

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **036271**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2020.10.21**

**(21)** Номер заявки  
**201891593**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2017.02.20**

**(51)** Int. Cl. **B01J 3/00** (2006.01)  
**C07C 7/04** (2006.01)  
**C07C 11/04** (2006.01)

---

**(54) СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛЕНОВОГО ПРОДУКТА В СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ**

---

**(31)** 16156548.6

**(32)** 2016.02.19

**(33)** EP

**(43)** 2019.02.28

**(86)** PCT/EP2017/053809

**(87)** WO 2017/140912 2017.08.24

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**ЛИНДЕ АКЦИЕНГЕЗЕЛЬШАФТ  
(DE)**

**(56)** US-A-2813920  
WO-A-2014134703

Heinz Zimmermann ET AL.: "Ethylene" In: "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry", 15 April 2009 (2009-04-15), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, XP055007506, ISBN: 978-3-52-730673-2, DOI: 10.1002/14356007.a10\_045.pub3, Seite 45, rechte Spalte, Absatz "Ethylene Fractionation" - Seite 46, rechte Spalte erster Absatz

**(72)** Изобретатель:  
**Хёфель Торбен, Каман Мартин,  
Шёльх Михель, Макракен Шон,  
Кункель Йозеф, Кракер-Землер  
Гюнтер (DE)**

**(74)** Представитель:  
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,  
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев  
А.В. (RU)**

---

**(57)** Предложен способ получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии, в котором газовую смесь, содержащую преимущественно или исключительно этилен и этан, разделяют в дистилляционной колонне (1), которая функционирует при уровне давления дистилляции от 0,5 до 1,5 МПа (от 5 до 15 бар), на верхний погон, содержащий преимущественно или исключительно этилен, и нижний погон, содержащий преимущественно или исключительно этан, причем верхний погон извлекают в газообразном состоянии из головной части дистилляционной колонны (1) и первую его часть сжижают и возвращают в качестве флегмы в дистилляционную колонну (1), а вторую его часть переводят в сверхкритическое состояние и используют в качестве этиленового продукта. Предусмотрено, что для перевода второй части в сверхкритическое состояние выполняют многоступенчатое сжатие от уровня давления дистилляции через множество промежуточных уровней давления до уровня сверхкритического давления, причем вторую часть в многоступенчатом сжатии переводят преимущественно или исключительно из газообразного в сверхкритическое состояние. Соответствующая установка также является предметом изобретения.

---

**036271**  
**B1**

**036271**  
**B1**

Настоящее изобретение относится к способу получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии и к соответствующей установке в соответствии с ограничительными частями независимых пунктов формулы изобретения.

#### Уровень техники

Способы и соответствующие установки для получения олефинов, таких как этилен, с помощью парового крекинга известны и описаны, например, в статье "Этилен" в Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, интернет-версия с 15 апреля 2009, DOI 10.1002/14356007.a10\_045.pub3. При паровом крекинге сначала получают газовые смеси, которые можно подвергнуть обработке и последовательностям разделений для разделения на компоненты или группы компонентов. Например, из предшествующего уровня техники известно то, что называют процессами "сначала деметанизатор", "сначала деэтанализатор" и "сначала депропанализатор".

Стандартный целевой продукт парового крекинга, а именно этилен, также отделяют от других компонентов в соответствующих последовательностях разделений. Для получения этилена в соответствующей последовательности разделений для этой цели получают фракцию, которая преимущественно или исключительно содержит этан и этилен. Эту фракцию разделяют в дистилляционной колонне, известной как разделитель C2, на газообразный верхний погон (продукт), преимущественно или исключительно содержащий этилен, и жидкий нижний погон (продукт), преимущественно или исключительно содержащий этан. Верхний погон разделителя C2 частично возвращают в сжиженной форме в разделитель C2 в виде флегмы, при этом другую часть можно предоставить в виде жидкого и/или газообразного этиленового продукта.

Настоящее изобретение, в частности, относится к применению того, что известно как разделители C2 низкого давления (НД), которые работают при уровне давления, обычно составляющем приблизительно от 0,8 до 0,9 МПа (от 8 до 9 бар). Использование таких разделителей C2 низкого давления обладает преимуществами по сравнению с использованием разделителей C2 высокого давления (ВД) в показателях капитальных затрат и потребления энергии. Разделители C2 низкого давления описаны в вышеупомянутой статье "Этилен" в Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry в разделе "Heat-Pumped C2 Fractionation" ("Фракционирование C2 с тепловой накачкой") на с. 47. Дополнительные подробности, относящиеся к преимуществам разделителей C2 низкого давления, приведены в данном документе.

В отдельных случаях требовалось предоставить этиленовый продукт в сверхкритическом состоянии. С этой целью в способе предшествующего уровня техники, который не соответствует данному изобретению и который также рассматривают со ссылкой на фиг. 1, газообразный верхний погон, содержащий преимущественно или исключительно этилен из головной части разделителя C2 низкого давления, можно сначала нагреть, например, до температуры окружающей среды, затем сжать до уровня давления, составляющего, например, более 2 МПа (20 бар) и сжигать путем охлаждения при этом уровне давления. Некоторую часть полученного продукта сжижения используют в качестве вышеупомянутой флегмы в разделителе C2. Остаток продукта сжижения или только его часть переводят посредством насоса из жидкого состояния на сверхкритический уровень давления и нагревают до сверхкритического уровня давления.

Как отмечается, в частности, со ссылкой на фиг. 5, соответствующий способ является невыгодным в показателях энергии, так как большое количество энергии выводится в ходе охлаждения, и для испарения при сверхкритическом уровне давления необходимо подавать дополнительную энергию. Поэтому существует потребность в улучшенных способах и устройствах для получения газообразного этилена при сверхкритическом давлении из газообразного верхнего погона, содержащего преимущественно или исключительно этилен из головной части разделителя C2 низкого давления.

#### Описание изобретения

На этом основании в настоящем изобретении предложены способ получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии и соответствующая установка, содержащие признаки независимых пунктов формулы изобретения. Воплощения в каждом случае являются предметом зависимых пунктов, а также последующего описания.

