°C. Сжатый
- 45 охлажденный поток ХСХ 244 (также называемый сырьевым потоком второго хладагента) охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 260, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток ХСХ 246. Сжатый охлажденный поток ХСХ 244 может содержать больше, чем 40% компонентов, легче

этана, предпочтительно больше, чем 45% компонентов, легче этана и, более предпочтительно, больше, чем 50% компонентов, легче этана. Первый предварительно охлажденный поток ХСХ 246 охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 262, чтобы получить второй предварительно охлажденный поток ХСХ 248 (также называемый предварительно охлажденным потоком второго хладагента).

[0084] Хотя на ФИГ. 2 показаны два теплообменника предварительного охлаждения и два уровня давления в контуре предварительного охлаждения, можно использовать любое количество теплообменников предварительного охлаждения и уровней давления. Показанные на ФИГ. 2 теплообменники предварительного охлаждения являются спирально-витыми теплообменниками. Однако, они могут быть пластинчатыми и ребристыми теплообменниками, кожухотрубными теплообменниками или любым другим типом теплообменника, пригодным для предварительного охлаждения природного газа.

[0085] Два теплообменника предварительного охлаждения (260, 262) на ФИГ. 2 могут быть двумя секциями теплообмена внутри одного теплообменника. Альтернативно, два теплообменника предварительного охлаждения могут быть двумя теплообменниками, каждый с одной или более секций теплообмена.

[0086] Необязательно, часть первого предварительно охлажденного потока ТСХ 217 может быть смешана с первым дополнительно охлажденным потоком ТСХ 236 перед расширением в первом дроссельном устройстве ТСХ 226, чтобы обеспечить дополнительное холодоснабжение в первом теплообменнике предварительного охлаждения 260 (показано пунктирной линией 217а).

[0087] Хотя на ФИГ. 2 показаны три ступени сжатия, можно выполнять любое число ступеней сжатия. Кроме того, ступени сжатия 212А, 212В и 212С могут впускать как часть в один корпус компрессора, или могут представлять собой множество отдельных компрессоров. Дополнительно, теплообменники промежуточного охлаждения можно установить между ступенями. Компрессор ТСХ 212 может быть компрессором любого типа, например, центробежным, осевым компрессором, объемным компрессором или любым другим типом компрессора.

[0088] В варианте воплощения изобретения, показанном на ФИГ. 2, самой теплой секцией теплообмена является первый теплообменник предварительного охлаждения 260, и самой холодной секцией теплообмена является второй теплообменник предварительного охлаждения 262.

[0089] Достоинством схемы, показанной на ФИГ. 2, является то, что поток хладагента ТСХ разделяют на две части; первый поток ТСХЖ 275 с более тяжелыми углеводородами и первый поток ТСХП 274 с более легкими компонентами. Первый теплообменник предварительного охлаждения 260 охлаждается с использованием первого потока ТСХЖ 275 и второй теплообменник предварительного охлаждения 262 охлаждается с использованием потока ТСХП 274. Поскольку первый теплообменник предварительного охлаждения 260 охлаждает до более теплой температуры, чем второй теплообменник предварительного охлаждения 262, более тяжелые углеводороды в ТСХ требуются в первом теплообменнике предварительного охлаждения 260, в то время как более легкие углеводороды в ТСХ требуются для обеспечения более глубокого охлаждения во втором теплообменнике предварительного охлаждения 262. Поэтому схема, показанная на ФИГ. 2, приводит к улучшенной эффективности процесса и, следовательно, снижению количества энергии, требуемого для предварительного охлаждения, при такой же тепловой нагрузке для предварительного охлаждения. При заданной холодопроизводительности и расходе сырья можно получить более низкие

температуры предварительного охлаждения. Следовательно, эта схема также позволяет перенести тепловую нагрузку при охлаждении с системы сжижения на систему предварительного охлаждения, таким образом, снижая потребность в энергии системы сжижения и уменьшая размер ОКТ. Кроме того, состав ТСХ и давления на разных ступенях сжатия компрессора ТСХ 212 можно оптимизировать, чтобы получить оптимальную паровую фракцию в охлажденном потоке ТСХ очень высокого давления 272, что ведет к дополнительному улучшению эффективности процесса. В предпочтительном варианте воплощения изобретения три ступени сжатия компрессора ТСХ 212 (212А, 212В и 212С) выполняют в одном корпусе компрессора, таким образом, сводя к минимуму капитальные затраты.

[0090] На ФИГ. 3 показан второй вариант воплощения изобретения. Поток ТСХ низкого давления 310 сжимают в компрессоре ТСХ низкого давления 311, чтобы получить первый поток ТСХ высокого давления 313. Поток ТСХ среднего давления 318 сжимают в компрессоре ТСХ среднего давления 321, чтобы получить второй поток ТСХ высокого давления 323. Первый поток ТСХ высокого давления 313 и второй поток ТСХ высокого давления 323 смешивают, чтобы получить поток ТСХ очень высокого давления 370 при давлении в диапазоне 5 бар (0,5 МПа) - 25 бар (2,5 МПа) и предпочтительно в диапазоне 10 бар (1 МПа) - 20 бар (2,0 МПа). Поток ТСХ очень высокого давления 370 охлаждают в промежуточном охладителе ТСХ очень высокого давления 371, чтобы получить охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 372. Промежуточный охладитель ТСХ очень высокого давления 371 может быть наружным охладителем, который охлаждает в противотоке воздухом или водой и может включать множество теплообменников. Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 372 может содержать паровую фракцию с долей в диапазоне (0,3-0,9), предпочтительно в диапазоне (0,4-0,8), и более предпочтительно, в диапазоне (0,45-0,6). Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 372 разделяют на фазы в первом устройстве разделения ТСХ на жидкость и пар 373, чтобы получить первый поток ТСХП 374 и второй поток ТСХЖ 375.

[0091] Первый поток ТСХЖ 375 содержит меньше, чем 50% этана и более легких углеводородов, предпочтительно меньше, чем 45% этана и более легких углеводородов и более предпочтительно, меньше, чем 40% этана и более легких углеводородов. Первый поток ТСХП 374 содержит больше, чем 40% этана и более легких углеводородов, предпочтительно больше, чем 45% этана и более легких углеводородов и более предпочтительно, больше, чем 50% этана и более легких углеводородов. Первый поток ТСХЖ 375 вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения, чтобы охладить с получением первого дополнительно охлажденного потока ТСХ 336. Первый дополнительно охлажденный поток ТСХ 336 расширяют в первом дроссельном устройстве ТСХ 326, чтобы получить первый дросселированный поток ТСХ 328, который обеспечивает холодоснабжение для первого теплообменника предварительного охлаждения 360.

[0092] Первый поток ТСХП 374 сжимают в компрессоре ТСХ высокого давления 376, чтобы получить сжатый поток ТСХ 314. Сжатый поток ТСХ 314 охлаждают и предпочтительно конденсируют во вторичном охладителе ТСХ 315, чтобы получить первый охлажденный сжатый поток ТСХ 316, который вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 360 для дополнительного охлаждения в трубном контуре, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток ТСХ 317. Первый предварительно охлажденный поток ТСХ 317 вводят во второй теплообменник предварительного охлаждения 362, чтобы дополнительно охладить с получением

второго дополнительно охлажденного потока ТСХ 337. Второй дополнительно охлажденный поток ТСХ 337 расширяют во втором дроссельном устройстве ТСХ 330, чтобы получить второй дросселированный поток ТСХ 332, который вводят в межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения 362, чтобы обеспечить холодоснабжение.

