

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **201891652** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
2019.02.28

(51) Int. Cl. *F04D 17/12* (2006.01)  
*F04D 29/58* (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2017.02.20

(54) **СПОСОБ СТУПЕНЧАТОГО СЖАТИЯ ГАЗА**

(31) 16156574.2

(32) 2016.02.19

(33) EP

(86) PCT/EP2017/053796

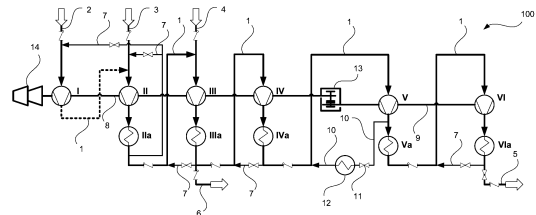
(87) WO 2017/140910 2017.08.24

(71) Заявитель:  
**ЛИНДЕ АКЦИЕНГЕЗЕЛЬШАФТ  
(DE)**

(72) Изобретатель:  
**Хёфель Торбен, Макракен Шон,  
Каман Мартин, Катцур Ева-Мария,  
Маттес Йёрг, Бречнайдер Томас (DE)**

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

(57) Предложен способ ступенчатого сжатия газа в компрессорном устройстве (100, 200, 300, 400), содержащем множество ступеней сжатия (I-VI), которые соединены друг с другом последовательно посредством главной линии (1), и в котором газ, направляемый через главную линию (1), соответственно сжимают от уровня давления стороны всасывания до уровня давления стороны нагнетания и нагревают посредством данного сжатия от уровня температуры стороны всасывания до уровня температуры стороны нагнетания, причем возвратную часть газа, направляемого через главную линию (1), по меньшей мере, временно удаляют из главной линии (1) ниже по потоку от одной из ступеней (V) сжатия, подают в процесс расширения и подают обратно в главную линию (1) выше по потоку от той же ступени (V) сжатия. Обеспечивают работу так, что уровень давления стороны нагнетания ступени (V) сжатия, ниже по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии (1), является сверхкритическим уровнем давления; возвратную часть расширяют до подкритического уровня давления; возвратную часть подают в процесс расширения при уровне температуры стороны нагнетания ступени (V) сжатия, ниже по потоку от которой ее удаляют из главной линии (1); и возвратную часть охлаждают только после ее расширения и до и/или после ее подачи обратно в главную линию (1). Изобретение также относится к компрессорному устройству (100, 200, 300, 400).



**A1**

**201891652**

**201891652**

**A1**

## Способ ступенчатого сжатия газа

Изобретение относится к способу ступенчатого сжатия газа в компрессорном устройстве, содержащем множество ступеней сжатия, которые соединены друг с другом последовательно посредством главной линии, и к соответствующему компрессорному устройству, согласно ограничительной части независимых пунктов формулы изобретения.

### Уровень техники

Способы и устройства для парового крекинга углеводородов известны и описаны, например, в статье «Этилен» в Ullmann's Encyclopaedia of Industrial Chemistry, в интернете с 15 апреля 2009 г., DOI 10.1002/14356007.a10\_045.pub3.

При паровом крекинге получают газовые смеси, которые после отделения воды и масляных составляющих, если они присутствуют (так называемое пиролизное масло), все еще в основном содержат водород, метан и углеводороды, содержащие два и более атомов углерода. Газовые смеси этого типа можно разделить в последовательностях разделения, которые в основном известны специалисту, а также описаны в упомянутой статье. Обычный целевой продукт при паровом крекинге, а именно этилен, также отделяют от других компонентов в соответствующих последовательностях разделения. В связи с этим, этилен обычно извлекают из верхней части так называемого разделителя C2.

С учетом требований последующих технологических процессов или потребителей этилен можно выпускать в предельную установку при различных условиях. Обычно этилен выпускают при повышенном давлении в форме газа. При условии, что этилен уже не присутствует при требуемых условиях, выполняют сжатие в одноступенчатых или многоступенчатых турбокомпрессорах. Так как этилен также используют в качестве хладагента в упомянутых последовательностях разделения, его также сжимают для этой цели. Этилен обычно сжимают для упомянутых целей в обычном турбокомпрессоре, содержащем множество ступеней сжатия и промежуточного охлаждения, который таким образом также используют в качестве компрессора продукта и в качестве компрессора хладагента. Этилен удаляют из этого турбокомпрессора для использования в качестве хладагента и в качестве продукта при различных уровнях давления, соответствующих различным ступеням сжатия. Соответствующий турбокомпрессор схематически показан на приложенной Фиг. 1 и описан более подробно ниже. Однако, в принципе, также можно

использовать множество отдельных, в частности многоступенчатых, турбокомпрессоров для сжатия хладагента и продукта.

