



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F25J 1/0022 (2021.02); F25J 1/0052 (2021.02); F25J 1/0055 (2021.02); F25J 1/0214 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2017117415, 19.05.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.05.2017Дата регистрации:
16.06.2021

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
20.05.2016 US 15/160,209

(43) Дата публикации заявки: 20.11.2018 Бюл. № 32

(45) Опубликовано: 16.06.2021 Бюл. № 17

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Большая Спасская, 25,
строение 3, ООО "Юридическая фирма
Городиский и Партнеры"

(72) Автор(ы):

ОТТ Кристофер Майкл (US),
РОБЕРТС Марк Джулиан (US),
ЧЭНЬ Фэй (US),
БРОСТОУ Адам Адриан (US)

(73) Патентообладатель(и):

ЭР ПРОДАКТС ЭНД КЕМИКАЛЗ, ИНК.
(US)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: DE 102007006370 A1, 14.08.2008. DE
3521060 A1, 12.12.1985. US 3780535 A, 25.12.1973.
RU 2443952 C2, 27.02.2012.

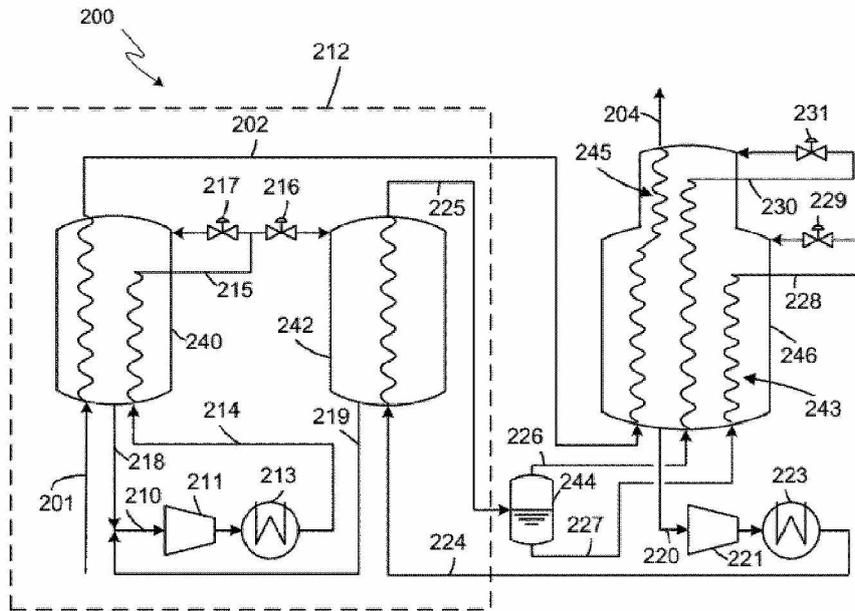
(54) СПОСОБ СЖИЖЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЕВОГО ПОТОКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к газовой промышленности. Предложен способ для сжижения потока природного газа. Газ охлаждают в нескольких асимметричных, параллельно расположенных контурах предварительного охлаждения. В контурах охлаждения используют смешанный хладагент.

Использование изобретения позволяет в большей степени регулировать каждый из потоков хладагента во время процесса охлаждения и упрощает управление процессом путем выделения теплообменников для выполнения аналогичных функций. 8 з.п. ф-лы, 11 ил.

C 2
7
2
7
4
9
6
2
7
R UR U
2
7
4
9
6
2
7
C 2



ФИГ. 2

RU 2749627 C2

RU 2749627 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

F25J 1/0022 (2021.02); F25J 1/0052 (2021.02); F25J 1/0055 (2021.02); F25J 1/0214 (2021.02)(21)(22) Application: **2017117415, 19.05.2017**(24) Effective date for property rights:
19.05.2017Registration date:
16.06.2021

Priority:

(30) Convention priority:
20.05.2016 US 15/160,209(43) Application published: **20.11.2018 Bull. № 32**(45) Date of publication: **16.06.2021 Bull. № 17**

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**OTT Christopher Michael (US),
ROBERTS Mark Julian (US),
CHEN Fei (US),
BROSTOW Adam Adrian (US)**

(73) Proprietor(s):

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.
(US)**(54) **METHOD FOR LIQUEFYING HYDROCARBON RAW FLOW**

(57) Abstract:

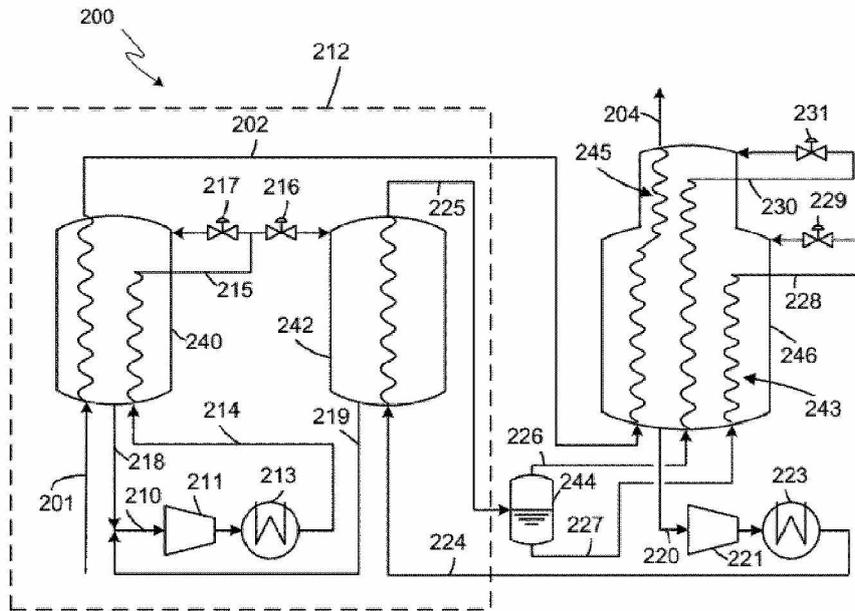
FIELD: gas industry.

SUBSTANCE: method for liquefying natural gas flow is proposed. The gas is cooled in several asymmetric pre-cooling contours arranged in parallel. A mixed refrigerant is used in cooling contours.

EFFECT: use of the invention allows for more control of each refrigerant flows during the cooling process and simplifies process management by allocating heat exchangers to perform similar functions.

9 cl, 11 dwg

C 2
7 2 9 6 2 7
2 7 4 9 6 2 7
R UR U
2 7 4 9 6 2 7
C 2



ФИГ. 2

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к способу и системе для сжижения потока газа, в частности, к системе и способу сжижения потока природного газа в установке сжижения природного газа. Системы для охлаждения, сжижения и, при необходимости, 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) (например, способ AP-X®) с предварительным трехуровневым пропановым циклом, расширительный цикл с азотом или метаном и каскадные циклы. Обычно в таких системах природный газ охлаждают, сжижают и, при необходимости, 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), которыми являются смесь из азота, метана, этана/этилена, пропана, бутанов и, в некоторых случаях, пентанов, использовали на многих заводах базовой нагрузки по производству сжиженного природного газа (СПГ). Состав потока СХ обычно выбирают исходя из состава сырьевого газа и условий эксплуатации.

Хладагент циркулирует в контуре холодоснабжения, который включает один или более теплообменников и одну или более систем компрессии хладагента. Контур холодоснабжения может быть замкнутым контуром или открытым контуром. Природный газ охлаждается, сжижается и/или переохлаждается путем косвенного теплообмена с хладагентами в теплообменниках.

Каждая система компрессии хладагента включает контур компрессии для сжатия и охлаждения циркулирующего хладагента и узел привода, чтобы обеспечить мощность, необходимую для привода компрессоров. 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 тепловую нагрузку, необходимую для охлаждения, сжижения и, необязательно, переохлаждения природного газа.

При проектировании и эксплуатации установки для производства сжиженного природного газа (СПГ) выбор теплообменников, компрессоров и связанного с ними оборудования является важным фактором, влияющим на стоимость строительства и эксплуатации установки. Типичная система предыдущего уровня техники состоит из двухэтапного процесса, в соответствии с которым сырьевой природный газ предварительно охлаждают в теплообменнике предварительного охлаждения до температуры ниже температуры окружающей среды и затем конденсируют (сжижают) в основном криогенном теплообменнике (ОКТ).

Во время этапа предварительного охлаждения типичной системы предыдущего уровня техники природный газ, подлежащий сжижению, предварительно охлаждают на горячей стороне (или конце) теплообменника предварительного охлаждения посредством теплообмена с хладагентом, испаряющимся на холодной стороне. Испарившийся хладагент выводят с холодной стороны теплообменника. Этот испарившийся хладагент сжижают в контуре предварительного охлаждения хладагента. С этой целью хладагент сжимается в компрессоре до повышенного давления, а теплота сжатия и теплота испарения отводятся в конденсаторе. Жидкий хладагент расширяется в дроссельном устройстве до более низкого давления и при этом давлении хладагент

испаряется на холодной стороне теплообменника предварительного охлаждения природного газа.

В предыдущем уровне техники были предприняты усилия, направленные на проектирование системы предварительного охлаждения с целью достижения большей мощности, эффективности и снижения стоимости. Один из таких подходов заключается в использовании нескольких теплообменников предварительного охлаждения, расположенных последовательно. Например, в данной области техники известно использование двух последовательно расположенных теплообменников предварительного охлаждения и двух параллельных ОКТ для увеличения производительности одной линии сжижения при одновременном снижении капитальных затрат до уровня ниже, чем в системе, использующей две небольшие параллельные линии.

В данной области техники также известно, что два последовательно расположенных теплообменника предварительного охлаждения, скрубберная колонна и единственный ОКТ могут обеспечить более низкие температуры подаваемого газа и повысить эффективность сжижения.