[0093] Компрессор ТСХ низкого давления 311, компрессор ТСХ среднего давления 321 и компрессор ТСХ высокого давления 376 могут включать множество ступеней сжатия, необязательно, с теплообменниками промежуточного охлаждения. Компрессор ТСХ высокого давления 376 может впускать, как часть, в тот же корпус компрессора, что и компрессор ТСХ низкого давления 311 или компрессор ТСХ среднего давления 321. Компрессоры могут быть центробежными, осевыми компрессорами, объемными компрессорами или любым другим типом компрессора. Кроме того, вместо охлаждения потока ТСХ очень высокого давления 370 в промежуточном охладителе ТСХ очень высокого давления 371, первый поток ТСХ высокого давления 313 и второй поток ТСХ высокого давления 323 можно по отдельности охладить в отдельных теплообменниках (не показано). Первое устройство разделения ТСХ на жидкость и пар 373 может быть фазовым сепаратором. В альтернативном варианте воплощения изобретения первое разделительное устройство ТСХ на жидкость и пар 373 может быть дистилляционной колонной или колонной смешения с подходящим холодным потоком, вводимым в колонну.

[0094] Необязательно часть первого предварительно охлажденного потока ТСХ 317 может быть смешана с первым дополнительно охлажденным потоком ТСХ 336 перед расширением в первом дроссельном устройстве ТСХ 326, чтобы обеспечить дополнительное холодоснабжение для первого теплообменника предварительного охлаждения 360 (показано пунктирной линией 317а). Дополнительный вариант воплощения изобретения является вариацией ФИГ. 3 с контуром предварительного охлаждения с тремя ступенями сжатия. Этот вариант воплощения изобретения включает третий компрессор в дополнение к компрессору ТСХ низкого давления 311 и компрессору ТСХ среднего давления 321.

[0095] В варианте воплощения изобретения, показанном на ФИГ. 3, самой теплой секцией теплообмена является первый теплообменник предварительного охлаждения 360 и самой холодной секцией теплообмена является второй теплообменник предварительного охлаждения 362.

[0096] Аналогично ФИГ. 2, достоинство схемы, показанной на ФИГ. 3, заключается в том, что поток хладагента ТСХ разделяют на две части; первый поток ТСХЖ 375 с более тяжелыми углеводородами и первый поток ТСХП 374 с более легкими углеводородами. Поскольку первый теплообменник предварительного охлаждения 360 охлаждает до более теплой температуры, чем второй теплообменник предварительного охлаждения 362, более тяжелые углеводороды в ТСХ требуются в первом теплообменнике предварительного охлаждения 260, в то время как более легкие углеводороды в ТСХ требуются, чтобы обеспечить более глубокое охлаждение во втором теплообменнике предварительного охлаждения 262. Следовательно, схема, показанная на ФИГ. 3, приводит к улучшенной эффективности процесса и, следовательно, снижению энергии, требуемой для предварительного охлаждения, по сравнению с ФИГ. 1 предшествующего уровня техники. Эта схема также позволяет перенести тепловую нагрузку при охлаждении с системы сжижения на систему предварительного охлаждения, таким образом, снижая потребность в энергии системы сжижения и уменьшая размер ОКТ. Кроме того, состав ТСХ и давления на разных

ступенях сжатия компрессора можно оптимизировать, чтобы получить оптимальную паровую фракцию в охлажденном потоке ТСХ очень высокого давления 372, что ведет к дополнительному улучшению эффективности процесса.

[0097] Недостаток схемы, показанной на ФИГ. 3 по сравнению с ФИГ. 2 заключается в том, что она требует, по меньшей мере, два корпуса компрессора для параллельного сжатия ТСХ. Однако это полезно в сценариях, где присутствуют множество корпусов компрессоров для сжатия. В варианте воплощения изобретения, показанном на ФИГ. 3, поток ТСХ низкого давления 310 и поток ТСХ среднего давления 318 сжимают параллельно, что полезно в сценариях, где ограничения по размеру компрессора являются проблемой. Компрессор ТСХ низкого давления 311 и компрессор ТСХ среднего давления 321 могут быть сконструированы независимо друг от друга и могут иметь разное количество рабочих колес, разные коэффициенты сжатия и разные другие расчетные характеристики.

[0098] На ФИГ. 4 показан третий вариант воплощения изобретения для контура предварительного охлаждения с тремя ступенями сжатия. Поток ТСХ низкого давления 410 выводят с теплого конца межтрубного пространства третьего теплообменника предварительного охлаждения 464 и сжимают в первой ступени сжатия 412А компрессора ТСХ 412. Поток ТСХ среднего давления 418 выводят с теплого конца межтрубного пространства второго теплообменника предварительного охлаждения 462 и вводят как боковой поток в компрессор ТСХ 412, где его смешивают со сжатым потоком (не показано) с первой ступени сжатия 412А. Смешанный поток (не показан) сжимают во второй ступени сжатия 412В компрессора ТСХ 412, чтобы получить первый промежуточный поток ТСХ 425.

[0099] Первый промежуточный поток ТСХ 425 выводят из компрессора ТСХ 412, и охлаждают в промежуточном охладителе ТСХ высокого давления 427, который может быть наружным охладителем, чтобы получить охлажденный первый промежуточный поток ТСХ 429. Поток ТСХ высокого давления 419 выводят с теплого конца межтрубного пространства первого теплообменника предварительного охлаждения 460 и смешивают с охлажденным первым промежуточным потоком ТСХ 429, чтобы получить смешанный поток ТСХ высокого давления 431. Любую жидкость, присутствующую в потоке ТСХ низкого давления 410, потоке ТСХ среднего давления 418, потоке ТСХ высокого давления 419, и охлажденном первом промежуточном потоке ТСХ 429 можно удалить в устройствах разделения жидкости и пара (не показано). В альтернативном варианте воплощения изобретения поток ТСХ высокого давления 419 можно вводить в любое другое подходящее место в последовательности сжатия ТСХ, например, как боковой поток в компрессор ТСХ 412 или смешивать с любым другим потоком, впускающим в компрессор ТСХ 412.

[00100] Смешанный поток ТСХ высокого давления 431 вводят в компрессор ТСХ 412 и сжимают в третьей ступени сжатия 412С компрессора ТСХ 412, чтобы получить поток ТСХ очень высокого давления 470. Поток ТСХ очень высокого давления 470 может находиться при давлении в диапазоне 5 бар (0,5 МПа) - 35 бар (3,5 МПа) и предпочтительно в диапазоне 15 бар (1,5 МПа) - 25 бар (2,5 МПа). Поток ТСХ очень высокого давления 470 выводят из компрессора ТСХ 412, охлаждают и частично конденсируют в промежуточном охладителе ТСХ очень высокого давления 471, чтобы получить охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 472. Промежуточный охладитель ТСХ очень высокого давления 471 может быть наружным охладителем, в котором используется воздух или вода. Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 472 может содержать паровую фракцию с долей в диапазоне (0,2-0,8),

предпочтительно, в диапазоне (0,3-0,7), и более предпочтительно в диапазоне (0,4-0,6). Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 472 разделяют на фазы в первом устройстве разделения ТСХ на жидкость и пар 473, чтобы получить первый поток ТСХП 474 и первый поток ТСХЖ 475.

- 5 [00101] Первый поток ТСХЖ 475 содержит меньше, чем 50% этана и более легких углеводородов, предпочтительно меньше, чем 45% этана и более легких углеводородов и более предпочтительно, меньше, чем 40% этана и более легких углеводородов. Первый поток ТСХП 474 содержит больше, чем 40% этана и более легких углеводородов, предпочтительно больше, чем 45% этана и более легких углеводородов и более
- 10 предпочтительно, больше, чем 50% этана и более легких углеводородов. Первый поток ТСХЖ 475 вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 460, чтобы охладить с получением второго охлажденного сжатого потока ТСХ 420, который разделяют на две части; первую часть 422 и вторую часть 424. Первую часть второго охлажденного сжатого потока ТСХ 422 расширяют в первом дроссельном устройстве
- 15 ТСХ 426, чтобы получить первый дросселированный поток ТСХ 428, который обеспечивает холодоснабжение для первого теплообменника предварительного охлаждения 460. Вторую часть охлажденного сжатого потока ТСХ 424 дополнительно охлаждают в трубном контуре второго теплообменника предварительного охлаждения 462, чтобы получить второй дополнительно охлажденный поток ТСХ 437. Второй
- 20 дополнительно охлажденный поток ТСХ 437 расширяют во втором дроссельном устройстве ТСХ 430, чтобы получить второй дросселированный поток ТСХ 432, который вводят в межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения 462, чтобы обеспечить тепловую нагрузку.