Перед рассмотрением признаков и преимуществ настоящего изобретения рассмотрены его основные принципы и используемые термины.

В настоящей заявке для характеристики давлений и температур использованы термины "уровень давления" и "уровень температуры", предназначенные для выражения того, что давления и температуры в соответствующей установке не нужно использовать в форме точных значений давления или температуры для осуществления замысла изобретения. Однако такие давления и температуры обычно изменяются в определенных интервалах, которые составляют, например,  $\pm 1$ , 5, 10, 20 или даже 50% от среднего значения. Соответствующие уровни давления и уровни температуры могут в этом случае лежать в непересекающихся интервалах или в интервалах, которые перекрывают друг друга. В частности, например, уровни давления также включают различные давления, которые являются результатом неизбежных падений давления. То же самое применимо к уровням температуры. Уровни давления, указанные здесь в барах, являются абсолютными давлениями.

В способах и установках, обсуждаемых вначале, для сжатия можно использовать многоступенчатые

турбокомпрессоры. Механическая структура турбокомпрессоров в принципе известна специалисту. В турбокомпрессоре сжимаемую среду сжимают посредством турбинных лопастей, которые расположены на крыльчатке турбины или непосредственно на валу. Турбокомпрессор в этом случае образует структурную единицу, которая, однако, в случае многоступенчатого компрессора может содержать множество ступеней компрессора. В этом случае, как правило, ступень компрессора содержит крыльчатку турбины или соответствующее устройство с турбинными лопастями. Все эти ступени компрессора можно приводить в движение с помощью общего вала. Однако, можно также предусмотреть компрессорные ступени, движимые группами с использованием различных валов, и также возможно, чтобы валы были взаимосвязаны посредством зубчатых передач.

Теплообменник служит для непрямого переноса тепла между по меньшей мере двумя потоками текучих сред, которые направляют, например, противотоком относительно друг друга. Теплообменник для применения в рамках настоящего изобретения можно образовать из одного участка теплообменника или множества участков теплообменников, соединенных параллельно и/или последовательно, например, из одного или более блоков теплообменника пластинчатого типа.

Что касается конструкции и конкретной конфигурации дистилляционных колонн, которые можно использовать в рамках настоящего изобретения, можно сослаться на соответствующие руководства (см., например, K. Sattler, "Thermische Trennverfahren: Grundlagen, Auslegung, Apparate" ("Тепловые способы разделения: основные принципы, конструкция, устройство"), 3rd edition, Wiley-VCH, Weinheim 2001).

Заявленная здесь дистилляционная колонна является разделяющим устройством, выполненным для разделения, по меньшей мере частичного, смеси веществ (сепарационной загрузки), которую обеспечивают в газообразной или жидкой форме или в форме двухфазной смеси, содержащей жидкую и газообразную части, в некоторых случаях также в сверхкритическом состоянии, то есть для получения из смеси веществ чистых веществ или смесей веществ, которые в каждом случае, по сравнению со смесью веществ, обогащены или обеднены в отношении по меньшей мере к одному компоненту в описанном выше контексте. Дистилляционные колонны хорошо известны в области технологии разделения. Обычно дистилляционные колонны выполнены в виде цилиндрических металлических сосудов, которые оборудованы встроенными элементами, например, сетчатыми тарелками либо структурированной или насыпной насадкой. Дистилляционная колонна отличается, в том числе, тем, что жидкая фракция отделяется в ее нижней области, также называемой кубом. Эту жидкую фракцию, также называемую нижним погоном (кубовым продуктом), нагревают в дистилляционной колонне с помощью донного испарителя, так что некоторая часть нижнего погона непрерывно испаряется и поднимается в газообразной форме в дистилляционной колонне. Дистилляционная колонна обычно дополнительно снабжена устройством, в которое подают по меньшей мере некоторую часть газовой смеси, которая становится обогащенной в верхней области дистилляционной колонны, или соответствующий чистый газ, также называемый верхним погоном; сжижают в нем и загружают в виде жидкой флегмы в головную часть дистилляционной колонны.

#### **Преимущества изобретения**

В настоящем изобретении предложен способ получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии, в котором газовую смесь, содержащую преимущественно или исключительно этилен и этан, разделяют в дистилляционной колонне, которая функционирует при уровне давления дистилляции от 0,5 до 1,5 МПа (от 5 до 15 бар), в частности от 0,8 до 1 МПа (от 8 до 10 бар), например, приблизительно 0,81 МПа (8,1 бар), на верхний погон, содержащий преимущественно или исключительно этилен, и нижний погон, содержащий преимущественно или исключительно этан. Дистилляционная колонна, используемая для разделения газовой смеси, поэтому является обычным разделителем C2 низкого давления. Что касается дополнительных признаков такого разделителя C2 низкого давления, можно сослаться на приведенные выше обсуждения, а также на соответствующую техническую литературу, цитированную в данном документе.

Полученный в дистилляционной колонне верхний погон извлекают в газообразном состоянии из головной части дистилляционной колонны, и его первую часть сжижают и возвращают в виде флегмы в дистилляционную колонну. Для получения второй части верхний погон, извлеченный в газообразном состоянии из головной части дистилляционной колонны, переводят в сверхкритическое состояние и используют в качестве этиленового продукта.

Если то, что рассматривается здесь, заключается в том, что первую часть и вторую часть верхнего погона используют рассматриваемым образом, это нужно понимать как означающее, что другие части соответствующего верхнего погона можно использовать другими способами, например, их можно предоставить в качестве этиленового продукта в газообразной или жидкой форме в сверхкритическом состоянии.

Как уже обсуждалось, в способах предшествующего уровня техники, как также рассматривается со ссылкой на фиг. 1, сначала предусмотрен нагрев соответствующего верхнего погона, например, до температуры окружающей среды для предоставления этиленового продукта в сверхкритическом состоянии, затем сжатие его до уровня давления, например, более 2 МПа (20 бар), и сжижение его путем охлаждения до этого уровня давления. В предшествующем уровне техники полученный в этом случае сжиженный продукт переводят в части, которая соответствует второй части, полученной согласно изобретению,

из жидкого состояния на уровень сверхкритического давления и нагревают при этом уровне сверхкритического давления.