Хотя настоящее изобретение в основном описано со ссылкой на этилен и на богатые этиленом газы, оно также подходит для сжатия газов, которые ведут себя термодинамически похожим образом, таких как этан и диоксид углерода. Описание по отношению к этилену поэтому используют только в качестве примера.

В особых случаях требуется выделение этилена при сверхкритическом уровне давления. Для этой цели этилен можно либо сжижать и затем перемещать при сверхкритическом уровне давления с помощью насоса, либо довести до соответствующего уровня давления в многоступенчатом компрессоре описанного типа. Последний случай схематически показан на приложенной Фиг. 2, а также описан более подробно ниже. Здесь продукт сжимают в ступенях IV – VI, а хладагент сжимают в ступенях I – III. Сжатие без сжижения является более предпочтительной альтернативой в показателях энергии.

Однако, как описано ниже, при многоступенчатом сжатии могут возникать проблемы при сверхкритических уровнях давления в стандартных многоступенчатых компрессорах. Настоящее изобретение служит для преодоления этих проблем.

### Описание изобретения

В связи с вышеизложенным, настоящее изобретение предлагает способ ступенчатого сжатия газа в компрессорном устройстве, содержащем множество ступеней сжатия, которые соединены друг с другом последовательно посредством главной линии, и соответствующее компрессорное устройство, согласно независимым пунктам формулы изобретения. Воплощения являются объектом зависимых пунктов формулы изобретения и последующего описания.

Для характеристики давлений и температур в настоящей заявке используют термины «уровень давления» и «уровень температуры», которые предназначены для обозначения того, что соответствующие давления и температуры в соответствующей установке не следует использовать в форме точных значений давления или температуры для осуществления идеи изобретения. Однако такие давления и температуры обычно находятся в определенных интервалах, которые составляют, например,  $\pm 1\%$ ,  $5\%$ ,  $10\%$ ,  $20\%$  или даже  $50\%$  от среднего значения. В этой связи, соответствующие уровни давления и уровни температуры могут лежать в непересекающихся интервалах или в перекрывающихся интервалах. В частности, например, уровни давления включают

падения давления, которые являются неизбежными или которые являются ожидаемыми. То же самое применимо к уровням температуры. Уровни давления, которые указаны здесь в барах, являются абсолютными давлениями.

### Преимущества изобретения

Перед тем, как этилен достигнет сверхкритического уровня давления в многоступенчатом турбокомпрессоре, возможно происходит его сжижение при относительно умеренных температурах при высоком, но все еще подкритическом уровне давления. Критическая температура этилена составляет приблизительно  $8^{\circ}\text{C}$ . Эта температура является достаточно низкой для того, чтобы сжижение не происходило при промежуточном охлаждении охлаждающей водой ниже по потоку от ступени сжатия. Охлаждающая вода обычно находится при температуре по меньшей мере  $10^{\circ}\text{C}$ . Однако обычно в многоступенчатых турбокомпрессорах предусмотрены обратные линии или так называемые перепуски, которые при частичной загрузке или других периодически возникающих рабочих состояниях расширяют этилен до более низкого уровня давления со стороны нагнетания ступени сжатия и подают его обратно на сторону всасывания той же ступени сжатия или на ступень сжатия, которая расположена выше нее по потоку. Это также показано на Фиг. 2 и описано более подробно ниже.

Если этилен охлаждают слишком сильно перед соответствующей рециркуляцией, в течение расширения может происходить нежелательное частичное сжижение. Если сжатый этилен находится при приблизительно 7 МПа (70 бар), например, после ступени V турбокомпрессора согласно Фиг. 2, и если его охлаждают до  $20^{\circ}\text{C}$  при этом уровне давления и затем изоэнтальпически расширяют до приблизительно 4 МПа (40 бар) с помощью дроссельного клапана для подачи его обратно в ступень V, происходит прямой переход в двухфазную область на энтальпийной диаграмме. Для получения более подробной информации дана ссылка на энтальпийные диаграммы для этилена, опубликованные в специальной литературе. Однако соответствующее частичное сжижение является недостатком, потому что используемые многоступенчатые компрессоры не приспособлены для перемещения жидких фаз.