- [00102] Первый поток ТСХП 474 вводят в компрессор ТСХ 412, чтобы сжать в
- 25 четвертой ступени ТСХ 412D с получением сжатого потока ТСХ 414. Сжатый поток ТСХ 414 охлаждают и предпочтительно конденсируют во вторичном охладителе ТСХ 415, чтобы получить первый охлажденный сжатый поток ТСХ 416, который вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 460, чтобы дополнительно охладить в трубном контуре и получить второй предварительно охлажденный поток
- 30 ТСХ 480. Второй предварительно охлажденный поток ТСХ 480 вводят во второй теплообменник предварительного охлаждения 462, чтобы дополнительно охладить и получить третий предварительно охлажденный поток ТСХ 481, который вводят в третий теплообменник предварительного охлаждения 464, чтобы дополнительно охладить и получить третий дополнительно охлажденный поток ТСХ 438. Третий
- 35 дополнительно охлажденный поток ТСХ 438 расширяют в третьем дроссельном устройстве ТСХ 482, чтобы получить третий дросселированный поток ТСХ 483, который вводят в межтрубное пространство третьего теплообменника предварительного охлаждения 464, чтобы обеспечить холодоснабжение.

- [00103] Необязательно, часть третьего предварительно охлажденного потока ТСХ
- 40 481 может быть смешана со вторым дополнительно охлажденным потоком ТСХ 437 перед расширением во втором дроссельном устройстве ТСХ 430 (показано пунктирной линией 481a), чтобы обеспечить дополнительное холодоснабжение для второго теплообменника предварительного охлаждения 462.

- [00104] Предварительно обработанный сырьевой поток 402 (также называемый
- 45 потоком углеводородного сырья) охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 460, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток природного газа 404. Первый предварительно охлажденный поток природного газа 404 охлаждают во втором теплообменнике предварительного

охлаждения 462, чтобы получить третий предварительно охлажденный поток природного газа 405, который дополнительно охлаждают в третьем теплообменнике предварительного охлаждения 464, чтобы получить второй предварительно охлажденный поток природного газа 406. Сжатый охлажденный поток ХСХ 444
 5 охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 460, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток ХСХ 446. Первый предварительно охлажденный поток ХСХ 446 охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 462, чтобы получить третий предварительно охлажденный поток ХСХ 447, который дополнительно охлаждают в третьем теплообменнике предварительного
 10 охлаждения 464, чтобы получить второй дополнительно охлажденный поток ХСХ 448.

[00105] Хотя на ФИГ. 4 показаны четыре ступени сжатия, количество ступеней сжатия может быть любым. Кроме того, ступени сжатия могут впускать в один корпус компрессора, или в множество компрессоров с промежуточным (но необязательно) охлаждением. Компрессор ТСХ 412 может быть компрессором любого типа, например,
 15 центробежным, осевым компрессором, объемным компрессором или любым другим типом компрессора.

[00106] В варианте воплощения изобретения, показанном на ФИГ. 4, самой теплой секцией теплообмена является первый теплообменник предварительного охлаждения 460 и самой холодной секцией теплообмена является третий теплообменник
 20 предварительного охлаждения 464.

[00107] Вариант воплощения изобретения, показанный на ФИГ. 4, обладает всеми достоинствами варианта воплощения изобретения, показанного на ФИГ. 2. Дополнительным вариантом воплощения изобретения является вариация схемы на ФИГ. 4, только с двумя теплообменниками предварительного охлаждения, так что
 25 весь второй охлажденный сжатый поток ТСХ 420 используется для обеспечения холодоснабжения для первого теплообменника предварительного охлаждения. Этот вариант воплощения изобретения исключает необходимость в дополнительном теплообменнике и снижает капитальные затраты.

[00108] На ФИГ. 5 показан четвертый вариант воплощения изобретения и вариация воплощения изобретения, показанного на ФИГ. 4 с тремя теплообменниками
 30 предварительного охлаждения. Поток ТСХ низкого давления 510 выводят с теплого конца межтрубного пространства третьего теплообменника предварительного охлаждения 564 и сжимают в первой ступени сжатия 512А компрессора ТСХ 512. Поток ТСХ среднего давления 518 выводят с теплого конца межтрубного пространства
 35 второго теплообменника предварительного охлаждения 562 и вводят как боковой поток в компрессор ТСХ 512, где его смешивают со сжатым потоком (не показано) из первой ступени сжатия 512А. Смешанный поток (не показан) сжимают во второй ступени сжатия 512В компрессора ТСХ 512, чтобы получить первый промежуточный поток ТСХ 525. Первый промежуточный поток ТСХ 525 охлаждают в промежуточном
 40 охладителе ТСХ высокого давления 527, который может быть наружным охладителем, чтобы получить охлажденный первый промежуточный поток ТСХ 529.

[00109] Любую жидкость, присутствующую в потоке ТСХ низкого давления 510, потоке ТСХ среднего давления 518 и потоке ТСХ высокого давления 519, можно удалить в устройствах разделения жидкости и пара (не показаны).

[00110] Поток ТСХ высокого давления 519 выводят с теплого конца межтрубного пространства первого теплообменника предварительного охлаждения 560 и смешивают с охлажденным первым промежуточным потоком ТСХ 529, чтобы получить смешанный
 45 поток ТСХ среднего давления 531.

[00111] Смешанный поток ТСХ среднего давления 531 вводят в компрессор ТСХ 512, чтобы сжать в третьей ступени сжатия 512С компрессора ТСХ 512 с получением потока ТСХ очень высокого давления 570. Поток ТСХ очень высокого давления 570 может иметь давление в диапазоне в диапазоне 5 бар (0,5 МПа) -35 бар (3,5 МПа) и предпочтительно в диапазоне 10 бар (1 МПа) -25 бар (2,5 МПа). Поток очень высокого давления 570 выводят из компрессора ТСХ 512 и охлаждают и частично конденсируют в промежуточном охладителе ТСХ очень высокого давления 571, чтобы получить охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 572. Промежуточный охладитель ТСХ очень высокого давления 571 может быть наружным охладителем, в котором используется воздух или вода. Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 572 может содержать паровую фракцию с долей в диапазоне (0,2-0,8), предпочтительно в диапазоне (0,3-0,7), и более предпочтительно в диапазоне (0,4-0,6). Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 572 разделяют на фазы в первом устройстве разделения ТСХ на жидкость и пар 573, чтобы получить первый поток ТСХП 574 и первый поток ТСХЖ 575.

[00112] Первый поток ТСХЖ 575 содержит меньше, чем 50% этана и более легких углеводородов, предпочтительно меньше, чем 45% этана и более легких углеводородов и более предпочтительно, меньше, чем 40% этана и более легких углеводородов. Первый поток ТСХП 574 содержит больше, чем 40% этана и более легких углеводородов, предпочтительно больше, чем 45% этана и более легких углеводородов и более предпочтительно, больше, чем 50% этана и более легких углеводородов. Первый поток ТСХЖ 575 вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 560, чтобы охладить в трубном пространстве и получить первый дополнительно охлажденный поток ТСХ 536. Первый дополнительно охлажденный поток ТСХ 536 расширяют в первом дроссельном устройстве ТСХ 526, чтобы получить первый дросселированный поток ТСХ 528. Первый дросселированный поток ТСХ 528 обеспечивает холодоснабжение для первого теплообменника предварительного охлаждения 560.