Другим подходом является использование параллельных циклов охлаждения. Например, по меньшей мере одна известная система использует два одинаковых теплообменника предварительного охлаждения, расположенных параллельно, с двумя параллельными линиями сжатия и одним ОКТ. Каждый из двух идентичных теплообменников обрабатывает 50% нагрузки и должен быть идентичен другому (то есть идентичен по структуре, иметь идентичные входы потока, идентичное охлаждение и идентичные выходы потока) для упрощения проектирования и изготовления установки, и обеспечения эффективности эксплуатационных затрат. Каждый компонент системы (компрессоры, теплообменники и тому подобное) выбирают из самых доступных на рынке, чтобы сократить количество востребуемых компонентов и минимизировать капитальные и эксплуатационные расходы. Конфигурация с двумя параллельными идентичными теплообменниками обеспечивает следующие преимущества: (а) увеличение мощности установки до максимально возможной производительности, достигаемой путем максимизации размера каждого теплообменника в пределах производственных и транспортных ограничений; и (б) увеличение мощности установки до некоторой промежуточной производительности, превышающей производительность, достигаемую при использовании одного теплообменника.

Кроме того, экономия капитальных вложений, сокращение производственного цикла, простота в эксплуатации и обслуживании являются некоторыми из известных преимуществ параллельного использования идентичного оборудования. Однако обеспечение идентичных, параллельно расположенных теплообменников также создает несколько проблем. Например, каждый теплообменник должен охлаждать несколько потоков, имеющих разные тепловые нагрузки. Два теплообменника также должны быть хорошо сбалансированы во время работы, чтобы обеспечить равные нагрузки и избежать так называемого коллекторного эффекта, то есть разных потоков в трубах, отходящих от магистральной трубы, что обусловлено различным расстоянием от входа основной трубы и, следовательно, неодинаковыми механическими потерями давления. Это усложняет работу системы и снижает эффективность из-за компромиссов, которые необходимо сделать для того, чтобы сбалансировать работу теплообменников.

Другой недостаток использования нескольких одинаковых теплообменников заключается в необходимости увеличения количества контуров охлаждения. Например, для двух параллельных идентичных теплообменников, которые используются для

охлаждения каждого из трех различных потоков - потока сырьевого газа, теплого смешанного хладагента (ТСХ) и холодного смешанного хладагента (ХСХ) - потребуется шесть контуров охлаждения. Это усложняет систему и делает добавление второго такого же теплообменника, расположенного параллельно, непрактичным для многих существующих систем.

Соответственно, существует потребность в разработке способа сжижения природного газа, который позволяет комбинировать несколько теплообменников разной конструкции, сокращая производственный цикл, упрощая управление процессом, сводя к минимуму количество контуров охлаждения, повышая эффективность и увеличивая производство СПГ. Такая компоновка, предпочтительно, должна быть подходящей для использования при реконструкции существующего производства или для нового проекта.

В уровне техники известен DE 102007006370, который раскрывает способ сжижения потока, обогащенного углеводородами, в частности потока природного газа, в котором сжижение потока, обогащенного углеводородами, происходит с помощью каскад контуров смешанного хладагента, состоящего из трех контуров смешанного хладагента, и причем первый контур смешанного хладагента является контуром предварительного охлаждения, второй контур смешанного хладагента является контуром сжижения и третий контур смешанного хладагента является контуром переохлаждения обогащенного углеводородами потока.

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В этом кратком изложении представлены некоторые концепции в упрощенной форме, которые дополнительно описаны ниже в подробном описании. Это краткое изложение не предназначено для установления ключевых или существенных признаков заявленного предмета изобретения и не предназначено для использования его с целью ограничения объема заявленного предмета изобретения.

Описанные варианты воплощения изобретения обеспечивают, как описано ниже и как определено в последующей формуле изобретения, системы предварительного охлаждения хладагента, используемые как часть процессов сжижения. Раскрытые варианты воплощения изобретения удовлетворяют потребностям в данной области техники путем использования асимметричных параллельных теплообменников для выделения потоков хладагента в конкретные теплообменники, что позволяет улучшить управление и эффективность процесса предварительного охлаждения. Варианты воплощения настоящего изобретения удовлетворяют потребность в данной области техники путем обеспечения безопасной, эффективной и надежной системы и способа сжижения и, в частности, сжижения природного газа. Дополнительные аспекты изобретения заключаются в следующем.

Аспект 1: Способ сжижения сырьевого углеводородного потока, включающий:

- (а) подачу сырьевого потока углеводородного флюида при первой температуре подачи;
- (б) разделение сырьевого потока углеводородного флюида на первую часть и вторую часть;
- (в) охлаждение первой части сырьевого потока углеводородного флюида в первом теплообменнике предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием первого потока предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из первого теплообменника предварительного охлаждения при первой температуре предварительного охлаждения;
- (г) охлаждение второй части сырьевого потока углеводородного флюида во втором

теплообменнике предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием второго потока предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из второго теплообменника предварительного охлаждения при второй температуре предварительного охлаждения;

5 (д) выведение испарившегося потока второго смешанного хладагента из межтрубного пространства основного теплообменника;

(е) сжатие и расширение испарившегося потока второго смешанного хладагента с получением результирующего потока второго смешанного хладагента при результирующей температуре второго смешанного хладагента, при этом
10 результирующая температура второго смешанного хладагента, по существу, равна первой температуре подачи;

(ж) охлаждение результирующего потока второго смешанного хладагента во втором теплообменнике предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием предварительно охлажденного потока второго смешанного
15 хладагента, который выходит из второго теплообменника предварительного охлаждения при третьей температуре предварительного охлаждения;

(з) объединение первого потока предварительно охлажденного углеводородного флюида и второго потока предварительно охлажденного углеводородного флюида и введение объединенного потока предварительно охлажденного углеводородного
20 флюида в трубное пространство основного теплообменника;

(и) введение по меньшей мере части предварительно охлажденного потока второго смешанного хладагента в трубное пространство основного теплообменника;

(к) охлаждение объединенного потока предварительно охлажденного углеводородного флюида в основном теплообменнике посредством второго смешанного хладагента в межтрубном пространстве основного теплообменника с образованием
25 сжиженного потока углеводородного флюида;

(л) охлаждение по меньшей мере части предварительно охлажденного потока второго смешанного хладагента в основном теплообменнике посредством прохождения второго смешанного хладагента в межтрубном пространстве основного теплообменника с
30 образованием по меньшей мере одного охлажденного потока второго смешанного хладагента; и

(м) выведение каждого из по меньшей мере одного охлажденного потока второго смешанного хладагента из трубного пространства основного теплообменника, расширение каждого из по меньшей мере одного охлажденного потока второго
35 смешанного хладагента с образованием дросселированного потока второго хладагента и подача каждого из по меньшей мере одного дросселированного потока второго смешанного хладагента в межтрубное пространство основного теплообменника.

Аспект 2: Способ согласно Аспекту 1, дополнительно включающий:

(н) отделение жидкой фракции предварительно охлажденного потока второго смешанного хладагента от паровой фракции предварительно охлажденного потока второго смешанного хладагента;
40 второго смешанного хладагента;

при этом этап (и) включает введение жидкой фракции предварительно охлажденного потока второго смешанного хладагента и паровой фракции предварительно охлажденного потока второго смешанного хладагента в трубное пространство
45 основного теплообменника.

Аспект 3: Способ по любому из аспектов 1 или 2, в котором вторая температура предварительного охлаждения и третья температура предварительного охлаждения, по существу, равны первой температуре предварительного охлаждения.

Аспект 4: Способ по любому из аспектов 1-3, в котором этап (е) включает сжатие и охлаждение потока второго смешанного хладагента с образованием результирующего потока второго смешанного хладагента при результирующей температуре второго смешанного хладагента, при этом результирующая температура второго смешанного хладагента, по существу, равна первой температуре подачи, и, по существу, весь результирующий поток второго смешанного хладагента является паровой фазой.

Аспект 5: Способ по любому из аспектов 1-4, в котором этап (в) включает охлаждение первой части сырьевого потока углеводородного флюида в трубном пространстве первого теплообменника предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента, протекающего через межтрубное пространство первого теплообменника предварительного охлаждения, с образованием первого потока предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из первого теплообменника предварительного охлаждения при первой температуре предварительного охлаждения.

Аспект 6: Способ по аспекту 5, в котором этап (г) включает охлаждение второй части сырьевого потока углеводородного флюида в трубном пространстве второго теплообменника предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента, протекающего через межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения, с образованием второго потока предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из второго теплообменника предварительного охлаждения при второй температуре предварительного охлаждения.

Аспект 7: Способ по любому из аспектов 1-6, в котором второй этап (г) включает охлаждение второй части сырьевого потока углеводородного флюида во втором теплообменнике предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием второго потока предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из второго теплообменника предварительного охлаждения при второй температуре предварительного охлаждения, при этом второй теплообменник предварительного охлаждения имеет геометрию, отличающуюся от геометрии первого теплообменника предварительного охлаждения.

Аспект 8: Способ по любому из аспектов 1-7, дополнительно включающий:

(о) циркуляцию первого смешанного хладагента в замкнутом контуре холодоснабжения, который проходит через межтрубное пространство каждого из первого и второго теплообменников предварительного охлаждения.

Аспект 9: Способ по любому из аспектов 1-8, дополнительно включающий:

(п) выведение испарившегося потока первого смешанного хладагента из межтрубного пространства каждого из первого и второго теплообменников предварительного охлаждения;

(р) сжатие и охлаждение испарившегося потока первого смешанного хладагента с образованием результирующего потока первого смешанного хладагента;

(с) введение результирующего потока первого смешанного хладагента в трубное пространство первого теплообменника предварительного охлаждения;

(т) охлаждение результирующего потока первого смешанного хладагента в первом теплообменнике предварительного охлаждения посредством прохождения первого смешанного хладагента в межтрубном пространстве первого теплообменника предварительного охлаждения с образованием охлажденного потока первого смешанного хладагента;

(у) выведение охлажденного потока первого смешанного хладагента из первого теплообменника предварительного охлаждения и разделение охлажденного потока

первого смешанного хладагента на первый и второй охлажденные потоки первого смешанного хладагента;

(ф) расширение каждого из первого и второго охлажденных потоков первого смешанного хладагента с образованием первого и второго дросселированных потоков первого смешанного хладагента; и

(х) введение первого дросселированного потока первого смешанного хладагента в межтрубное пространство первого теплообменника предварительного охлаждения; и

(ц) введение второго дросселированного потока первого смешанного хладагента в межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения.