В отличие от этого для перевода второй части в сверхкритическое состояние в настоящем изобретении предложено многоступенчатое сжатие от уровня давления дистилляции, то есть уровня давления, при котором работает дистилляционная колонна и при котором верхний погон извлекают из этой дистилляционной колонны для сжатия, через множество промежуточных уровней давления до уровня сверхкритического давления. Вторую часть переводят при этом многоступенчатом сжатии преимущественно или исключительно непосредственно из газообразного в сверхкритическое состояние. Поэтому в отличие от предшествующего уровня техники не происходит никакого сжижения и последующего нагрева сжатого сжиженного продукта. Другими словами, перевод второй части в сверхкритическое состояние в рамках настоящего изобретения не включает какого-либо промежуточного сжижения. Настоящее изобретение в этом случае, в частности, обладает связанными с энергией преимуществами по сравнению со способом предшествующего уровня техники, который был рассмотрен.

Так как согласно предшествующему уровню техники, исходя из рассмотренного уровня давления более 2 МПа (20 бар) и соответственно повышенного уровня температуры (например, температуры окружающей среды плюс тепло от сжатия), также происходит сжижение части верхнего погона, который извлекают из головной части дистилляционной колонны и используют для получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии, в этом случае необходимо преодолеть очень большую разницу температур и, таким образом, необходимо извлечь большое количество тепла. Это вновь рассматривается со ссылкой на диаграмму энтальпия/давление на фиг. 5. После повышения давления в жидком состоянии затем необходимо снова подать значительное количество энергии для эффективного нагрева до условий окружающей среды для получения этиленового продукта.

Напротив, для получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии, в настоящем изобретении обеспечена возможность обходиться без соответственно больших температурных скачков, что также рассматривается более подробно со ссылкой на диаграмму энтальпия/давление на фиг. 6. Только первую часть верхнего погона, извлеченную из головной части дистилляционной колонны, которую используют в качестве флегмы, необходимо подвергнуть соответствующему интенсивному охлаждению и сжижению. Вторую часть сжимают на многих ступенях, и в каждом случае выделяется только тепло сжатия при уровне температуры выше условий окружающей среды. В этом случае требуется в каждом случае только охлаждение, например, приблизительно до 40°C, которое можно осуществить с использованием охлажденной воды. Без промежуточного сжижения в настоящем изобретении обеспечена возможность экономить на затратных, стойких к холоду материалах.

В общем, в предшествующем уровне техники существует предвзятое мнение, что получение продукта с повышенным давлением в сверхкритическом состоянии является особенно предпочтительным, если, как отмечалось со ссылкой на предшествующий уровень техники, выполняют промежуточное сжижение и осуществляют повышение давления продукта сжижения в жидком состоянии. Однако в рамках настоящего изобретения было обнаружено, что связанные с энергией преимущества ступенчатого сжатия в газообразном состоянии явно перевешивают любые недостатки.

Как упоминалось, в контексте изобретения многоступенчатое сжатие от уровня давления дистилляции через множество промежуточных уровней давления до уровня сверхкритического давления выполняют для перевода второй части в сверхкритическое состояние. В этом случае вторую часть переводят преимущественно или исключительно непосредственно из газообразного в сверхкритическое состояние при многоступенчатом сжатии.

Упомянутые промежуточные уровни давления включают в этом случае, по меньшей мере, первый промежуточный уровень давления, который составляет от 1,8 до 2,5 МПа (от 18 до 25 бар), в частности от 2,2 до 2,3 МПа (от 22 до 23 бар), например, приблизительно 2,25 МПа (22,5 бар). Сжатие до такого промежуточного уровня давления является особенно предпочтительным, потому что при этом промежуточном уровне давления можно выгрузить первую часть, которую в этой связи таким же образом подвергают многоступенчатому сжатию и которую используют в качестве флегмы в дистилляционной колонне. Сжатие первой части до сжижения является выгодным для того, чтобы можно было осуществить сжижение при достаточно высокой температуре или с использованием доступных охладителей.

Как также рассматривается ниже, такую первую часть после соответствующего сжатия, помимо охлаждения в дополнительных теплообменниках, можно использовать как теплоноситель в донном испарителе дистилляционной колонны. Таким образом достигают эффекта теплового насоса, имеющего особенно преимущественный энергетический КПД. Другими словами, первую часть поэтому преимущественно сжимают в многоступенчатом компрессоре от уровня давления дистилляции до первого промежуточного уровня давления, затем сжижают и используют в качестве флегмы. Более того, как упоминалось, преимуществом является, если дистилляционная колонна функционирует с использованием донного испарителя, который нагревают, используя первую часть, которая сжата до первого промежуточного уровня давления.

Преимущественно многоступенчатое сжатие в рамках настоящего изобретения также включает сжатие хладагента из контура хладагента, который содержит по меньшей мере три частичных контура,

работающих при различных уровнях давления. Этиленовый хладагент используют в соответствующих способах и установках в различных местах, например, в деметанизаторе или на других стадиях разделения. Способы и установки для обработки газовых смесей, которые получают паровым крекингом, обычно содержат частичные контуры при различных уровнях давления и, таким образом, уровнях температуры, которые действуют с использованием этиленового хладагента. Обычно в этом случае предусматривают контур хладагента низкого давления, который работает при уровне давления немного выше или немного ниже атмосферного, обычно от 50 до 150 кПа (от 0,5 до 1,5 бар), в частности от 100 до 110 кПа (от 1,0 до 1,1 бар), например приблизительно 105 кПа (1,05 бар) (ниже называемым "первый исходный уровень давления"). Хладагент в таком контуре хладагента низкого давления имеет уровень температуры, например от приблизительно -95 до -100°C. Контур хладагента среднего давления обычно работает при уровне давления от приблизительно 250 до 350 кПа (от 2,5 до 3,5 бар), в частности от 280 до 320 кПа (от 2,8 до 3,2 бар), например приблизительно 300 кПа (3 бар) (ниже называемым "второй исходный уровень давления"). Этот хладагент имеет уровень температуры, обычно составляющий от приблизительно -75 до -85°C. Наконец, присутствует так называемый контур хладагента высокого давления, который работает при уровне давления обычно приблизительно от 0,5 до 1 МПа (от 5 до 10 бар), в частности от 0,8 до 0,9 МПа (от 8 до 9 бар), например, приблизительно 0,81 МПа (8,1 бар), то есть при уровне давления дистилляции. Хладагент контура хладагента высокого давления имеет уровень температуры, обычно составляющий от -55 до -65°C, в частности приблизительно -57°C.