[00113] Первый поток ТСХП 574 вводят в компрессор 512 в четвертую ступень сжатия 512D, чтобы получить второй промежуточный поток ТСХ 590 при давлении в диапазоне 10 бар (1,0 МПа) - 50 бар (5,0 МПа) и предпочтительно в диапазоне 15 бар (1,5 МПа) -45 бар (4,5 МПа). Второй промежуточный поток ТСХ 590 выводят из компрессора ТСХ 512 и охлаждают и частично конденсируют в первом промежуточном охладителе ТСХП 591, чтобы получить охлажденный второй промежуточный поток ТСХ 592. Первый промежуточный охладитель ТСХП 591 может быть наружным охладителем, который охлаждает в противотоке воздухом или водой. Охлажденный второй промежуточный поток ТСХ 592 может содержать паровую фракцию с долей в диапазоне (0,2-0,8), предпочтительно в диапазоне (0,3-0,7) и более, предпочтительно, в диапазоне (0,4-0,6). Охлажденный второй промежуточный поток ТСХ 592 разделяют на фазы во втором устройстве разделения ТСХ на жидкость и пар 593, чтобы получить второй поток ТСХП 594 и второй поток ТСХЖ 595.

[00114] Второй поток ТСХЖ 595 охлаждают в трубном контуре первого теплообменника предварительного охлаждения 560, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток ТСХ 517. Первый предварительно охлажденный поток ТСХ 517 дополнительно охлаждают в трубном контуре второго теплообменника предварительного охлаждения 562, чтобы получить второй дополнительно охлажденный поток ТСХ 537. Второй дополнительно охлажденный поток ТСХ 537 расширяют во втором дроссельном устройстве ТСХ 530, чтобы получить второй дросселированный поток ТСХ 532, который обеспечивает холодоснабжение для второго теплообменника

предварительного охлаждения 562. В альтернативном варианте воплощения изобретения часть первого предварительно охлажденного потока ТСХ 517 может быть смешана с первым дополнительно охлажденным потоком ТСХ 536 перед расширением в первом дроссельном устройстве ТСХ 526, чтобы обеспечить дополнительное холодоснабжение для первого теплообменника предварительного охлаждения 560.

[00115] Второй поток ТСХП 594 вводят в компрессор ТСХ 512, чтобы сжать в пятой ступени сжатия 512Е с получением сжатого потока ТСХ 514. Сжатый поток ТСХ 514 охлаждают и предпочтительно конденсируют во вторичном охладителе ТСХ 515, чтобы получить первый охлажденный сжатый поток ТСХ 516, который вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 560, чтобы дополнительно охладить в трубном контуре и получить второй предварительно охлажденный поток ТСХ 580. Второй предварительно охлажденный поток ТСХ 580 вводят во второй теплообменник предварительного охлаждения 562, чтобы дополнительно охладить и получить третий предварительно охлажденный поток ТСХ 581, который вводят в третий теплообменник предварительного охлаждения 564, чтобы дополнительно охладить и получить третий дополнительно охлажденный поток ТСХ 538. Третий дополнительно охлажденный поток ТСХ 538 расширяют в третьем дроссельном устройстве 582, чтобы получить третий дросселированный поток ТСХ 583, который вводят в межтрубное пространство третьего теплообменника предварительного охлаждения 564, чтобы обеспечить холодоснабжение.

[00116] В варианте воплощения изобретения, показанном на ФИГ. 5, самой теплой секцией теплообмена является первый теплообменник предварительного охлаждения 460 и самой холодной секцией теплообмена является третий теплообменник предварительного охлаждения 464.

[00117] Вариант на ФИГ. 5 обладает всеми достоинствами варианта воплощения изобретения, описанного на ФИГ. 2. Он включает третий теплообменник предварительного охлаждения и дополнительные ступени сжатия, следовательно, более высокие капитальные затраты по сравнению с вариантом ФИГ. 2. Однако, вариант ФИГ. 5 включает три разных состава ТСХ, по одному для каждого из трех теплообменников предварительного охлаждения. Поэтому вариант воплощения изобретения на ФИГ. 5 приводит к улучшенной эффективности процесса при повышенных капитальных затратах.

[00118] Необязательно часть второго предварительно охлажденного потока ТСХ 580 может быть смешана с первым дополнительно охлажденным потоком ТСХ 536 перед расширением в первом дроссельном устройстве ТСХ 526, чтобы обеспечить дополнительное холодоснабжение для первого теплообменника предварительного охлаждения 560 (показано пунктирной линией 581а). Альтернативно или в дополнение, часть третьего предварительно охлажденного потока 581 может быть смешана со вторым дополнительно охлажденным потоком ТСХ 537 перед расширением во втором дроссельном устройстве ТСХ 530, чтобы обеспечить дополнительное холодоснабжение для второго теплообменника предварительного охлаждения 562.

[00119] Предварительно обработанный сырьевой поток 502 охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 560, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток природного газа 504. Первый предварительно охлажденный поток природного газа 504 охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 562, чтобы получить третий предварительно охлажденный поток природного газа 505, который дополнительно охлаждают в третьем теплообменнике предварительного охлаждения 564, чтобы получить второй

предварительно охлажденный поток природного газа 506. Сжатый охлажденный поток ХСХ 544 охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 560, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток ХСХ 546. Первый предварительно охлажденный поток ХСХ 546 охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 562, чтобы получить третий предварительно охлажденный поток ХСХ 547, который дополнительно охлаждают в третьем теплообменнике предварительного охлаждения 564, чтобы получить второй дополнительно охлажденный поток ХСХ 548.

[00120] Во всех вариантах воплощения изобретения (ФИГ. 2-5 и их вариациях в настоящем описании) любую жидкость, присутствующую в теплых потоках межтрубного пространства из теплообменников предварительного охлаждения можно направить в паро-жидкостные фазовые сепараторы, чтобы удалить какую-либо жидкость перед сжатием пара в компрессоре ТСХ. В альтернативных вариантах воплощения изобретения, если значительные количества жидкости присутствуют в теплых потоках межтрубного пространства, выпускающих из теплообменников предварительного охлаждения, то жидкую фракцию можно перекачать насосом для смешения с потоком, выпускающим из какой-либо ступени сжатия или смешать с одним или более жидких потоков, чтобы ввести в теплообменник предварительного охлаждения, или ввести в отдельный контур в теплообменнике предварительного охлаждения. Например, на ФИГ. 5 любую жидкость, присутствующую в потоке ТСХ высокого давления 519, потоке низкого давления ТСХ 510, или потоке среднего давления ТСХ 518, можно откачать, чтобы смешать со сжатым потоком ТСХ 514, или первым потоком ТСХЖ 575.

[00121] Во всех вариантах воплощения изобретения любой вторичный охладитель или промежуточный охладитель может включать отдельные теплообменники, такие как пароохладитель и конденсатор.

[00122] Температуру второго предварительного охлажденного потока природного газа (206, 306, 406, 506) можно определить, как «температуру предварительного охлаждения». Температурой предварительного охлаждения является температура, при которой сырьевой поток природного газа выпустит из системы предварительного охлаждения и впустит в систему сжижения. Температура предварительного охлаждения влияет на потребность в энергии для предварительного охлаждения и сжижения сырьевого природного газа. Потребность в энергии для всей системы определяется как сумма потребности в энергии для системы предварительного охлаждения и потребности в энергии для системы сжижения. Отношение потребности в энергии для системы предварительного охлаждения к потребности в энергии для всей системы называется «распределением энергетической мощности».

[00123] Для вариантов воплощения изобретения, описанных на ФИГ. 2 - ФИГ. 5, распределение энергетической мощности находится в диапазоне (0,2-0,7), предпочтительно (0,3-0,6), и более предпочтительно составляет примерно 0,5.