Аспект 10: Способ по любому из аспектов 1-9, при котором этап (г) включает:

(г) охлаждение второй части сырьевого потока углеводородного флюида во втором теплообменнике предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием второго потока предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из второго теплообменника

предварительного охлаждения при второй температуре предварительного охлаждения, при этом второй теплообменник предварительного охлаждения имеет такую же холодопроизводительность, как и первый теплообменник предварительного охлаждения.

Аспект 11: Способ сжижения углеводородного сырьевого потока в основном теплообменнике, при котором основной теплообменник является спирально-витым теплообменником, который имеет трубное пространство, межтрубное пространство, холодный конец и теплый конец, при этом способ включает:

(а) подачу сырьевого потока углеводородного флюида при первой температуре подачи;

(б) охлаждение сырьевого потока углеводородного флюида в первом теплообменнике предварительного охлаждения с образованием первого потока предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из первого теплообменника предварительного охлаждения при первой температуре предварительного охлаждения;

(в) выведение первого испарившегося потока смешанного хладагента низкого давления из межтрубного пространства основного теплообменника;

(г) сжатие и охлаждение испарившегося потока смешанного хладагента низкого давления с образованием результирующего потока хладагента при первой результирующей температуре хладагента;

(д) разделение результирующего потока хладагента на первый результирующий поток смешанного хладагента, который является парообразным, и второй результирующий поток смешанного хладагента, который является жидкостью;

(е) введение первого результирующего потока смешанного хладагента в трубное пространство основного теплообменника;

(ж) охлаждение первого результирующего потока смешанного хладагента в трубном пространстве основного теплообменника;

(з) выведение и расширение охлажденного первого результирующего потока смешанного хладагента из трубного пространства основного теплообменника во втором местоположении, чтобы создать дросселированный первый результирующий поток смешанного хладагента;

(и) введение дросселированного первого результирующего потока смешанного хладагента в межтрубное пространство основного теплообменника в первом местоположении;

(к) введение второго результирующего потока смешанного хладагента в трубное пространство дополнительного теплообменника;

(л) охлаждение второго результирующего потока смешанного хладагента посредством второго дросселированного потока смешанного хладагента, проходящего через межтрубное пространство дополнительного теплообменника, с образованием охлажденного второго результирующего потока смешанного хладагента;

5 (м) выведение охлажденного второго результирующего потока смешанного хладагента из трубного пространства дополнительного теплообменника;

(н) расширение и введение по меньшей мере первой части охлажденного второго результирующего потока смешанного хладагента в межтрубное пространство основного теплообменника во втором местоположении, при этом второе местоположение
10 находится ближе к теплomu концу основного теплообменника, чем первое местоположение.

Аспект 12: Способ по аспекту 11, дополнительно включающий:

(п) выведение второго испарившегося потока смешанного хладагента низкого давления из межтрубного пространства дополнительного теплообменника;

15 (р) объединение второго испарившегося потока смешанного хладагента низкого давления с первым испарившимся потоком смешанного хладагента низкого давления перед выполнением этапа (г).

Аспект 13: Способ по любому из аспектов 11, 12, при котором этап (л) включает:

(л) охлаждение второго результирующего потока смешанного хладагента
20 посредством второго дросселированного потока смешанного хладагента, проходящего через межтрубное пространство вспомогательного теплообменника, с образованием второго охлажденного результирующего потока смешанного хладагента, при этом второй дросселированный поток смешанного хладагента выбран из группы, состоящей из: фракции второго результирующего смешанного хладагента, второго смешанного
25 хладагента, который является частью замкнутого контура холодоснабжения.

Аспект 14: Способ по любому из аспектов 11-13, при котором этап (л) включает:

(м) охлаждение второго результирующего потока смешанного хладагента посредством второго дросселированного потока смешанного хладагента, проходящего
30 через межтрубное пространство дополнительного теплообменника, чтобы получить охлажденный второй результирующий поток смешанного хладагента, при этом второй дросселированный поток смешанного хладагента является вторым смешанным хладагентом, который является частью замкнутого контура холодоснабжения.

Аспект 15: Аппарат для сжижения углеводородного флюида, при этом аппарат включает:

35 подсистему предварительного охлаждения, соединенную по текучей среде с сырьевым потоком углеводородного флюида и функционально выполненную с возможностью охлаждения сырьевого потока углеводородного флюида до температуры ниже температуры окружающей среды путем косвенного теплообмена с первым хладагентом для создания потока предварительно охлажденного углеводородного флюида и
40 возможностью охлаждения потока второго хладагента посредством первого хладагента с целью получения предварительно охлажденного потока второго хладагента, при этом первый и второй хладагенты, каждый, включает смешанный хладагент; подсистему предварительного охлаждения, включающую первый теплообменник предварительного охлаждения и второй теплообменник предварительного охлаждения; при этом первый
45 теплообменник предварительного охлаждения функционально выполнен с возможностью охлаждать первый набор из флюидных потоков, включающий по меньшей мере один флюидный поток, путем косвенного теплообмена с первым хладагентом; второй теплообменник предварительного охлаждения функционально

выполнен с возможностью охлаждать второй набор из флюидных потоков, включающий по меньшей мере один флюидный поток, путем косвенного теплообмена с первым хладагентом, при этом по меньшей мере один из первого и второго флюидных потоков включает углеводородный флюид и по меньшей мере один из первого и второго флюидных потоков включает второй хладагент; и

5 основной теплообменник, попарно соединенную по текучей среде с подсистемой предварительного охлаждения и функционально выполненный с возможностью получать поток предварительно охлажденного углеводородного флюида и предварительно охлажденный поток второго хладагента и охлаждать поток предварительно
10 охлажденного углеводородного флюида путем косвенного теплообмена со вторым хладагентом, чтобы создать продуктовый поток углеводородного флюида, который, по меньшей мере частично, сжижен;

при этом первый и второй хладагенты - оба являются смешанными хладагентами;

при этом один из первого и второго наборов флюидных потоков имеет по меньшей
15 мере один флюидный поток, имеющий состав, который не обнаруживается ни в каком флюидном потоке другого из первого и второго набора флюидных потоков; и

и при этом каждый из первого набора флюидных потоков входит и выходит в/из первого теплообменника предварительного охлаждения, по существу, при той же температуре, при которой каждый из второго набора флюидных потоков входит и
20 выходит в/из второго теплообменника предварительного охлаждения.

Аспект 16: Аппарат по аспекту 15, в котором холодопроизводительность для первого и второго теплообменников предварительного охлаждения обеспечивается единственно за счет первого хладагента, а холодопроизводительность для основного теплообменника обеспечивается единственно за счет второго хладагента.

25 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖА(-ЕЙ)

Вышеприведенное краткое изложение, а также нижеследующее подробное описание примерных вариантов воплощения изобретения будет более понятно при чтении вместе с прилагаемыми чертежами. В целях иллюстрации вариантов воплощения изобретения на чертежах показаны примерные конструкции изобретения, однако, изобретение не
30 ограничено конкретными раскрытыми способами и устройствами. На чертежах:

ФИГ. 1 является схематической технологической схемой способа и системы сжижения газа в соответствии с предыдущим уровнем техники.

ФИГ. 2 является схематической технологической схемой способа и системы сжижения газа в соответствии с первым иллюстративным вариантом воплощения настоящего
35 изобретения.

ФИГ. 3 является схематической технологической схемой способа и системы сжижения газа в соответствии со вторым иллюстративным вариантом воплощения настоящего изобретения.

ФИГ. 4 является схематической технологической схемой способа и системы сжижения
40 газа в соответствии с третьим иллюстративным вариантом воплощения настоящего изобретения.

ФИГ. 5 является схематической технологической схемой способа и системы сжижения газа в соответствии с четвертым иллюстративным вариантом воплощения настоящего изобретения.

45 ФИГ. 6 является схематической технологической схемой способа и системы сжижения газа в соответствии с пятым иллюстративным вариантом воплощения настоящего изобретения.

ФИГ. 7 является схематической технологической схемой способа и системы сжижения

газа в соответствии с шестым иллюстративным вариантом воплощения настоящего изобретения.

ФИГ. 8 является схематической технологической схемой способа и системы сжижения газа в соответствии с седьмым иллюстративным вариантом воплощения настоящего изобретения.

ФИГ. 9 является схематической технологической схемой способа и системы сжижения газа в соответствии с восьмым иллюстративным вариантом воплощения настоящего изобретения.

ФИГ. 10 является графиком, показывающим кривые охлаждения для хладагентов в соответствии с вариантом воплощения изобретения на ФИГ. 2.

ФИГ. 11 является графиком, показывающим кривые охлаждения для хладагентов в соответствии с вариантом воплощения изобретения на ФИГ. 2.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО(-ЫХ) ВАРИАНТА(-ОВ) ВОПЛОЩЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Последующее подробное описание предоставляет только предпочтительные примерные варианты воплощения изобретения и не предназначено для ограничения объема, применимости или конфигурации заявленного изобретения. Скорее, последующее подробное описание предпочтительных примерных вариантов воплощения изобретения обеспечит специалистов в этой области техники описанием, позволяющим реализовать предпочтительные примерные варианты воплощения заявленного изобретения. Различные изменения могут быть внесены в функции и расположение элементов, не выходя за пределы сущности и объема заявленного изобретения.