Преимущественно в многоступенчатом сжатии, которое используют в рамках изобретения, хладагент, содержащий преимущественно или исключительно этилен, таким образом сжимают от множества исходных уровней давления, которые лежат ниже уровня давления дистилляции, и от уровня давления дистилляции до первого промежуточного уровня давления. Таким образом, многоступенчатый компрессор, используемый по изобретению, или соответствующее сжатие также можно использовать для обеспечения хладагента или для загрузки вышеупомянутых частичных контуров хладагентом. Таким образом, получают открытый контур хладагента, который может работать особенно гибким и энергосберегающим образом.

В контексте настоящего изобретения целесообразно, если многоступенчатое сжатие включает сжатие до дополнительного, то есть второго промежуточного уровня давления, который составляет от 3,5 до 4,5 МПа (от 35 до 45 бар), в частности от 3,8 до 4,2 МПа (от 38 до 42 бар), например приблизительно 4,02 МПа (40,2 бар). Это особенно преимущественно, потому что в этом случае первую ступень компрессора можно обеспечить для сжатия от первого до второго исходного уровня давления, вторую ступень компрессора можно обеспечить для сжатия от второго исходного уровня давления до уровня давления дистилляции, третью ступень компрессора можно обеспечить для сжатия от уровня давления дистилляции до первого промежуточного уровня давления и четвертую ступень компрессора можно обеспечить для сжатия от первого промежуточного уровня давления до второго промежуточного уровня давления, причем эти ступени можно приводить в движение с одинаковой скоростью, в частности с помощью первого общего вала. Поэтому можно обеспечить общий первичный двигатель для приведения в движение этих ступеней компрессора, потому что нагрузка компрессора распределяется в основном однородно среди вышеупомянутых ступеней компрессора.

Преимущественно после сжатия до второго промежуточного уровня давления в контексте настоящего изобретения происходит сжатие до третьего промежуточного уровня давления, который составляет от 6 до 8 МПа (от 60 до 80 бар), в частности от 6,5 до 7,7 МПа (от 65 до 75 бар), например, приблизительно 7,04 МПа (70,4 бар), из которого затем вторую часть сжимают до уровня сверхкритического давления, составляющего от 10 до 15 МПа (от 100 до 150 бар), в частности от 12 до 13 МПа (от 120 до 130 бар), например, приблизительно 12,56 МПа (125,6 бар).

Преимущественно пятую ступень компрессора используют для сжатия от второго до третьего промежуточного уровня давления и шестую ступень компрессора используют для сжатия от третьего промежуточного уровня давления до уровня сверхкритического давления. Преимущественно пятую и шестую ступени компрессора можно приводить в движение с одинаковой скоростью с помощью второго общего вала. Таким образом, обеспечивают особенно хорошую приспособляемость к соответствующим требованиям сжатия и получают преимущества в отношении регулирования с помощью отдельного, но в каждом случае группового, приведения в движение как с первой до четвертой ступеней компрессора, так и пятой и шестой ступеней компрессора. В частности, в этом случае можно предусмотреть совместное соединение первого и второго общего вала с помощью зубчатой передачи. Таким образом, как с первой до четвертой ступени компрессора, так и пятая и шестая ступени компрессора могут работать с различными скоростями.

Ниже по потоку от вышеупомянутых ступеней компрессора обычно происходит последующее охлаждение с помощью подходящих дополнительных охладителей, которые обычно работают с использованием охлаждающей воды. В этом случае соответствующий дополнительный охладитель необязательно обеспечен ниже по потоку от первой ступени компрессора. Однако, ниже по потоку от второй ступени компрессора, хотя существует соответствующий дополнительный охладитель, ввиду одновременной по-

дачи этиленового хладагента при соответствующем уровне давления, в третью ступень компрессора подают текучую среду при температуре обычно приблизительно 18°C. Данную текучую среду подают в четвертую, пятую и шестую ступени компрессора, в каждом случае обычно при приблизительно 40°C, что достигают благодаря дополнительным охладителям, которые работают с использованием воды. Части текучих сред, сжатые в каждом случае в ступенях компрессора, также можно вернуть (что известно как "отдачи"), в частности для того, чтобы обеспечить лучшую способность к регулированию сжатия.

Преимущественно способ по изобретению используют в контексте процесса парового крекинга, то есть газовую смесь, содержащую преимущественно или исключительно этилен и этан, получают с использованием газа крекинга из процесса парового крекинга. Как упоминалось, из предшествующего уровня техники известны различные способы образования соответствующей газовой смеси.

Настоящее изобретение также относится к установке для получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии, содержащей дистилляционную колонну, которая создана для разделения газовой смеси, содержащей преимущественно или исключительно этилен и этан, при уровне давления дистилляции от 0,5 до 1,5 МПа (от 5 до 15 бар), на верхний погон, содержащий преимущественно или исключительно этилен, и нижний погон, содержащий преимущественно или исключительно этан, причем обеспечивают средства, которые выполнены для извлечения верхнего погона в газообразном состоянии из головной части дистилляционной колонны и для сжигания первой части и возвращения ее в качестве флегмы в дистилляционную колонну, и для перевода второй части в сверхкритическое состояние и использование ее в качестве этиленового продукта. Согласно изобретению обеспечен многоступенчатый компрессор, который выполнен для перевода второй части в сверхкритическое состояние путем сжатия от уровня давления дистилляции через множество промежуточных уровней давления до уровня сверхкритического давления, причем вторую часть в многоступенчатом компрессоре переводят преимущественно или исключительно из газообразного в сверхкритическое состояние.