[00124] При увеличении значения распределения энергетической мощности потребность в энергии для системы сжижения уменьшается, и температура предварительного охлаждения снижается. Другими словами, тепловая нагрузка переносится с системы сжижения на систему предварительного охлаждения. Это выгодно для систем, где размер ОКТ и/или мощность сжижения регулируются. При уменьшении значения распределения энергетической мощности потребность в энергии для системы сжижения увеличивается, и температура предварительного охлаждения повышается. Другими словами, тепловая нагрузка переносится с системы предварительного

охлаждения на систему сжижения. Эта схема выгодна для систем, где размер теплообменника предварительного охлаждения, количество и энергетическая мощность предварительного охлаждения ограничены. Распределение энергетической мощности обычно определяется типом, количеством и мощностью приводов, выбранных для конкретной установки сжижения природного газа. Например, если установлено четное число приводов, то может быть предпочтительнее работать при распределении мощности, равном примерно 0,5, перенеся энергетическую нагрузку на теплообменник предварительного охлаждения и уменьшив температуру предварительного охлаждения. Если установлено нечетное число приводов, то может быть предпочтительнее работать при распределении энергетической мощности в диапазоне от 0,3 до 0,5, перенеся тепловую нагрузку охлаждения в систему сжижения и повысив температуру предварительного охлаждения.

[00125] Главным преимуществом всех вариантов воплощения изобретения является то, что возможно оптимизировать распределение энергетической мощности, количество теплообменников предварительного охлаждения, ступеней сжатия, уровней давления и температуру предварительного охлаждения на основе различных факторов, таких как количество, характеристики, тип и мощность имеющихся приводов, количество теплообменников, проектные требования к теплообменникам, ограничения в компрессорам и другие требования конкретного проекта.

[00126] Для всех описанных вариантов воплощения в системах предварительного охлаждения и сжижения может устанавливаться любое число уровней давления. Системы охлаждения могут быть с замкнутым контуром и открытым контуром.

[00127] ПРИМЕР 1

[00128] Ниже приведен пример работы примерного варианта воплощения изобретения. Примерный процесс и данные основаны на моделировании процесса ДСХ на заводе СПГ с контуром предварительного охлаждения с двумя уровнями давления и контуром сжижения с одним уровнем давления на заводе СПГ, который производит около 5,5 миллионов метрических тонн в год СПГ и конкретно относится к варианту воплощения изобретения, показанному на ФИГ. 2. Чтобы упростить описание этого примера, использованы элементы и ссылочные позиции, описанные в варианте воплощения изобретения, показанном на ФИГ. 2.

[00129] Сырьевой поток природного газа 202 при давлении 76 бар (1102 фунт/кв. дюйм; 7,6 МПа) и температуре 20°C (68°F) охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 260, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток природного газа 204 при температуре -18°C (0,5°F), который охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 262, чтобы получить второй предварительно охлажденный поток природного газа 206 при температуре -53°C (-64°F). Сжатый охлажденный поток ХСХ 244 давлением 62 бара (893 фунт/кв. дюйм; 6,2 МПа) и температурой 25°C (77°F) охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 260, чтобы получить первый предварительно охлажденный поток ХСХ 246 при температуре -18°C (0,5°F), который направляют во второй теплообменник предварительного охлаждения 262, чтобы получить второй предварительно охлажденный поток ХСХ 248 при температуре -52°C (-61°F).

[00130] Поток ТСХ низкого давления 210 (также называемый потоком первого хладагента низкого давления) с давлением 3 бар (45 фунт/кв. дюйм; 0,3 МПа), температурой -20°C (-5°F), и расходом 11732 кг-моль/час (25865 фунт-моль/час) выводят с теплого конца межтрубного пространства второго теплообменника предварительного

охлаждения 262 и сжимают в первой ступени сжатия 212А компрессора ТСХ 212. Поток ТСХ среднего давления 218 (также называемый потоком первого хладагента среднего давления) с давлением 5 бар (74 фунт/кв. дюйм; 0,5 МПа), температурой 22°C (71°F), и расходом 13125 кг-моль/час (28936 фунт-моль/час) выводят с теплого конца

5 межтрубного пространства первого теплообменника предварительного охлаждения 260 и вводят как боковой поток в компрессор ТСХ 212, где его смешивают со сжатым потоком (не показано) из первой ступени сжатия 212А. Смешанный поток (не показан) сжимают во второй ступени сжатия ТСХ 212В компрессора ТСХ 212, чтобы получить поток ТСХ очень высокого давления 270 (также называемый потоком первого
10 хладагента очень высокого давления) при давлении 18 бар (264 фунт/кв. дюйм; 1,8 МПа) и температуре 79°C (175°F).

[00131] Поток ТСХ очень высокого давления 270 выводят из компрессора ТСХ 212, и охлаждают и частично конденсируют в промежуточном охладителе ТСХ очень высокого давления 271, чтобы получить охлажденный поток ТСХ очень высокого
15 давления 272 при давлении 17 бар (250 фунт/кв. дюйм; 1,7 МПа), температуре 25°C (77°F), расходе 24857 кг-моль/час (54801 фунт-моль/час), доле пара, равной 0,47. Охлажденный поток ТСХ очень высокого давления 272 разделяют на фазы в первом устройстве разделения ТСХ на жидкость и пар 273, чтобы получить первый поток ТСХП 274 и первый поток ТСХЖ 275. Первый поток ТСХЖ 275 содержит 31% этана
20 и более легких углеводородов, в то время как первый поток ТСХП 274 содержит 59% этана и более легких углеводородов.

[00132] Первый поток ТСХЖ 275 вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 260, чтобы охладить в трубном пространстве и получить первый
25 дополнительно охлажденный поток ТСХ 236 при температуре -18°C (0°F), который расширяют в первом дроссельном устройстве ТСХ 226, чтобы получить первый дросселированный поток ТСХ 228 при давлении 6 бар (81 фунт/кв. дюйм; 0,6 МПа) и температуре -21°C (-5°F), который обеспечивает холодоснабжение для первого теплообменника предварительного охлаждения 260.

[00133] Первый поток ТСХП 274 вводят в компрессор ТСХ 212 для сжатия в третьей
30 ступени сжатия ТСХ 212С, чтобы получить сжатый поток ТСХ 214 при давлении 29 бар (423 фунт/кв. дюйм; 2,9 МПа) и температуре 56°C (134°F). Сжатый поток ТСХ 214 охлаждают и предпочтительно конденсируют во вторичном охладителе ТСХ 215, чтобы получить первый охлажденный сжатый поток ТСХ 216 при температуре 25°C (77°F), который вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 260, чтобы
35 дополнительно охладить в трубном контуре и получить первый предварительно охлажденный поток ТСХ 217 при температуре -18°C (0°F). Первый предварительно охлажденный поток ТСХ 217 вводят во второй теплообменник предварительного охлаждения 262, чтобы дополнительно охладить в трубном контуре и получить второй дополнительно охлажденный поток ТСХ 237 при температуре -53°C (-63°F). Второй
40 дополнительно охлажденный поток ТСХ 237 расширяют во втором дроссельном устройстве ТСХ 230, чтобы получить второй дросселированный поток ТСХ 232 при давлении 3 бар (47 фунт/кв. дюйм; 0,3 МПа) и температуре -57°C (-70°F), который вводят в межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения 262, чтобы обеспечить холодоснабжение.

45 [00134] В этом примере распределение энергетической мощности составляет 0,44 и, в общей сложности, используются четыре привода газовой турбины, каждая мощностью примерно 40 МВт. В этом варианте воплощения изобретения эффективность процесса примерно на 3,5% выше, чем в схеме на ФИГ. 1, и температура предварительного

охлаждения примерно на 9°C холоднее, чем температура в схеме на ФИГ. 1. Следовательно, этот пример демонстрирует, что описанные здесь варианты воплощения изобретения обеспечивают эффективный способ и систему для повышения эффективности при низких капитальных затратах.