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.

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.

Термины, указывающие направления, могут быть использованы в описании и формуле изобретения для описания частей настоящего изобретения (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 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.

Если не указано иное, то любой и все проценты, определенные в описании, на чертежах и в формуле изобретения, следует понимать как весовой процент. Если не указано иное, то любое и все давления, определенные в описании, на чертежах и в формуле изобретения, следует понимать как среднее манометрическое давление.

Термины «сообщение по потоку флюида», «соединение по флюиду» и «попарное соединение по флюиду», используемые в описании и формуле изобретения, относятся 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, так что они находятся в сообщении по потоку флюида 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, с помощью клапанов, вентилях или других устройств, которые могут выборочно ограничить или направить поток флюида.

Термин «канал», используемый в описании и формуле изобретения, относится к одной или более структурам, 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.

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

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

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.

При использовании в контексте сравнения нескольких температур термин «по существу равны», используемый в описании и формуле изобретения, означает, что разница температур составляет не больше чем 20°C и, более предпочтительно, не больше чем 10°C.

При использовании в контексте фазы флюида термин «в значительной степени», используемый в описании и формуле изобретения, означает, что описываемый флюид состоит по меньшей мере на 90% из этой фазы и, более предпочтительно, по меньшей мере на 95% из этой фазы. Например, «в значительной степени паровой» флюид должен содержать по меньшей мере 90% пара (более предпочтительно по меньшей мере 95%).

На ФИГ. 1 показана примерная система сжижения природного газа 100 предыдущего уровня техники. В этой системе 100 сырьевой природный газ 101 охлаждают в подсистеме предварительного охлаждения 112 до температуры ниже температуры окружающей среды, используя один теплообменник предварительного охлаждения 140. Полученный в результате поток 102 дополнительно охлаждают и полностью конденсируют (сжижают) в спирально-витом основном криогенном теплообменнике (ОКТ) 146, чтобы получить готовый продукт - сжиженный природный газ (СПГ) 104. Поток предварительно охлажденного смешанного хладагента 110 (часто называемый теплым ТХ или ТСХ) сжимают в компрессоре 111 и охлаждают, предпочтительно сжижают, в теплообменнике предварительного охлаждения 113. Теплообменник предварительного охлаждения 113 можно подразделить на несколько теплообменников, таких как пароохладитель, вторичный охладитель и/или конденсатор. Полученный в результате поток 114, в значительной степени жидкий при температуре окружающей среды, дополнительно охлаждают в теплообменнике предварительного охлаждения 140. Полученный в результате поток 115 при температуре ниже температуры окружающей среды дросселируют через клапан 117 и вводят в межтрубное пространство теплообменника предварительного охлаждения 140. Испарившийся ТСХ обеспечивает холодоснабжение в теплообменнике предварительного охлаждения 140, превращаясь

в полностью испарившийся поток ТСХ 110, который замыкает теплый контур цикла холодоснабжения.

Другой поток смешанного хладагента 120 (часто называемый холодным СХ или ХСХ) сжимают в компрессоре 121 и охлаждают в теплообменнике 123. Теплообменник 123 может быть разделен на несколько теплообменников, таких как пароохладитель и/или вторичный охладитель. Полученный в результате поток 124, который в значительной степени содержит пар и находится при температуре окружающей среды, дополнительно охлаждают и частично сжижают в теплообменнике предварительного охлаждения 140. Полученный в результате двухфазный поток 125 (при температуре ниже температуры окружающей среды) разделяют в фазовом сепараторе 144 на поток пара ХСХ 126 (ХСХП) и поток жидкого ХСХ 127 (ХСХЖ). Поток ХСХЖ 127 охлаждают в ОКТ 146, затем полученный в результате поток 128 при промежуточной низкой температуре дросселируют через клапан 129 и вводят в межтрубное пространство ОКТ 146 в промежуточной позиции, обычно выше теплого трубного пучка 143. Поток ХСХП 126 охлаждают и конденсируют в ОКТ. Поток ХСХП 130, теперь полностью сжиженный, дросселируют через клапан 131 и вводят в межтрубное пространство ОКТ 146 на холодном конце, выше холодного трубного пучка 145. Испарившийся ХСХ обеспечивает холодоснабжение в ОКТ 146. Полностью испарившийся ХСХ становится потоком 120, замыкая холодный контур цикла холодоснабжения.

Как известно в данной области техники, теплообменником 140 предварительного охлаждения может быть несколько идентичных параллельных узлов, например, два или три узла (не показаны). Аналогично компрессор 111 и охладитель 113 могут быть несколькими идентичными параллельными узлами.

Варианты воплощения настоящего изобретения предлагают новое усовершенствование по сравнению с предыдущим уровнем техники путем использования нескольких асимметричных теплообменников предварительного охлаждения. На ФИГ. 2 показан один иллюстративный вариант воплощения настоящего изобретения, в котором подсистема предварительного охлаждения 212 включает два параллельных теплообменника предварительного охлаждения. Сырьевой природный газ 201 охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 240 до температуры ниже температуры окружающей среды. Полученный в результате поток 202 дополнительно охлаждают и полностью конденсируют (сжижают) в ОКТ 246, предпочтительно спирально-витого типа, чтобы получить продукт СПГ 204. Поток предварительно охлажденного смешанного хладагента 210, ТСХ, сжимают в компрессоре 211 и охлаждают, и, предпочтительно, полностью конденсируют в теплообменнике-охладителе 213. Теплообменник-охладитель 213 можно подразделить на несколько теплообменников, таких как пароохладитель, вторичный охладитель и/или конденсатор. Полученный в результате поток 214, в значительной степени жидкий при температуре, соответствующей примерно температуре окружающей среды, дополнительно охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 240 с получением потока 215, который находится при температуре ниже температуры окружающей среды. Этот поток 215 распределяют между межтрубными пространствами первого теплообменника предварительного охлаждения 240 и второго теплообменника предварительного охлаждения 242 после дросселирования через клапаны 217 и 216, соответственно. Распределение этого потока 215 обычно определяется на основе рабочих условий конкретной системы 200. Испарившийся ТСХ обеспечивает холодоснабжение двух вышеупомянутых теплообменников предварительного охлаждения 240, 242. Следовательно, ТСХ обеспечивает охлаждение потока жидкого

ТСХ высокого давления 214 (автоохлаждение). Полностью испарившиеся потоки ТСХ 218 и 219 объединяют с образованием вышеупомянутого потока 210, замыкая контур теплового цикла холодоснабжения.

5 Другой поток смешанного хладагента 220, холодный СХ или ХСХ, сжимают в компрессоре 221 и охлаждают в теплообменнике 223. Теплообменник 223 может быть разделен на несколько теплообменников, таких как пароохладитель и/или вторичный охладитель. Полученный в результате поток 224, который в значительной степени содержит пар и находится приблизительно при температуре окружающей среды, дополнительно охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 10 242. Полученный в результате двухфазный поток 225 при температуре ниже температуры окружающей среды разделяют в фазовом сепараторе 244 на поток пара ХСХ 226 (ХСХП) и поток жидкого ХСХ 227 (ХСХЖ). Поток ХСХЖ 227 охлаждают в ОКТ 246. Полученный в результате поток ХСХ 228 при промежуточной низкой температуре дросселируют через клапан 229 и вводят в межтрубное пространство ОКТ 246 в 15 промежуточной позиции, обычно выше теплового трубного пучка 243. Поток ХСХП 226 охлаждают и конденсируют в ОКТ 246. Полученный в результате поток ХСХП 230 (теперь полностью сжиженный) вводят в межтрубное пространство ОКТ 246 на холодном конце, выше холодного трубного пучка 245. Испарившийся ХСХ обеспечивает холодоснабжение в ОКТ 246. Полностью испарившийся ХСХ становится потоком 220, 20 замыкая холодный контур цикла холодоснабжения.

Заявители обнаружили, что выгодно охлаждать сырьевой природный газ 201 и ТСХ 214 в одном и том же теплообменнике, поскольку сырьевой природный газ 201 обычно находится при сверхкритическом давлении и не подвергается резкому фазовому переходу в первом теплообменнике предварительного охлаждения 240. ТСХ 214 полностью 25 конденсируется (до жидкости) и также не подвергается фазовому изменению. Напротив, газообразный ХСХ 224 частично конденсируется при прохождении через второй теплообменник предварительного охлаждения 242. Первый и второй теплообменники предварительного охлаждения предпочтительно имеют различную геометрию, чтобы соответствовать разной нагрузке (явной или скрытой) и различным кривым охлаждения. 30 Однако специалистам в данной области техники должно быть понятно, что ХСХ 224 может быть охлажден в первом теплообменнике предварительного охлаждения, а ТСХ 214 может быть охлажден во втором теплообменнике предварительного охлаждения.

Термин «различная геометрия», используемый здесь в контексте сравнения нескольких теплообменников, означает, что теплообменники, которые сравнивают, различаются 35 по меньшей мере по одной из следующих характеристик: длина, диаметр, внешний диаметр оправки, толщина прокладки, количество прокладок, внутренний диаметр труб, внешний диаметр труб, длина труб, шаг труб, угол навивки труб и расчетное давление (номинальное давление).

Поскольку два теплообменника предварительного охлаждения 240, 242 могут иметь 40 различную тепловую нагрузку, они могут управляться независимо и не требуют сбалаंसирования. Регулируемые переменные могут включать, но не ограничиваются ими, температуры на холодном конце и температуры в межтрубном пространстве на теплом конце.