Соответствующая установка преимущественно создана для выполнения способа, который был ранее рассмотрен подробно, и она содержит соответствующие средства для этой цели. Поэтому даются особые ссылки на признаки и преимущества, рассмотренные в связи со способом.

Изобретение теперь рассматривается более подробно ниже со ссылкой на приложенные чертежи, на которых показаны аспекты настоящего изобретения по сравнению с аспектами, которые не соответствуют изобретению.

#### **Краткое описание чертежей**

На фиг. 1 показан способ не по изобретению в форме схематической технологической блок-схемы; на фиг. 2 показан способ согласно одному воплощению изобретения в форме схематической технологической блок-схемы;

на фиг. 3 показано сжатие не по изобретению в форме схематической технологической блок-схемы;

на фиг. 4 показано сжатие согласно одному воплощению изобретения в форме схематической технологической блок-схемы;

фиг. 5 представляет собой диаграмму энтальпия/давление способа не по изобретению, который показан на фиг. 1.

фиг. 6 представляет собой диаграмму энтальпия/давление способа, показанного на фиг. 2, согласно одному воплощению изобретения.

На чертежах соответствующие элементы указаны с использованием одинаковых номеров позиций и для ясности не обсуждаются более одного раза.

на фиг. 1 показан способ не по изобретению для получения этиленового продукта в форме схематической технологической блок-схемы.

Способ включает использование дистилляционной колонны 1, которая функционирует при уровне давления от 0,5 до 1,5 МПа (от 5 до 15 бар), в частности от 0,8 до 1 МПа (от 8 до 10 бар), например приблизительно 0,81 МПа (8,1 бар), то есть уровне давления дистилляции, который был упомянут несколько раз. Таким образом, она представляет собой рассмотренный в начале разделитель С2. В дистилляционную колонну 1 подают газовую смесь, содержащую преимущественно или исключительно этилен и этан в форме потока а, на подходящей высоте. В дистилляционной колонне 1 газовую смесь, которую подают в форме потока а, разделяют на верхний погон, содержащий преимущественно или исключительно этилен, и нижний погон, содержащий преимущественно или исключительно этан.

Верхний погон в этом случае извлекают в газообразном состоянии из головной части дистилляционной колонны 1 в форме потока b, нагревают в теплообменнике 2, например, до температуры окружающей среды и сжимают в компрессоре 3 до уровня давления более 2 МПа (20 бар), например, 2,25 МПа (22,5 бар). После сжатия в компрессоре 3 газовую смесь потока b охлаждают и сжимают в теплообменниках 4-6. После охлаждения в теплообменнике 6 некоторую часть текучей среды потока b подают в форме потока с для дополнительного охлаждения в теплообменник 7. Затем происходит сброс давления текучей среды потока с, до уровня давления дистилляционной колонны 1 в клапане 8. Текучую среду потока с загружают в качестве флегмы в головную часть дистилляционной колонны 1.

Из донной части дистилляционной колонны 1 накопленный здесь нижний погон извлекают в форме

потока d. Некоторая часть нижнего погона проходит в форме потока e через донный испаритель 9, закипает в нем и возвращается в дистилляционную колонну 1, в которой поднимается в газообразной форме. В частности, теплообменник 6 и теплообменник 9 также можно соединить термически, или они могут находиться в форме общего теплообменника. Таким образом, как рассматривалось ранее, получают эффект теплового насоса. Другую часть нижнего погона потока d выводят в форме потока f. Так как поток f содержит преимущественно или исключительно этан, его можно подать, например, в расположенное выше по потоку устройство парового крекинга.

В способе не по изобретению в потоке g, который содержит верхний погон потока b, который не возвращался в дистилляционную колонну 1 в форме потока c, и, таким образом, содержит преимущественно или исключительно этилен, повышают давление в жидком состоянии с помощью насоса 10. Повышение давления поэтому происходит вплоть до уровня сверхкритического давления. Исходя из жидкого состояния, поток g нагревают в дополнительном теплообменнике 11 для получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии.

на фиг. 2 показан способ получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии согласно особенно предпочтительному воплощению изобретения, также в форме схематической технологической блок-схемы. Элементы, которые в этом случае соответствуют элементам способа не по изобретению фиг. 1, указаны одинаковыми номерами позиций и, как упоминалось, для ясности не обсуждаются более одного раза.

Также в рамках способа согласно одному воплощению изобретения, показанному на фиг. 2, поток b перегревают в теплообменнике 2. Однако после нагрева поток b затем сжимают в ступенях сжатия многоступенчатого компрессора, которые здесь обозначены III-VI с целью лучшего сравнения с фиг. 4. Ниже по потоку от сжатия в каждом случае происходит последующее охлаждение в дополнительных охладителях, обозначенных IIIa-VIa. Ниже по потоку от сжатия в ступени III компрессора ответвляют поток h, который в принципе соответствует потоку c фиг. 1, и используют его в качестве флегмы в дистилляционной колонне 1. Этот поток h охлаждают и сжижают в теплообменниках 5, 6 и 7, здесь также возможно, чтобы теплообменник 6 находился в термической связи с теплообменником 9 или находился с ним в форме общего теплообменника. После соответствующего охлаждения и сжижения поток h подают обратно в дистилляционную колонну через клапан 8 и используют в ней в качестве флегмы.

В ступенях III-VI компрессора остаток, который не отводили в форме потока h, обозначенный здесь как i, сжимают до уровня сверхкритического давления, при этом не происходит никакого промежуточного сжижения. Ступень III компрессора в этом случае сжимает поток h от рассмотренного выше уровня давления дистилляции до первого промежуточного уровня давления, ступень компрессора IV сжимает поток h от первого промежуточного уровня давления до второго промежуточного уровня давления, ступень V компрессора сжимает поток h от второго промежуточного уровня давления до третьего промежуточного уровня давления и ступень VI компрессора сжимает поток h от третьего промежуточного уровня давления до уровня сверхкритического давления. Уровни давления были рассмотрены ранее.