5

(57) Формула изобретения

1. Способ охлаждения потока углеводородного сырья, включающего углеводородный флюид, и сырьевого потока второго хладагента, включающего второй хладагент, путем косвенного теплообмена с первым хладагентом в каждой из множества секций теплообмена, включающий этапы, на которых:

10

(а) вводят поток углеводородного сырья и сырьевой поток второго хладагента в самую теплую секцию теплообмена из множества секций теплообмена;

15

(б) охлаждают поток углеводородного сырья и сырьевой поток второго хладагента в каждой из множества секций теплообмена, чтобы получить предварительно охлажденный углеводородный поток и предварительно охлажденный поток второго хладагента;

(в) дополнительно охлаждают и сжижают предварительно охлажденный углеводородный поток в основном теплообменнике в противотоке вторым хладагентом, чтобы получить сжиженный углеводородный поток;

20

(г) выводят поток первого хладагента низкого давления из самой холодной секции теплообмена из множества секций теплообмена и сжимают поток первого хладагента низкого давления, по меньшей мере, в одной ступени сжатия системы компрессии;

25

(д) выводят поток первого хладагента среднего давления из первой секции теплообмена из множества секций теплообмена, при этом первая секция теплообмена теплее, чем самая холодная секция теплообмена;

(е) объединяют поток первого хладагента низкого давления и поток первого хладагента среднего давления, чтобы получить объединенный поток первого хладагента после выполнения этапов (г) и (д);

30

(ж) выводят из системы компрессии поток первого хладагента очень высокого давления;

(з) охлаждают и, по меньшей мере, частично конденсируют поток первого хладагента очень высокого давления, по меньшей мере, в одном узле охлаждения, чтобы получить охлажденный поток первого хладагента очень высокого давления;

35

(и) вводят охлажденный поток первого хладагента очень высокого давления в первое устройство разделения жидкости и пара, чтобы получить первый поток пара хладагента и первый поток жидкого хладагента;

(к) вводят первый поток жидкого хладагента в самую теплую секцию теплообмена из множества секций теплообмена;

40

(л) охлаждают первый поток жидкого хладагента в самой теплой секции теплообмена из множества секций теплообмена, чтобы получить первый охлажденный поток жидкого хладагента;

(м) расширяют, по меньшей мере, часть первого охлажденного потока жидкого хладагента, чтобы получить первый дросселированный поток хладагента;

45

(н) вводят первый дросселированный поток хладагента в самую теплую секцию теплообмена, чтобы обеспечить холодоснабжение, необходимое для первой части охлаждения этапа (б);

(о) сжимают, по меньшей мере, часть первого потока пара хладагента из этапа (и), по меньшей мере, в одной ступени сжатия;

(п) охлаждают и конденсируют сжатый поток первого хладагента, по меньшей мере, в одном узле охлаждения, чтобы получить конденсированный поток первого хладагента, при этом, по меньшей мере, один узел охлаждения расположен ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде, по меньшей мере, с одной ступенью сжатия этапа (о);

5 (р) вводят конденсированный поток первого хладагента в самую теплую секцию теплообмена из множества секций теплообмена;

(с) охлаждают конденсированный поток первого хладагента в первой секции теплообмена и самой холодной секции теплообмена, чтобы получить первый охлажденный конденсированный поток хладагента;

10 (т) расширяют первый охлажденный конденсированный поток хладагента, чтобы получить второй дросселированный поток хладагента; и

(у) вводят второй дросселированный поток хладагента в самую холодную секцию теплообмена, чтобы обеспечить холодоснабжение для второй части охлаждения этапа (б).

15 2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что этап (д) дополнительно включает выведение потока первого хладагента среднего давления из первой секции теплообмена из множества секций теплообмена, при этом первая секция теплообмена теплее, чем самая холодная секция теплообмена, где первая секция теплообмена является также самой теплой секцией теплообмена.

20 3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что этап (о) дополнительно включает сжатие первого потока пара хладагента из этапа (и), по меньшей мере, в одной ступени сжатия, чтобы получить сжатый поток первого хладагента этапа (п).

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно включает сжатие объединенного потока первого хладагента из этапа (е), по меньшей мере, в одной ступени сжатия системы компрессии перед выполнением этапа (ж).

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что этап (д) дополнительно включает выведение потока первого хладагента среднего давления из первой секции теплообмена из множества секций теплообмена и сжатие потока первого хладагента среднего давления, по меньшей мере, в одной ступени сжатия системы компрессии, при этом первая секция теплообмена теплее, чем самая холодная секция теплообмена.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно включает:

(ф) выведение первого промежуточного потока хладагента из системы компрессии перед этапом (ж); и

35 (х) охлаждение первого промежуточного потока хладагента, по меньшей мере, в одном узле охлаждения, чтобы получить охлажденный первый промежуточный поток хладагента и введение охлажденного первого промежуточного потока хладагента в систему компрессии перед этапом (ж).

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно включает:

40 (ф) выведение потока первого хладагента высокого давления из самой теплой секции теплообмена из множества секций теплообмена; и

(х) введение потока первого хладагента высокого давления в систему компрессии перед этапом (ж).

8. Способ по п. 7, отличающийся тем, что дополнительно включает:

45 (ц) выведение потока первого хладагента высокого давления из самой теплой секции теплообмена из множества секций теплообмена; и

(ч) объединение потока первого хладагента высокого давления с охлажденным первым промежуточным потоком хладагента с образованием объединенного первого промежуточного потока хладагента и введение объединенного первого промежуточного

потока хладагента в систему компрессии перед этапом (ж).

9. Способ по п. 1, отличающийся тем, что этап (о) дополнительно включает:

(ф) выведение второго промежуточного потока хладагента из системы компрессии;

и

5 (х) охлаждение второго промежуточного потока хладагента, по меньшей мере, в одном узле охлаждения, чтобы получить охлажденный второй промежуточный поток хладагента.

10. Способ по п. 9, отличающийся тем, что дополнительно включает:

10 (ц) введение охлажденного второго промежуточного потока хладагента во второе устройство разделения жидкости и пара, чтобы получить второй поток пара хладагента и второй поток жидкого хладагента;

(ч) введение второго потока жидкого хладагента в самую теплую секцию теплообмена из множества секций теплообмена; и

15 (ш) сжатие второго потока пара хладагента, по меньшей мере, в одной ступени системы компрессии перед получением сжатого потока первого хладагента этапа (п).

11. Способ по п. 1, отличающийся тем, что этап (с) дополнительно включает охлаждение конденсированного потока первого хладагента в самой теплой секции теплообмена перед охлаждением в первой секции теплообмена.

20 12. Способ по п. 1, отличающийся тем, что поток первого хладагента низкого давления из этапа (г), объединенный поток первого хладагента из этапа (е) и первый поток пара хладагента из этапа (и) сжимают во множественных ступенях одного компрессора.

13. Установка для охлаждения потока углеводородного сырья, содержащая:

25 множество секций теплообмена, причем секции теплообмена содержат самую теплую секцию теплообмена и самую холодную секцию теплообмена;

первый углеводородный контур, который проходит через каждую из множества секций теплообмена, причем первый углеводородный контур расположен ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде с источником подачи углеводородного флюида;

30 контур второго хладагента, который проходит через каждую из множества секций теплообмена, причем контур второго хладагента содержит второй хладагент;

первый контур предварительного охлаждения хладагента, который проходит через самую теплую секцию теплообмена, причем первый контур предварительного охлаждения хладагента содержит первый хладагент;

35 второй контур предварительного охлаждения хладагента, который проходит через самую теплую секцию теплообмена и самую холодную секцию теплообмена, причем второй контур предварительного охлаждения хладагента содержит первый хладагент;

впуск первого контура предварительного охлаждения хладагента, расположенный на верхнем по потоку конце первого контура предварительного охлаждения хладагента, первое устройство понижения давления, расположенное на нижнем по потоку конце 40 первого контура предварительного охлаждения хладагента, и канал первого дросселированного хладагента ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде с первым устройством понижения давления и первым холодным контуром самой теплой секции теплообмена;

45 впуск второго контура предварительного охлаждения хладагента, расположенный на верхнем по потоку конце второго контура предварительного охлаждения хладагента, второе устройство понижения давления, расположенное на нижнем по потоку конце второго контура предварительного охлаждения хладагента, и канал второго

дросселированного хладагента ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде со вторым устройством понижения давления и вторым холодным контуром самой холодной секции теплообмена;

систему компрессии, содержащую:

5 канал первого хладагента низкого давления в сообщении по текучей среде с первой ступенью сжатия и теплым концом самой холодной секции теплообмена;