На ФИГ. 3 показан другой иллюстративный вариант воплощения настоящего 45 изобретения 300. В этом варианте воплощения изобретения элементы, общие со вторым вариантом воплощения изобретения (Система 200), представлены номерами позиций, увеличенными на 100 единиц. Например, ОКТ 246 на ФИГ. 2 соответствует ОКТ 346 на ФИГ. 3. Для лучшего понимания некоторым элементам этого варианта воплощения

изобретения, которые являются общими со вторым вариантом воплощения изобретения, присвоены номера позиций на ФИГ. 3, но они не повторяются в описании. Если номер позиции, представленный в этом варианте воплощения изобретения, не обсуждается в описании, то следует понимать, что он идентичен соответствующему элементу второго варианта воплощения изобретения. Эти же принципы применяют к каждому последующему иллюстративному варианту воплощения изобретения.

В этом варианте воплощения изобретения отдельный контур холодоснабжения предлагается для второго теплообменника предварительного охлаждения 342. Второй поток предварительно охлажденного смешанного хладагента 347 (второй ТСХ) сжимают в компрессоре 348 и охлаждают, и, предпочтительно, полностью сжижают в теплообменнике охлаждения 349. Полученный в результате поток 350, в значительной степени жидкий приблизительно при температуре окружающей среды, дополнительно охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 342. Поток 351 при температуре ниже температуры окружающей среды вводят в межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения 342 после дросселирования через клапан 316. Испарившийся второй ТСХ обеспечивает охлаждение во втором теплообменнике предварительного охлаждения. Следовательно, второй ТСХ 342 обеспечивает охлаждение для второго потока жидкого ТСХ высокого давления 350 (автоохлаждение). Эта конфигурация добавляет еще одну степень свободы: возможность выбирать другой состав ТСХ для двух предварительно охлажденных потоков СХ 310 и 347 с целью лучшего соответствия различным кривым охлаждения.

Специалистам в данной области техники понятно, что любые жидкостные затворы можно заменить гидравлическими турбинами (изоэнтропными детандерами плотной текучей среды).

На ФИГ. 4 показан другой иллюстративный вариант воплощения системы настоящего изобретения 400. В этой системе 400 все три холодных потока 401, 452, 414 проходят через первый теплообменник предварительного охлаждения 440. Второй теплообменник предварительного охлаждения охлаждает часть ХСХ 453. Этот вариант воплощения изобретения особенно подходит для применения при реконструкции.

Поток ХСХ высокого давления 424 распределяют между первым и вторым теплообменниками предварительного охлаждения 440 и 442 как отдельные потоки 452 и 453, соответственно. Полученные холодные потоки 454 и 455 вновь объединяют в единственный поток 425.

Эта конфигурация позволяет увеличить доступную площадь теплообмена (ПТ) и понизить падение давления. Этот вариант воплощения изобретения может потребовать или может не потребовать внесение модификаций в компрессор ХСХ 421 (другие колеса, несколько параллельных узлов и тому подобное) и вторичный охладитель 423 из-за увеличения потока СХ.

На ФИГ. 5 показан другой иллюстративный вариант воплощения системы настоящего изобретения 500, имеющий подсистему предварительного охлаждения 512, которая включает скрубберную колонну 559 для удаления тяжелых компонентов, которые можно извлекать как легкий нефтяной газ (ЛНГ) и/или газо-конденсатную жидкость (ГКЖ). Сырьевой природный газ 501, при необходимости, охлаждают в питающем экономайзере теплообменника 557 с потоком 558, который подлежит введению в скрубберную колонну 559. Скрубберная колонна 559 включает стриппинг-секцию 533 и может включать ректификационную секцию 532 и ребойлер 534. Полученный в результате кубовый поток 560, содержащий компоненты ЛНГ и/или ГКЖ, выводят из куба колонны. Поток верхнего погона 561, при необходимости, повторно нагревают

в экономайзере теплообменника 557 и полученный поток 562 вводят в первый теплообменник предварительного охлаждения 540. Полученный двухфазный поток 563, при температуре ниже температуры окружающей среды, разделяют в фазовом сепараторе 556 на поток флегмы 564 и обедненный тяжелым компонентом поток НГ 502. Обедненный тяжелым компонентом поток НГ 502 сжижают в ОКТ 546, в то время как поток флегмы 564 вводят в верхнюю часть скрубберной колонны посредством перекачки или давления жидкости, которое превышает перепад давления в первом теплообменнике предварительного охлаждения 540.

В случае скрубберной колонны 559 сырьевой поток природного газа 501 должен находиться в субкритическом состоянии и претерпевать фазовое изменение (конденсацию). Поэтому имеет смысл совместить две услуги по конденсации (сырьевого природного газа 501 и ХСХ 524) в одном теплообменнике 540, при этом явная тепловая нагрузка (ТСХ 514) реализуется в другом теплообменнике 542.

Специалистам в данной области техники должно быть очевидно, что, при необходимости, повторно нагретый поток верхнего погона 562 также может быть охлажден во втором теплообменнике 542 (две скрытые тепловые нагрузки конденсации в одном теплообменнике). Второй теплообменник 542 альтернативно может быть охлажден посредством отдельного контура, как показано для системы 300 на ФИГ. 3.

На ФИГ. 6 показана конфигурация 600, где сырьевой поток природного газа 601 разделяют, чтобы сбалансировать два теплообменника предварительного охлаждения 640 и 642, которые имеют одинаковые тепловые нагрузки. Сырьевой поток 601 разделяют на два потока 665 и 667, которые, в этом варианте воплощения изобретения, могут иметь одинаковые расходы (47% и 53% от расхода потока 601, соответственно, в одном примере). Первый сырьевой поток 665 охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 640, чтобы получить первый охлажденный сырьевой поток 666. Второй сырьевой поток 667 охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 642, чтобы получить второй охлажденный сырьевой поток 668. Затем первый и второй охлажденные сырьевые потоки 666 и 668 объединяют в один поток 602, который вводят в ОКТ 646. В этом варианте воплощения изобретения первый теплообменник предварительного охлаждения 640 является теплообменником с явной тепловой нагрузкой (то есть без фазового изменения). Этот вариант воплощения изобретения хорошо подходит для достижения максимальной производительности установки и будет давать больше продукции, чем можно достичь с использованием теплообменника предварительного охлаждения, имеющего идентичные входные и выходными потоки, и может работать более эффективно при том же объеме производства.

На ФИГ. 7 показана система 700, имеющая конфигурацию для ТСХ высокого и низкого давления. В этом варианте воплощения изобретения сырьевой поток природного газа 701 охлаждают до промежуточной температуры предварительного охлаждения в первом теплообменнике предварительного охлаждения 740. Полученный в результате поток 769 дополнительно охлаждают до конечной температуры предварительного охлаждения в третьем (холодном) теплообменнике предварительного охлаждения 777. Поток ХСХ 776, выходящий из второго теплообменника предварительного охлаждения 742 при промежуточной температуре предварительного охлаждения, охлаждают до конечной температуры предварительного охлаждения в третьем теплообменнике предварительного охлаждения 777. Часть потока ТСХ 715 выделяют в отдельный поток 773, также при промежуточной температуре предварительного охлаждения, и дополнительно охлаждают в третьем теплообменнике предварительного охлаждения 777 до конечной температуры предварительного охлаждения. Полученный в результате

поток 774 дросселируют через клапан 775 до давления ниже, чем давление на выходе клапанов, ведущих к первому и второму теплообменникам предварительного охлаждения 717 и 716, чтобы обеспечить холодоснабжение для третьего теплообменника предварительного охлаждения. Полученный поток пара 770 при температуре ниже температуры окружающей среды сжимают в компрессоре ТСХ низкого давления 771. Полученный поток 772 может быть охлажден до примерно температуры окружающей среды. Обычно его просто объединяют с дросселированными потоками СХ 718 и 719 из первого и второго теплообменников предварительного охлаждения с образованием объединенного потока 710. Таким образом, давление всасывания компрессора ТСХ 711 и давления в межтрубном пространстве первого и второго теплообменников предварительного охлаждения 740 и 742 выше, чем давление всасывания компрессора ТСХ низкого давления 771 и давление в межтрубном пространстве третьего теплообменника предварительного охлаждения 777.

Эта конфигурация может повысить производительность при реконструкции. Теплообменники можно расположить вплотную друг к другу.

На ФИГ. 8 показана система 800, имеющая ОКТ 846, аналогичный тому, что показан на фигурах 2-7. Системы предварительного охлаждения 878 и 879 могут быть теплообменниками предварительного охлаждения, аналогичными тем, что показаны на предыдущих фигурах. Они могут использовать смешанный хладагент или чистый хладагент, испаряющиеся в серии теплообменников, таких как в предварительном трехуровневом охлаждении пропаном (ЦЗСХ), или могут использовать другие средства охлаждения, такие как абсорбционное охлаждение бромидом лития. Системы предварительного охлаждения могут иметь общий хладагент и/или оборудование.

Важной особенностью этого варианта воплощения изобретения является использование дополнительного теплообменника 880 для охлаждения потока жидкого ХСХ 827. Дополнительный теплообменник 880 работает параллельно с теплым трубным пучком ОКТ 846. Охлажденный поток жидкого ХСХ 893 разделяют на два потока 881 и 882 и дросселируют через клапаны 829 и 883 для обеспечения холодоснабжения обоих теплообменников 846 и 880. Испарившийся поток СХ низкого давления 884 из межтрубного пространства дополнительного теплообменника 880 объединяют с испарившимся потоком СХ низкого давления 820 из межтрубного пространства ОКТ 846, формируя входной поток 892 в компрессор ХСХ 821 и замыкая цикл холодоснабжения.

Этот вариант воплощения изобретения может обеспечить более высокую производительность и может работать более эффективно при том же объеме выпуска продукции, чем при размещении контура СХЖ в ОКТ 846.

Для специалиста в данной области техники очевидно, что в качестве альтернативы поток жидкого ХСХ 827 из фазового сепаратора высокого давления 844 может быть распределен между ОКТ 846 и дополнительным теплообменником 880. В этой конфигурации ОКТ 846 содержит оба потока - поток жидкого ХСХ 827 и поток пара ХСХ 826. Эта конфигурация подходит для реконструкции с целью увеличения объема производства, поскольку дополнительный теплообменник 880 и связанные с ним каналы и оборудование могут быть добавлены к существующей системе без внесения существенных изменений в ОКТ 846.