на фиг. 3 схематически показано сжатие согласно воплощению не по изобретению в форме технологической блок-схемы. Здесь ступени многоступенчатого компрессора показаны как I - IV, причем ступени III и IV компрессора, показанные на фиг. 3, по существу соответствуют ступеням III и IV компрессора, показанным на фиг. 2, однако здесь пропущены ступени V и VI компрессора. Они показаны на следующей фиг. 4, на которой показано сжатие согласно одному воплощению изобретения. Показанное на фиг. 3 сжатие можно в таких случаях использовать в сочетании с разделителем C2 низкого давления, в котором не осуществляется никакого сжатия до уровня сверхкритического давления и, таким образом, никакого получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии. При соответствующем сжатии, в зависимости от требуемого уровня давления, также можно обходиться без четвертой ступени IV компрессора. В этом случае этиленовый продукт выгружают при уровне давления стороны нагнетания третьей ступени III компрессора.

Показанное на фиг. 3 сжатие к тому же интегрировано в контур этиленового хладагента, содержащий три частичных контура, причем потоки хладагента обозначены как k, l и m. Как упоминалось, при сжатии согласно фиг. 3 не получают этиленовый продукт в сверхкритическом состоянии. Однако здесь также верхний погон можно подавать из головной части дистилляционной колонны 1, как показано на фиг. 2. С целью лучшего различения соответствующий поток обозначен здесь как b'. Поток k представляет хладагент низкого давления, который обеспечен при первом исходном уровне давления и уровне температуры приблизительно от -95 до -100°C. Поток l обозначает хладагент среднего давления, который обеспечен при втором исходном уровне давления и уровне температуры приблизительно от -75 до -85°C. Поток m обозначает хладагент высокого давления, который обеспечен при уровне давления дистилляции и уровне температуры приблизительно от -55 до -65°C. Соответствующие потоки, как показано на фиг. 3, подают в ступени I-III компрессора, в некоторых случаях после перегрева. Перемещение хладагента из ступени I компрессора в ступень II компрессора происходит непосредственно в машине без промежуточного охлаждения, и это показано здесь в форме потока n, представленного пунктирной линией.

Ступени I-IV компрессора можно взаимно соединить с помощью общего вала, здесь обозначенного

10. Сжатую в ступени II компрессора текучую среду охлаждают в теплообменнике IIa и по меньшей мере преимущественную ее часть затем подают в ступень III компрессора. Некоторую ее часть также можно возвратить в ступень I компрессора в форме, которая известна как отдача. Соответственно, текучую среду сжимают в ступени III компрессора и затем охлаждают в теплообменнике IIIa. Однако некоторую часть можно возвратить перед ступенью III компрессора, как показано с помощью потока p. Другую часть, показанную здесь в форме потока h', можно использовать в качестве флегмы в дистилляционной колонне. Другой поток, показанный здесь как n, возвращают в контур хладагента при первом промежуточном уровне давления, до которого ступень III компрессора сжимает текучую среду. Как здесь не показано, хладагент потока n можно затем подвергнуть сбросу давления до ранее рассмотренных уровней давления частичных контуров или потоков k, l и m. Остающуюся часть, показанную здесь в форме потока i', подают в четвертую ступень IV компрессора, сжимают до второго промежуточного уровня давления и затем охлаждают в дополнительном охладителе IVa. Однако часть, показанную здесь в форме потока q, можно возвратить перед ступенью IV компрессора. Остаток, показанный здесь в форме потока i', можно обеспечить в качестве этиленового продукта при подкритическом уровне давления.

Напротив, сжатие согласно одному воплощению изобретения, показанное на фиг. 4, включает две дополнительные ступени V и VI компрессора, которые уже показаны на фиг. 2. Они, в принципе, работают сравнимо со ступенью IV компрессора, однако сжимают текучую среду потока, который соответствует потоку i' фиг. 2, и поэтому обозначены здесь одинаково, дальше до уровней давления, которые вновь являются более высокими. Ступень V компрессора в этом случае сжимает текучую среду до третьего промежуточного уровня давления, в дополнительном охладителе Va текучую среду в этом случае охлаждают до температуры, например, приблизительно 40°C. Ступень VI компрессора окончательно сжимает текучую среду до уровня сверхкритического давления (третий промежуточный уровень давления также может уже быть сверхкритическим), при этом охлаждение до уровня температуры, например, приблизительно 40°C происходит здесь тоже в дополнительном охладителе VIa.

Преимущества настоящего изобретения по сравнению со способом не по изобретению рассматривают ниже со ссылкой на диаграммы энтальпия/давление, показанные на фиг. 5 и 6. На них в каждом случае давление в МПа представлено по оси ординат в зависимости от энтальпии в кДж/кг по оси абсцисс. 10I (жирная непрерывная линия) показывает в каждом случае двухфазную линию диаграмм энтальпия/давление. Линии изотерм обозначены (частично) их соответствующими температурами.

Как упоминалось, фиг. 5 представляет собой диаграмму энтальпия/давление способа не по изобретению, показанного на фиг. 1. Для большей ясности, в этом случае изменения состояния, вызванные устройством, показанным на фиг. 1, показаны на диаграмме энтальпия/давление соответствующими номерами позиций, которые в каждом случае снабжены штрихом в целях разграничения. Обработка этиленового продукта (поток g на фиг. 1) показана в форме двойной линии, а обработка флегмы дистилляционной колонны (поток c на фиг. 1) - в форме жирной пунктирной линии. Когда эти потоки имеют общий путь (поток b на фиг. 1), двойная линия и пунктирная линия показаны наложенными друг на друга.