канал первого хладагента среднего давления в сообщении по текучей среде со второй ступенью сжатия и теплым концом первой секции теплообмена;

первый вторичный охладитель ниже по потоку от второй ступени сжатия;

10 первое устройство разделения жидкости и пара, имеющее первый выпуск в сообщении по текучей среде с и ниже по потоку от первого вторичного охладителя, первый выпуск для пара, расположенный в верхней половине первого устройства разделения жидкости и пара, первый выпуск для жидкости, расположенный в нижней половине первого устройства разделения жидкости и пара, первый выпуск для жидкости, находящийся

15 выше по потоку от и в сообщении по текучей среде с впуском первого контура предварительного охлаждения хладагента;

третью ступень сжатия ниже по потоку от первого выпуска пара; и

второй вторичный охладитель ниже по потоку от третьей ступени сжатия;

причем самая теплая секция теплообмена конфигурирована с возможностью

20 частичного предварительного охлаждения углеводородного флюида, протекающего через первый углеводородный контур, второго хладагента, протекающего через контур второго хладагента, первого хладагента, протекающего через первый контур предварительного охлаждения первого хладагента и второй контур предварительного охлаждения хладагента, в противотоке с первым хладагентом, протекающим через

25 первый холодный контур самой теплой секции теплообмена; и

причем самая холодная секция конфигурирована с возможностью предварительного охлаждения углеводородного флюида, протекающего через первый углеводородный контур, чтобы получить предварительно охлажденный углеводородный поток, для предварительного охлаждения второго хладагента, протекающего через контур второго хладагента, и для предварительного охлаждения первого хладагента, протекающего

30 через второй контур предварительного охлаждения хладагента, в противотоке с первым хладагентом, протекающим через первый холодный контур самой холодной секции теплообмена.

14. Установка по п. 13, отличающаяся тем, что дополнительно содержит:

35 основной теплообменник, имеющий второй углеводородный контур, который находится ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде с первым углеводородным контуром в множестве секций теплообмена, основной теплообменник, конфигурированный с возможностью, по меньшей мере, частично сжижать предварительно охлажденный углеводородный поток путем косвенного теплообмена

40 в противотоке со вторым хладагентом.

15. Установка по п. 13, отличающаяся тем, что система компрессии дополнительно содержит первый промежуточный охладитель, расположенный ниже по потоку от второй ступени сжатия, и канал охлажденного первого промежуточного хладагента ниже по потоку от и в сообщении по текучей среде с первым промежуточным

45 охладителем.

16. Установка по п. 15, отличающаяся тем, что дополнительно содержит канал первого хладагента высокого давления в сообщении по текучей среде с теплым концом самой теплой секции теплообмена и каналом охлажденного первого промежуточного

хладагента.

17. Установка по п. 13, отличающаяся тем, что дополнительно содержит:

третий вторичный охладитель ниже по потоку от первого устройства разделения жидкости и пара; и

5 второе устройство разделения жидкости и пара, имеющее третий выпуск в сообщении по текучей среде с и ниже по потоку от третьего вторичного охладителя, второй выпуск для пара, расположенный в верхней половине второго устройства разделения жидкости и пара, второй выпуск для жидкости, расположенный в нижней половине второго устройства разделения жидкости и пара.

10 18. Установка по п. 13, отличающаяся тем, что множество секций теплообмена являются несколькими секциями первого теплообменника.

19. Установка по п. 13, отличающаяся тем, что первый хладагент во втором контуре предварительного охлаждения хладагента имеет более высокую концентрацию этана и более легких углеводородов, чем первый хладагент в первом контуре

15 предварительного охлаждения хладагента.

20. Установка по п. 13, отличающаяся тем, что дополнительно содержит третий контур предварительного охлаждения хладагента, который проходит, по меньшей мере, через самую теплую секцию теплообмена и первую секцию теплообмена, причем третий контур предварительного охлаждения хладагента содержит первый хладагент.

20 21. Установка по п. 13, отличающаяся тем, что первой секцией теплообмена является самая теплая секция теплообмена из множества секций теплообмена.

22. Установка по п. 13, отличающаяся тем, что второй контур предварительного охлаждения хладагента проходит через самую теплую секцию теплообмена, первую секцию теплообмена и самую холодную секцию теплообмена.