Для преодоления этого недостатка настоящее изобретение предлагает способ ступенчатого сжатия газа в компрессорном устройстве, содержащем множество ступеней сжатия, которые соединены друг с другом последовательно посредством главной линии. Ступени сжатия могут быть выполнены, в частности, в виде ступеней турбокомпрессора,

как описано ранее. В частности, ступени сжатия можно частично или полностью приводить в движение с помощью общих механических устройств, например, общих валов, и таким образом они соединены друг с другом механически.

Как упоминали, используемый в настоящем изобретении газ может представлять собой, например, богатый этиленом газ. Богатый этиленом газ этого типа также может быть чистым или в основном чистым этиленом, то есть он может содержать по меньшей мере 90%, 95% или 99% этилена. Так как в рамках настоящего изобретения богатый этиленом газ можно удалять, в частности, из верхней части известного разделителя C2 (см. специальную литературу, упомянутую в начале), он, в этой связи, имеет, в частности, обычное содержание этилена. В целях упрощения, соответствующий богатый этиленом газ также называют далее «этиленом». Однако настоящее изобретение также подходит, например, для сжатия этана или диоксида углерода, которые обладают сравнимыми термодинамическими характеристиками, или для соответствующих богатых этаном и богатым диоксидом углерода газов.

В ступенях сжатия газ, который направляют через главную линию, соответственно сжимают от уровня давления стороны всасывания до уровня давления стороны нагнетания и нагревают посредством данного сжатия от уровня температуры стороны всасывания до уровня температуры стороны нагнетания.

Здесь термин «уровень давления стороны всасывания» понимают как означающий уровень давления, при котором газ подают в ступень сжатия. Этот уровень давления стороны всасывания также обычно известен как «давление всасывания». «Уровень давления стороны нагнетания» является уровнем давления, до которого ступень сжатия сжимает газ.

Здесь термин «уровень температуры стороны всасывания» понимают как означающий уровень температуры, при котором соответствующий газ подают в ступень сжатия. На этот уровень температуры больше не влияют активно перед тем, как газ подают в компрессор, в частности, газ больше не нагревают активно или не охлаждают от уровня температуры стороны всасывания. Соответственно, термин «уровень температуры стороны всасывания» обозначает уровень температуры сразу ниже по потоку от соответствующей ступени сжатия, таким образом уровень температуры стороны нагнетания является уровнем температуры, при котором соответствующий газ покидает ступень сжатия. Поэтому ниже по потоку от ступени сжатия на уровень температуры больше не влияют активно для достижения уровня температуры стороны нагнетания, в

частности, отсутствует нагрев или активное охлаждение в охладителе. Если ниже по потоку от ступени сжатия используют промежуточный охладитель, «уровень температуры стороны нагнетания» присутствует вплоть до входа газа в промежуточный охладитель.

В рамках настоящего изобретения, согласно стандартным линиям перепуска, возвратную часть газа, направляемого через главную линию, по меньшей мере временно удаляют из главной линии ниже по потоку от одной из ступеней сжатия, подают в процесс расширения и после расширения подают обратно в главную линию выше по потоку от той же ступени сжатия.

Выражение «подают обратно выше по потоку от той же ступени сжатия» может означать, как также объяснено ниже, обратную подачу сразу выше по потоку от ступени сжатия, ниже по потоку от которой была удалена возвратная часть; однако обратная подача также может происходить выше по потоку от одной или более дополнительных ступеней сжатия, которые расположены выше по потоку от ступени сжатия, ниже по потоку от которой возвратная часть была удалена из главной линии.

Как уже указывали, если соответствующие перепуски используют в форме описанной возвратной части, могут возникать ранее описанные проблемы частичного сжижения, когда используют устройство, которое было ранее описано и показано на Фиг. 2. В таком устройстве соответствующую возвратную часть удаляют из главной линии ниже по потоку от дополнительного охладителя, так что она уже находится в охлажденном состоянии в месте удаления. Возвратную часть дополнительно охлаждают с помощью процесса расширения, что необходимо для обратной подачи. Это является особенно критичным в случае флуктуации или в целом низких температур охлаждающей воды, потому что здесь может происходить (частичное) сжижение. Как упоминали, это может происходить, например, в случае этилена или богатых этиленом газов, даже при относительно умеренных температурах, а именно, например, если возвратную часть, находящуюся при давлении приблизительно 7 МПа (70 бар), охлаждают до 20°C при этом уровне давления, а затем изоэнтальпически расширяют до приблизительно 4 МПа (40 бар) с помощью дроссельного клапана.