Из-за нагрева в теплообменнике 2 согласно фиг. 1, здесь обозначенного 2', текучая среда потока b, извлеченная из головной части дистилляционной колонны, поглощает энергию. Затем, как показано здесь с помощью 3', происходит сжатие в компрессоре 3. С этой целью текучую среду подвергают как повышению давления, так и нагреву, обусловленному поглощением тепла от сжатия. Затем текучую среду потока b охлаждают в теплообменниках 4-6 и тем самым сжижают. Это показано на диаграмме энтальпия/давление фиг. 5 с помощью 4'-6'. Как обозначено на диаграмме энтальпия/давление с помощью 7' и 8', текучую среду потока c затем подвергают дополнительному охлаждению в теплообменнике 7 и затем подвергают сбросу давления в клапане 8. В результате текучая среда переходит в двухфазную область, и ее соответственно подают в дистилляционную колонну 1 в двухфазной форме. Наоборот, в потоке g, который не возвращают в дистилляционную колонну, повышают давление в жидкой форме в насосе 10, как обозначено на диаграмме энтальпия/давление фиг. 5 с помощью 10', и в результате его подвергают соответствующему повышению давления и температуры, при этом выполняют сжатие до ранее рассмотренных сверхкритических значений. После чего следует нагрев сверхкритической текучей среды в теплообменнике 11.

Как можно видеть из диаграммы энтальпия/давление на фиг. 5, здесь из-за охлаждения в теплообменниках 4-6 необходимо преодолевать четко выраженную разницу температур, поэтому значительное количество энергии извлекается из текучей среды потока b. Затем значительное количество энергии подают снова для нагрева текучей среды потока g в теплообменнике 11. Как было установлено согласно изобретению, это не оказывается преимуществом в отношении энергии.

Как упоминалось, фиг. 6 представляет собой диаграмму энтальпия/давление способа согласно воплощению, показанному на фиг. 2. Здесь также изменения состояния, которые соответствуют устройству, показанному на фиг. 2, обозначают номерами позиций, имеющими штрихи. Обработка этиленового продукта (поток i на фиг. 2) представлена в форме двойной линии, и обработка флегмы дистилляционной колонны (поток h на фиг. 2) показана в форме жирной пунктирной линии. Когда эти потоки имеют общий путь (поток b на фиг. 2), здесь также двойная линия и пунктирная линия показаны наложенными

друг на друга.

Нагрев в теплообменнике 2, обозначенный 2' на диаграмме 6 энтальпия/давление, соответствует в этом случае в первую очередь нагреву в способе не по изобретению согласно фиг. 2. То же самое применимо к сжатию в ступени III компрессора, обозначенному III на фиг. 5. После этого сжатия происходит охлаждение, обозначенное IIIa' на фиг. 6. Это происходит, например, до уровня температуры приблизительно 40°C, как можно видеть здесь из соответствующих изотерм. Однако, как обозначено на фиг. 6 прерывистой линией, теперь сжижают только некоторую часть текучей среды потока b, а именно текучую среду потока h. Здесь используют теплообменники 5-7, соответствующие действия по охлаждению показаны с помощью 5'-7' на диаграмме энтальпия/давление фиг. 6. То же самое также применимо к сбросу давления в клапане 8 сброса давления, показанному с помощью 8'.

Остаток в форме потока i теперь сжимают в ступени IV компрессора, что показано на фиг. 6 с помощью IV', затем охлаждают в дополнительном охладителе VIa, что показано на фиг. 6 с помощью VIa', и т.п. Дополнительные стадии сжатия и охлаждения можно видеть непосредственно на фиг. 6. После сжатия в ступени VI компрессора и охлаждения в дополнительном охладителе VIa этиленовый продукт находится при уровне сверхкритического давления, обычно составляющем приблизительно 12,56 МПа (125, 6 бар), и при уровне температуры, например, приблизительно 40°C.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии, в котором газовую смесь, содержащую преимущественно или исключительно этилен и этан, разделяют в дистилляционной колонне (1), которая функционирует при уровне давления дистилляции от 500 кПа до 1,5 МПа (от 5 до 15 бар), на верхний погон, содержащий преимущественно или исключительно этилен, и нижний погон, содержащий преимущественно или исключительно этан, причем верхний погон извлекают в газообразном состоянии из головной части дистилляционной колонны (1) и первую его часть сжижают и возвращают в качестве флегмы в дистилляционную колонну (1), и вторую его часть переводят в сверхкритическое состояние и используют в качестве этиленового продукта, отличающийся тем, что для перевода упомянутой второй части верхнего погона в сверхкритическое состояние выполняют многоступенчатое сжатие его от уровня давления дистилляции через множество промежуточных уровней давления до уровня сверхкритического давления и упомянутую вторую часть верхнего погона в многоступенчатом сжатии переводят из газообразного в сверхкритическое состояние без промежуточного сжижения на промежуточных ступенях сжатия.

2. Способ по п.1, в котором промежуточные уровни давления включают первый промежуточный уровень давления, который составляет от 1,8 до 2,5 МПа (от 18 до 25 бар).

3. Способ по п.2, в котором упомянутую первую часть верхнего погона сжимают перед сжижением и использованием в качестве флегмы посредством многоступенчатого сжатия от уровня давления дистилляции до первого промежуточного уровня давления.

4. Способ по п.3, в котором дистилляционная колонна (1) функционирует с помощью донного испарителя, в котором в качестве теплоносителя используют упомянутую первую часть верхнего погона, сжатую до первого промежуточного уровня давления.

5. Способ по любому из пп.2-4, в котором хладагент, содержащий преимущественно или исключительно этилен, также сжимают посредством многоступенчатого сжатия от множества исходных уровней давления, которые лежат ниже уровня давления дистилляции, а также от уровня давления дистилляции до первого промежуточного уровня давления.

6. Способ по п.5, в котором исходные уровни давления включают первый исходный уровень давления, который составляет от 50 до 150 кПа (от 0,5 до 1,5 бар), и второй исходный уровень давления, который составляет от 200 до 400 кПа (от 2 до 4 бар).

7. Способ по п.6, в котором промежуточные уровни давления дополнительно включают второй промежуточный уровень давления, который составляет от 3,5 до 4,5 МПа (от 35 до 45 бар).

8. Способ по п.7, в котором первую ступень (I) компрессора используют для сжатия от первого до второго исходного уровня давления, вторую ступень (II) компрессора используют для сжатия от второго исходного уровня давления до уровня давления дистилляции, третью ступень (III) компрессора используют для сжатия от уровня давления дистилляции до первого промежуточного уровня давления и четвертую ступень (IV) компрессора используют для сжатия от первого промежуточного уровня давления до второго промежуточного уровня давления, причем от первой до четвертой ступени (I-IV) компрессора приводят в движение с одинаковой скоростью с помощью первого общего вала (10).