25

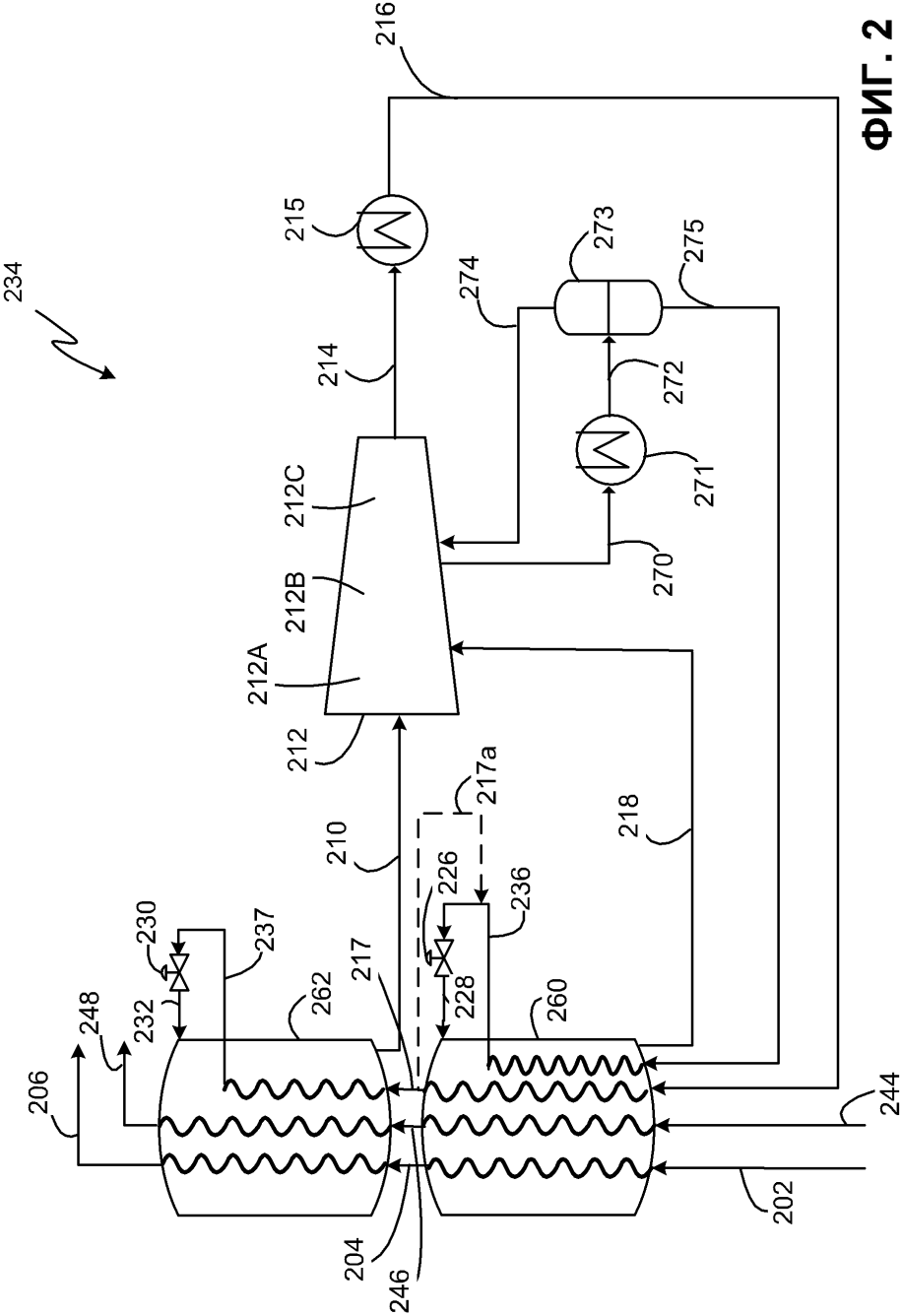
30

35

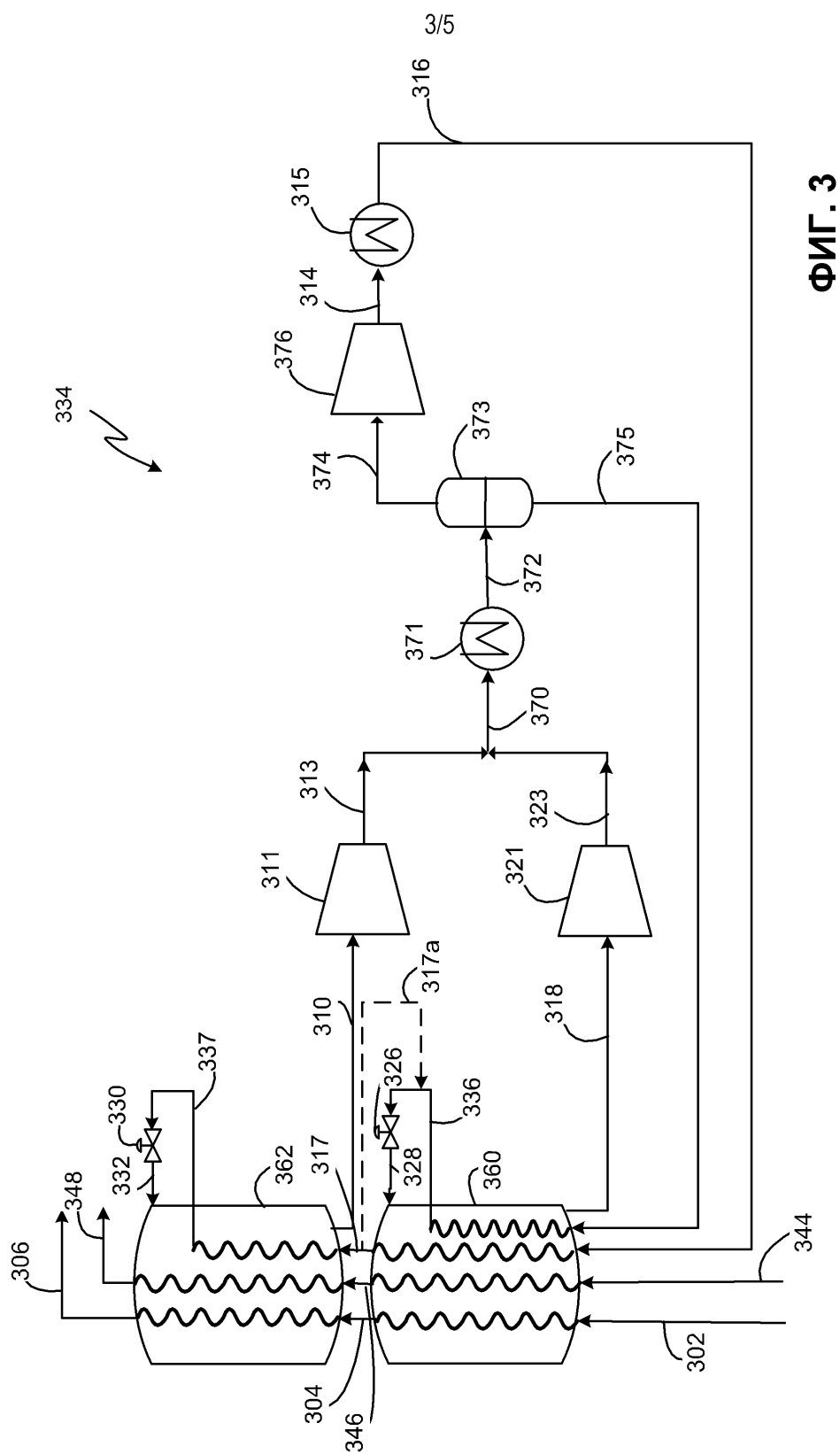
40

45

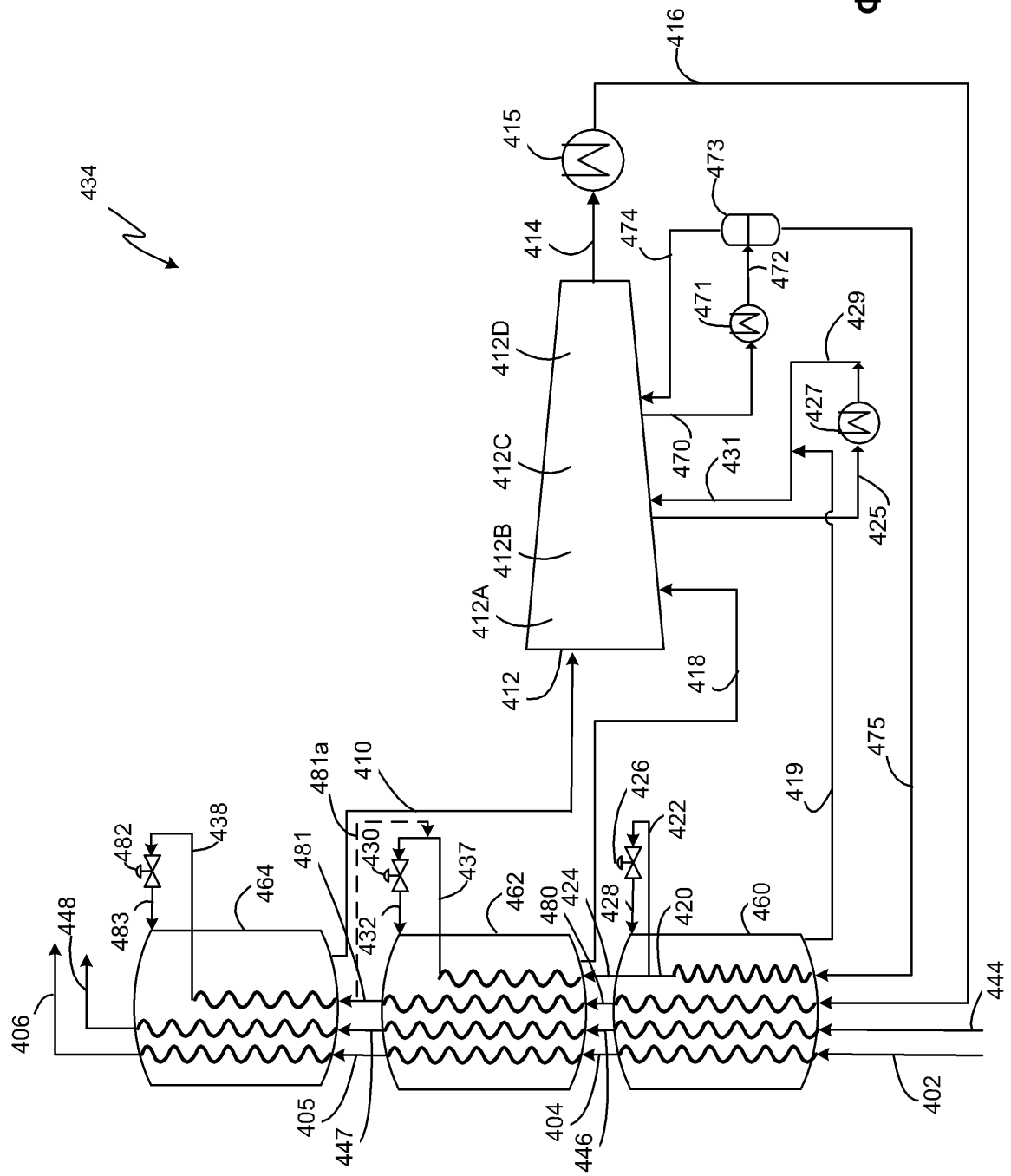




ФИГ. 2



Фиг. 3



ФИГ. 5