На ФИГ. 9 показана система 900, аналогичная системе на ФИГ. 8, но с отдельным контуром холодоснабжения. Поток испарившегося СХ низкого давления 985 из межтрубного пространства дополнительного теплообменника 980 сжимают в дополнительном компрессоре 986, охлаждают в дополнительном вторичном охладителе

987 и дополнительно охлаждают в дополнительной системе предварительного охлаждения 988. Полученный в результате поток СХ 989, предпочтительно, полностью сконденсирован. Его далее охлаждают в дополнительном теплообменнике 980 и полученный поток 990 дросселируют через клапан 991 в дополнительный теплообменник 980 для обеспечения охлаждения потока жидкого ХСХ 927 из фазового сепаратора высокого давления 944.

Аналогично конфигурации, показанной на ФИГ. 8, поток жидкого ХСХ 927 из фазового сепаратора высокого давления 944 можно разделить и охладить одновременно в ОКТ 946 и дополнительном теплообменнике 980. Эта конфигурация также хорошо подходит для выполнения реконструкции на существующем заводе.

На ФИГ. 10 показаны кривые охлаждения (зависимость температуры теплого и холодного потоков от тепловой нагрузки) для теплообменника 240, показанного на ФИГ. 2. Поскольку оба потока, сырьевой и ТСХ, не претерпевают фазового изменения, кривая горячего потока (сплошная) является почти прямой линией. На ФИГ. 11 показаны кривые охлаждения для теплообменника 242, представленного на ФИГ. 2. Поскольку ХСХ претерпевает фазовое изменение, кривая горячего потока (сплошная) является кривой линией. Это указывает на то, что выгоднее использовать другую геометрию теплообменника предварительного охлаждения для второго теплообменника предварительного охлаждения по сравнению с геометрией теплообменника предварительного охлаждения 240.

ПРИМЕРЫ

Пример 1

В соответствии с ФИГ. 2, 18450 фунт-моль/час (8369 кмоль/час) природного газа 201, содержащего 3,4% азота, 90% метана, 5% этана, 1,5% пропана, тяжелые углеводороды до баланса, при давлении, равном 1030 фунт/кв. дюйм абс. (7102 кПа) и температуре 118°F (321 К, 48°C), сжижают. Вначале его охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 240 до минус 8°F (251 К, -22°C). Затем его охлаждают и сжижают в основном криогенном теплообменнике (ОКТ) 246. Поток 204 выходит из ОКТ при температуре минус 241,4°F (121,3 К, -151,9°C).

93390 фунт-моль/час (42361 кмоль/час) предварительно охлажденного (теплого) СХ (ТСХ) 210, содержащего 1,5% метана, 52% этана, 2,6% пропана, н-бутана и изобутана до баланса, сжимают в компрессоре ТСХ 211 до 565 фунт/кв. дюйм абс. (3900 кПа) и охлаждают в теплообменнике-охладителе 213 до 118°F (321 К, 48°C). Полученный в результате почти насыщенный жидкий поток 214 дополнительно охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 240 до минус 8°F (251 К, -22°C). Затем полученный поток 215 разделяют на два потока. Первый поток, составляющий 52% от общего потока, дросселируют через клапан 217 до давления 98 фунт/кв. дюйм абс. (676 кПа) и вводят в межтрубное пространство первого теплообменника предварительного охлаждения 240, чтобы обеспечить холодопроизводительность.

Второй поток, составляющий 48% от общего потока, дросселируют через клапан 216 примерно до такого же давления и вводят в межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения 242 с такой же целью. Два потока нагреваются в двух теплообменниках предварительного охлаждения до примерно входной температуры, равной 118°F (321 К, 48°C). Полностью испарившийся поток ТСХ 218 из первого теплообменника предварительного охлаждения 240 и полностью испарившийся поток ТСХ 219 из второго теплообменника предварительного охлаждения 242 снова объединяют в поток 210 и направляют на всасывание компрессора ТСХ 211.

100990 фунт-моль/час (45808 кмоль/час) холодного СХ (ХСХ) 220, содержащего

5,4% азота, 42% метана, 37% этана, 11% пропана, н-бутана и изобутена до баланса, сжимают в компрессоре ХСХ 221 до 890 фунт/кв. дюйм абс. (6136 кПа) и охлаждают во вторичном охладителе ХСХ 223 до 118°F (321 К, 48°C). Полученный в результате

5
10
15
поток пара 224 дополнительно охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 242 до минус 8°F (251 К, -22°C). Полученный поток 225, теперь содержащий 28% пара (СХП) и 72% жидкости (СХЖ), подают в фазовый сепаратор высокого давления 244. Поток СХЖ 227 дополнительно охлаждают в ОКТ 246 до минус 193°F (148 К, -125°C) и понижают в давлении в детандере для плотной текучей среды (гидравлической турбине) (не показана), а затем в клапане 229 до давления около 52
10
15
фунт/кв. дюйм абс. (360 кПа), и вводят в межтрубное пространство ОКТ 246. Поток СХП 226 дополнительно охлаждают в ОКТ 246 до минус 241,4°F (121,3 К, -151,9°C). Полученный поток 230 дросселируют через клапан 231 до примерно такого же давления, как у СХЖ, и также вводят в межтрубное пространство ОКТ 246. Они оба обеспечивают холодоснабжение для ОКТ 246. Они нагреваются до примерно входной температуры, равной минус 8°F (251 К, -22°C), и поступают как поток 220 на всасывание в компрессор ХСХ 221.

Пример 2

В соответствии с ФИГ. 6, 124291 фунт-моль/час (56377 кмоль/час) природного газа, содержащего 0,2% азота, 97,8% метана, 1,3% этана, 0,5% пропана, 0,2% н-бутана и
20
изобутена, и тяжелые углеводороды до баланса, при давлении, равном 1320 фунт/кв. дюйм абс. (9101 кПа), и температуре 75,2°F (297 К, 24°C) сжижают. Его разделяют на два потока 665 и 667. Первый сырьевой поток 665, составляющий 48,4% от общего
25
потока, охлаждают в первом теплообменнике предварительного охлаждения 640 до минус 70,1°F (216 К, -56,7°C). Второй сырьевой поток 667, составляющий 51,6% от
30
общего потока, охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 642 до такой же температуры, равной минус 70,1°F (216 К, -56,7°C). Полученные два
предварительно охлажденные сырьевые потоки 666 и 668 объединяют в поток 602 и
затем охлаждают, и сжижают в основном криогенном теплообменнике 646 (ОКТ),
после чего выводят из ОКТ при минус 245,8°F (119 К, -154,3°C).

30
35
40
45
135035 фунт-моль/час (61251 кмоль/час) предварительно охлажденного теплого СХ (ТСХ) 610, содержащего 2,5% метана, 60,3% этана, 1,6% пропана, н-бутана и изобутена до баланса, сжимают в компрессоре ТСХ 611 до 388 фунт/кв. дюйм абс. (2675 кПа) и охлаждают в теплообменнике для охлаждения 613 до 75,2°F (297 К, 24°C). Полученный почти насыщенный жидкий поток 614 дополнительно охлаждают в первом
35
теплообменнике предварительного охлаждения 640 до минус 70,1°F (216 К, -56,7°C). Затем его разделяют на два потока. Первый поток, составляющий приблизительно 50% общего потока, дросселируют через клапан 617 до давления 45 фунт/кв. дюйм абс. (310 кПа) и вводят в межтрубное пространство первого теплообменника предварительного
40
охлаждения 640, чтобы обеспечить холодопроизводительность. Второй поток дросселируют через клапан 616 примерно до такого же давления и вводят в межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения 642 с такой же
целью. Два потока нагреваются в двух теплообменниках предварительного охлаждения до примерно входной температуры, равной 75,2°F (297 К, 24°C). Полностью
45
испарившийся поток ТСХ 618 из первого теплообменника предварительного охлаждения 640 и полностью испарившийся поток ТСХ 619 из второго теплообменника предварительного охлаждения 642 снова объединяют в поток 610 и направляют к всасыванию компрессора ТСХ 611. Если температура теплого конца становится примерно одинаковой на обоих теплообменниках предварительного охлаждения 640

и 642, то поток ТСХ распределяется между двумя теплообменниками предварительного охлаждения поровну 50% и 50%. Тепловые нагрузки двух теплообменников предварительного охлаждения примерно равны.

124760 фунт-моль/час (56590 кмоль/час) холодного СХ (ХСХ) 620, содержащего 10,84% азота, 50,55% метана, 33,73% этана, 4,84% пропана, н-бутана и изобутена до баланса, сжимают в компрессоре ХСХ 621 до 839 фунт/кв. дюйм абс. (5785 кПа) и охлаждаются в теплообменнике для охлаждения 623 до 75,2°F (297 К, 24°C). Полученный в результате пар 624 дополнительно охлаждают во втором теплообменнике предварительного охлаждения 642 до минус 70,1°F (216 К, -56,7°C). Получают 27% пара (ХСХП) и 73% жидкости (ХСХЖ). Поток ХСХЖ 627 дополнительно охлаждают в теплом трубном пучке ОКТ 643 до минус 207°F (140 К, -132,7°C) и понижают в давлении в детандере для плотной текучей среды (гидравлической турбине, не показана) и затем в клапане 629 до давления примерно 72 фунт/кв. дюйм абс. (496 кПа), и вводят в межтрубное пространство ОКТ 646. Поток ХСХП 626 дополнительно охлаждают в холодном трубном пучке ОКТ 645 до минус 245,8°F (119 К, -154,3°C), дросселируют через клапан 631 до примерно такого же давления, как у ХСХЖ, и также вводят в межтрубное пространство ОКТ 646. Оба из потока ХСХП 630 и потока ХСХЖ 628 обеспечивают холодоснабжение для ОКТ 646. Они нагреваются до примерно входной температуры, равной 75,2°F (297 К, 24°C), и поступают на всасывание в компрессор ХСХ 621.