9. Способ по п.8, в котором промежуточные уровни давления дополнительно включают третий промежуточный уровень давления, который составляет от 6 до 8 МПа (от 60 до 80 бар) и уровень сверхкритического давления составляет от 10 до 15 МПа (от 100 до 150 бар).

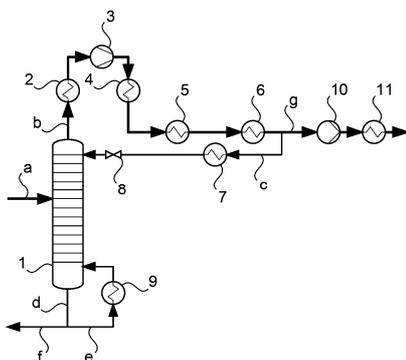
10. Способ по п.9, в котором пятую ступень (V) компрессора используют для сжатия от второго до третьего промежуточного уровня давления и шестую ступень (VI) компрессора используют для сжатия от третьего промежуточного уровня давления до уровня сверхкритического давления, причем пятую и

шестую ступени (V, VI) компрессора приводят в движение с одинаковой скоростью с помощью второго общего вала (11).

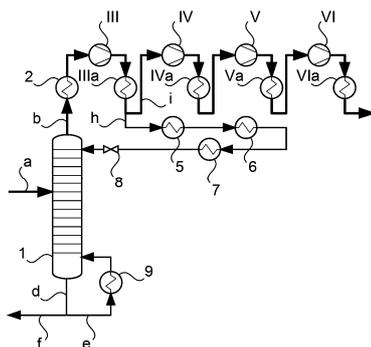
11. Способ по п.10, в котором первый и второй общие валы соединены друг с другом с помощью зубчатой передачи.

12. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором газовую смесь, содержащую преимущественно или исключительно этилен и этан, получают с использованием газа крекинга из процесса парового крекинга.

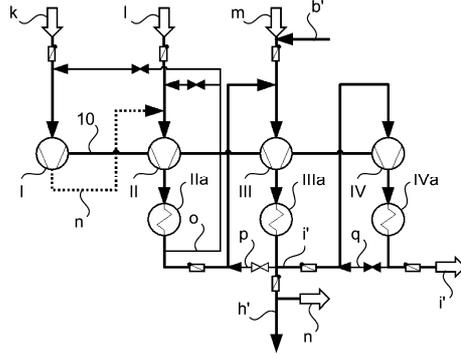
13. Установка для получения этиленового продукта в сверхкритическом состоянии, содержащая дистилляционную колонну (1), которая выполнена с возможностью разделения газовой смеси, содержащей преимущественно или исключительно этилен и этан, при уровне давления дистилляции от 0,5 до 1,5 МПа (от 5 до 15 бар), на верхний погон, содержащий преимущественно или исключительно этилен, и нижний погон, содержащий преимущественно или исключительно этан, при этом установка содержит средства, которые выполнены с возможностью извлечения верхнего погона в газообразном состоянии и для сжижения его первой части и ее возвращения в качестве флегмы в дистилляционную колонну (1), и для перевода его второй части в сверхкритическое состояние и ее использование в качестве этиленового продукта, отличающаяся тем, что средством для перевода указанной второй части верхнего погона в сверхкритическое состояние является многоступенчатый компрессор (I-VI), который выполнен с обеспечением возможности сжатия указанной второй части верхнего погона от уровня давления дистилляции через множество промежуточных уровней давления до уровня сверхкритического давления путем повышения давления на каждой ступени компрессора по отношению к предыдущей ступени, с обеспечением указанного перевода из газообразного в сверхкритическое состояние без промежуточного сжижения на промежуточных ступенях сжатия.



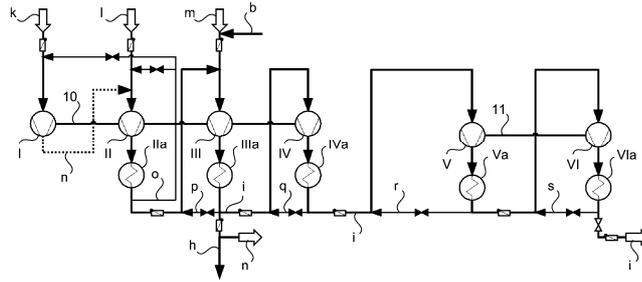
Фиг. 1



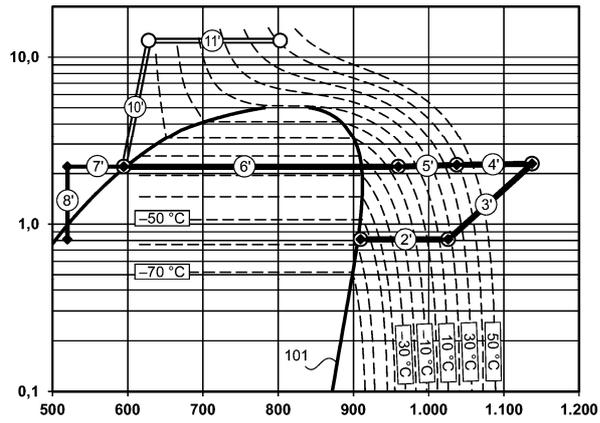
Фиг. 2



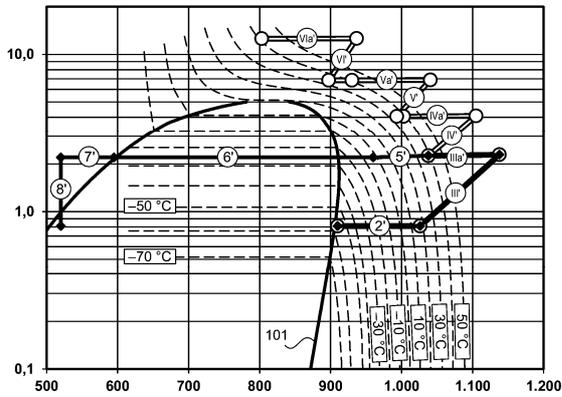
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6