(57) Формула изобретения

1. Способ сжижения углеводородного сырьевого потока, включающий:

- (а) подачу сырьевого потока (601) углеводородного флюида при первой температуре подачи;
- (б) разделение сырьевого потока углеводородного флюида на первую часть (665) и вторую часть (667);
- (в) охлаждение первой части (665) сырьевого потока углеводородного флюида в первом теплообменнике (640) предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием первого потока (666) предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из первого теплообменника предварительного охлаждения при первой температуре предварительного охлаждения;
- (г) охлаждение второй части (667) сырьевого потока углеводородного флюида во втором теплообменнике (642) предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием второго потока (668) предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из второго теплообменника предварительного охлаждения при второй температуре предварительного охлаждения;
- (д) выведение испарившегося потока (620) второго смешанного хладагента из межтрубного пространства основного теплообменника (646);
- (е) сжатие (621) и охлаждение (623) испарившегося потока (620) второго смешанного хладагента с получением результирующего потока (624) второго смешанного хладагента при результирующей температуре второго смешанного хладагента, при этом результирующая температура второго смешанного хладагента, по существу, равна первой температуре подачи, причем температуры по существу равны, если они отличаются на не более чем 20 °С;
- (ж) охлаждение результирующего потока (624) второго смешанного хладагента во втором теплообменнике (642) предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием потока (625) предварительно охлажденного

второго смешанного хладагента, который выходит из второго теплообменника предварительного охлаждения при третьей температуре предварительного охлаждения;

5 (з) объединение первого потока (666) предварительно охлажденного углеводородного флюида и второго потока (668) предварительно охлажденного углеводородного флюида и введение объединенного потока (602) предварительно охлажденного углеводородного флюида в трубное пространство основного теплообменника (646);

(и) введение по меньшей мере части (626, 627) потока (625) предварительно охлажденного второго смешанного хладагента в трубное пространство основного теплообменника (646);

10 (к) охлаждение объединенного потока (602) предварительно охлажденного углеводородного флюида в основном теплообменнике (646) посредством второго смешанного хладагента в межтрубном пространстве основного теплообменника с образованием сжиженного потока (604) углеводородного флюида;

15 (л) охлаждение по меньшей мере части (626, 627) потока предварительно охлажденного второго смешанного хладагента в основном теплообменнике (646) посредством прохождения второго смешанного хладагента в межтрубном пространстве основного теплообменника с образованием по меньшей мере одного охлажденного потока (628, 630) второго смешанного хладагента;

20 (м) выведение каждого из по меньшей мере одного охлажденного потока (628, 630) второго смешанного хладагента из трубного пространства основного теплообменника (646), расширение (629, 631) каждого из по меньшей мере одного охлажденного потока второго смешанного хладагента с образованием дросселированного потока второго хладагента и подача каждого из по меньшей мере одного дросселированного потока второго смешанного хладагента в межтрубное пространство основного
25 теплообменника;

(н) выведение испарившегося потока (610) первого смешанного хладагента из межтрубного пространства каждого из первого и второго теплообменников (640, 642) предварительного охлаждения;

30 (о) сжатие (611) и охлаждение (613) испарившегося потока (610) первого смешанного хладагента с образованием результирующего потока (614) первого смешанного хладагента;

(п) введение результирующего потока (614) первого смешанного хладагента в трубное пространство первого теплообменника (640) предварительного охлаждения;

35 (р) охлаждение результирующего потока первого смешанного хладагента в первом теплообменнике (640) предварительного охлаждения посредством прохождения первого смешанного хладагента в межтрубном пространстве первого теплообменника предварительного охлаждения с образованием охлажденного потока (615) первого смешанного хладагента;

40 (с) выведение охлажденного потока (615) первого смешанного хладагента из первого теплообменника предварительного охлаждения и разделение охлажденного потока первого смешанного хладагента на первый и второй потоки охлажденного первого смешанного хладагента;

45 (у) расширение (617, 616) каждого из первого и второго потоков охлажденного первого смешанного хладагента с образованием первого и второго дросселированных потоков первого смешанного хладагента; и

(ф) введение первого дросселированного потока первого смешанного хладагента в межтрубное пространство первого теплообменника (640) предварительного охлаждения;

и

(х) введение второго дросселированного потока первого смешанного хладагента в межтрубное пространство второго теплообменника (642) предварительного охлаждения.

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

5 (ц) отделение жидкой фракции (627) предварительно охлажденного потока (625) второго смешанного хладагента от паровой фракции (626) предварительно охлажденного потока (625) второго смешанного хладагента;

при этом этап (и) включает введение жидкой фракции (627) предварительно охлажденного потока второго смешанного хладагента и паровой фракции (626) предварительно охлажденного потока второго смешанного хладагента в трубное
10 пространство основного теплообменника (646).

3. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что вторая температура предварительного охлаждения и третья температура предварительного охлаждения, по существу, равны первой температуре предварительного охлаждения, причем температуры по существу равны, если они отличаются на не более чем 20 °С .

15 4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что этап (е) включает сжатие (621) и охлаждение (623) испарившегося потока (620) второго смешанного хладагента с образованием результирующего потока (624) второго смешанного хладагента при результирующей температуре второго смешанного хладагента, при этом результирующая температура второго смешанного хладагента, по существу, равна первой температуре подачи, и по
20 существу весь результирующий поток второго смешанного хладагента является паровой фазой, причем температуры по существу равны, если они отличаются на не более чем 20 °С, и причем по существу весь результирующий поток второго смешанного хладагента представляет собой паровую фазу, если флюид состоит по меньшей мере на 90% из пара.

25 5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что этап (в) включает охлаждение первой части (665) сырьевого потока углеводородного флюида в трубном пространстве первого теплообменника (640) предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента, проходящего через межтрубное пространство первого теплообменника предварительного охлаждения с образованием первого потока (666) предварительно
30 охлажденного углеводородного флюида, который выходит из первого теплообменника предварительного охлаждения при первой температуре предварительного охлаждения.

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что этап (г) включает охлаждение второй части (667) сырьевого потока углеводородного флюида в трубном пространстве второго теплообменника (642) предварительного охлаждения посредством первого смешанного
35 хладагента, проходящего через межтрубное пространство второго теплообменника предварительного охлаждения с образованием второго потока (668) предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из второго теплообменника предварительного охлаждения при второй температуре предварительного охлаждения.

7. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что второй этап
40 (г) включает охлаждение второй части (667) сырьевого потока углеводородного флюида во втором теплообменнике (642) предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием второго потока (668) предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из второго теплообменника предварительного охлаждения при второй температуре предварительного охлаждения,
45 при этом второй теплообменник (642) предварительного охлаждения имеет геометрию, которая отличается от геометрии первого теплообменника (640) предварительного охлаждения.

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

(ч) циркуляцию первого смешанного хладагента в замкнутом контуре холодоснабжения, который проходит через межтрубное пространство каждого из первого и второго теплообменников предварительного охлаждения.

5 9. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что этап (г) включает:

(г) охлаждение второй части (667) сырьевого потока углеводородного флюида во втором теплообменнике (642) предварительного охлаждения посредством первого смешанного хладагента с образованием второго потока (668) предварительно охлажденного углеводородного флюида, который выходит из второго теплообменника
10 предварительного охлаждения при второй температуре предварительного охлаждения, при этом второй теплообменник (642) предварительного охлаждения имеет такую же холодопроизводительность, как и первый теплообменник (640) предварительного охлаждения.

15

20

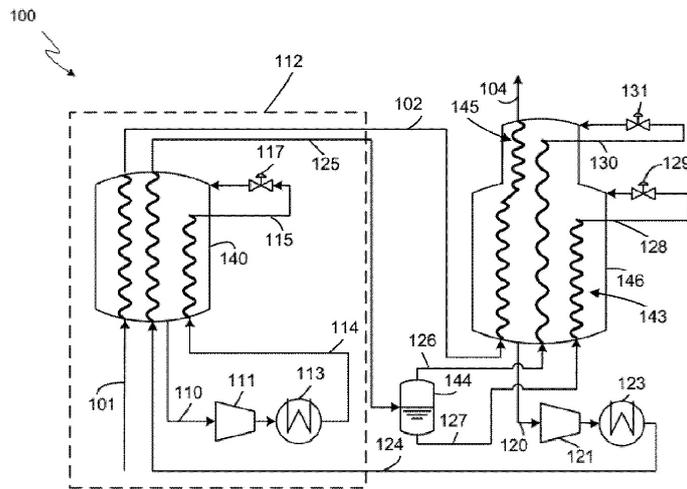
25

30

35

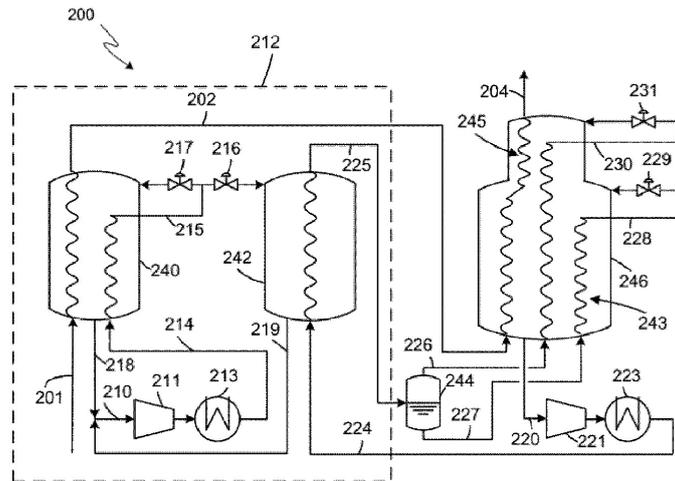
40

45



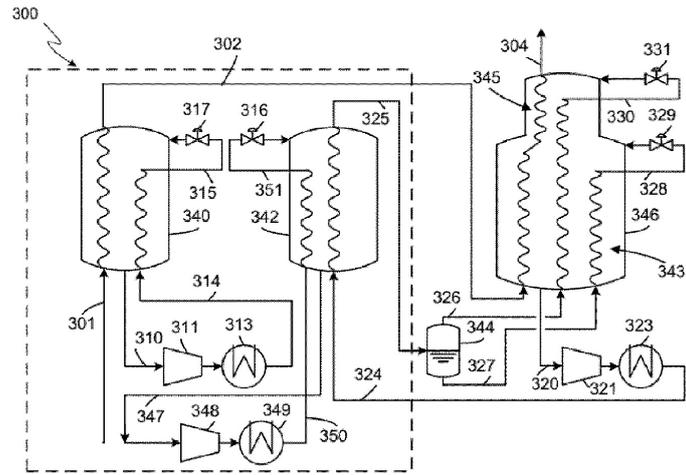
ФИГ. 1
(ПРОТОТИП)

2/11



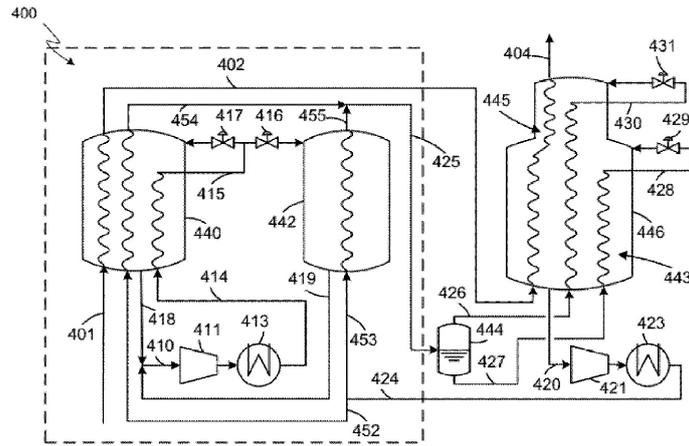
ФИГ. 2

3/11



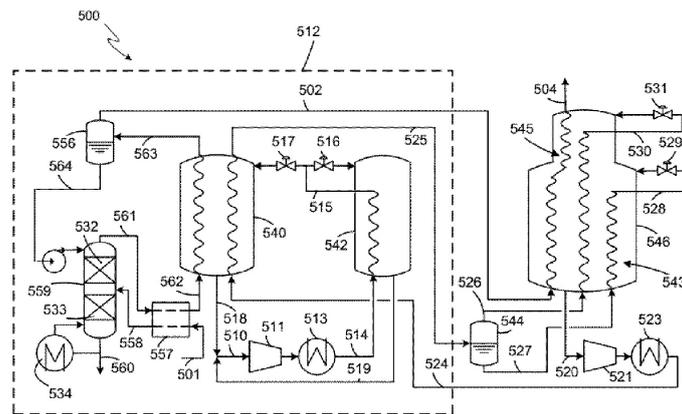
ФИГ. 3

4/11



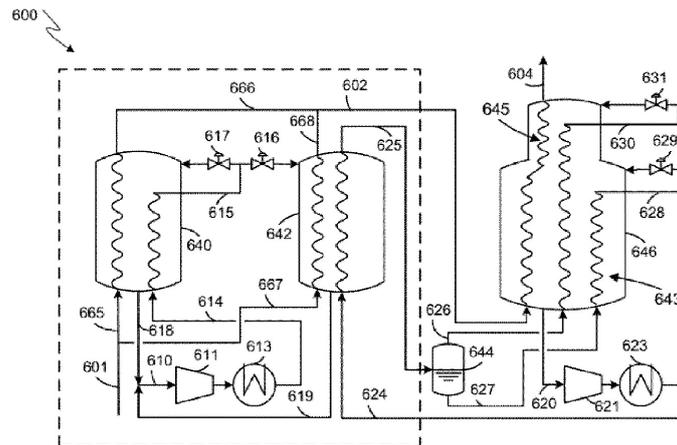
ФИГ. 4

5/11



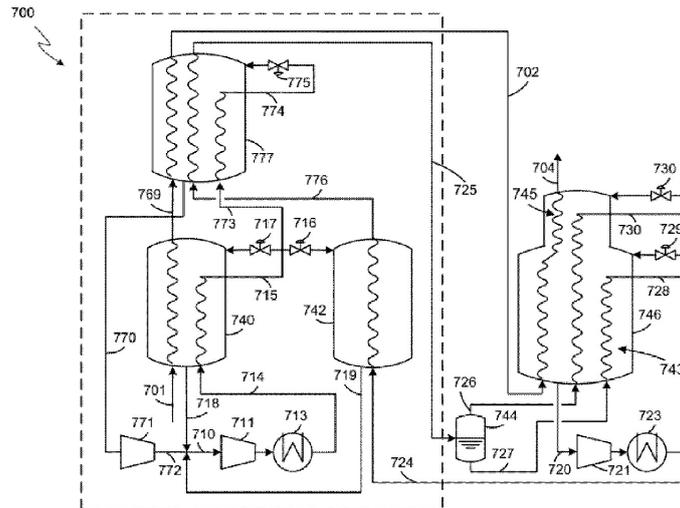
ФИГ. 5

6/11



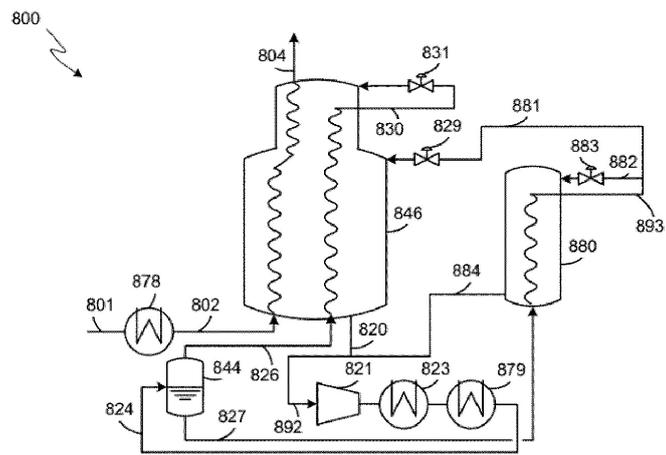
ФИГ. 6

7/11



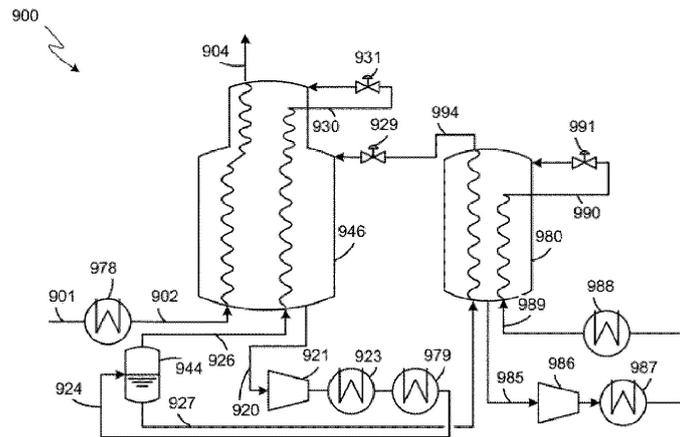
ФИГ. 7

8/11



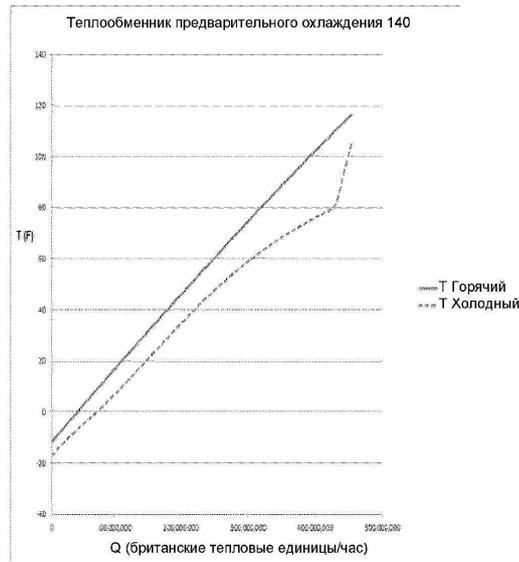
ФИГ. 8

9/11



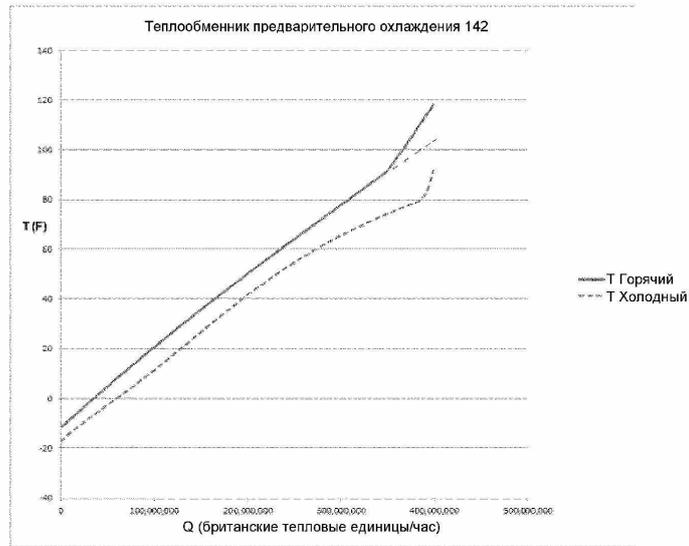
ФИГ. 9

10/11



ФИГ. 10

11/11



ФИГ. 11