Образование соответствующей жидкой фазы не может происходить только тогда, когда уровень давления стороны нагнетания ступени сжатия, ниже по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии, превышает сверхкритический уровень давления и данную возвратную часть расширяют до подкритического уровня давления, однако в течение нормального функционирования соответствующей установки это

является недостатком, особенно в течение «транскритического» расширения этого типа. Поэтому настоящее изобретение направлено на соответствующие случаи транскритического сжатия и расширения.

Поэтому в изобретении обеспечивают, что уровень давления стороны нагнетания ступени сжатия, ниже по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии, является сверхкритическим уровнем давления; что возвратную часть расширяют до подкритического уровня давления; и что возвратную часть подают в процесс расширения при уровне температуры стороны нагнетания ступени сжатия, ниже по потоку от которой ее удаляют из главной линии. Для получения преимуществ настоящего изобретения, возвратную часть охлаждают только после ее расширения и до и/или после ее подачи обратно в главную линию.

В принципе, соответствующие проблемы также могут возникать, если возвратную часть расширяют в течение нормального функционирования от сверхкритического до подкритического уровня давления (то есть, например, в ступени VI устройства, показанного на Фиг. 2, или соответствующей возвратной части). Например, в течение начала работы или в течение нарушения нормальной работы соответствующей установки уровень давления возвратной части может временно лежать ниже критического уровня давления или может падать до соответствующего значения. В течение начала работы или в течение ее прерываний можно потенциально регистрировать значительные флуктуации уровней давления, до тех пор, пока соответствующая установка (снова) не достигнет стационарного режима.

В преимущественном воплощении способа по изобретению поэтому обеспечивают, что добавочную возвратную часть газа, направляемого через главную линию, по меньшей мере временно удаляют из главной линии ниже по потоку от добавочной ступени сжатия, подают в процесс расширения и подают обратно в главную линию выше по потоку от той же добавочной ступени сжатия; что уровень давления стороны нагнетания добавочной ступени сжатия, ниже по потоку от которой добавочную возвратную часть удаляют из главной линии, является сверхкритическим уровнем давления; что данную добавочную возвратную часть расширяют до сверхкритического уровня давления; и что возвратную часть охлаждают только после ее расширения и до и/или после ее подачи обратно в главную линию. Таким образом, в этом случае также избегают сжижения.

В особых случаях сжижение также может происходить, когда уровень давления стороны нагнетания находится ниже сверхкритического уровня давления, а именно, когда

возвратная часть перед расширением находится на подкритическом уровне давления, и одновременно на уровне температуры, при котором можно достичь двухфазной области путем простого расширения. Примером этого является уровень давления приблизительно 4,8 МПа (48 бар) и уровень температуры приблизительно 10°C. На диаграмме давление/энтальпия точка, определяемая соответствующим уровнем давления и уровнем температуры, расположена выше линии двух фаз.

Также в этом случае для того, чтобы избежать сжижения, в дополнительном воплощении настоящего изобретения обеспечивают, что дополнительную возвратную часть газа, направляемого через главную линию, по меньшей мере временно удаляют из главной линии ниже по потоку от дополнительной ступени сжатия, подают в процесс расширения и подают обратно в главную линию выше по потоку от той же дополнительной ступени сжатия; что уровень давления стороны нагнетания дополнительной ступени сжатия, ниже по потоку от которой дополнительную возвратную часть удаляют из главной линии, является подкритическим уровнем давления; что данную дополнительную возвратную часть расширяют до подкритического уровня давления; и что возвратную часть охлаждают только после ее расширения и до и/или после ее подачи обратно в главную линию.

В настоящем изобретении решают проблему сжижения в упомянутых случаях тем, что возвратную часть (следующие объяснения также относятся к множеству возвратных частей) подают в процесс расширения при уровне температуры стороны нагнетания ступени сжатия, ниже по потоку от которой ее удаляют из главной линии. Другими словами, в рамках настоящего изобретения соответствующую возвратную часть не охлаждают ниже по потоку от соответствующей ступени сжатия, в которой формируют возвратную часть, до ее расширения. Это является существенным отличием от предшествующего уровня техники. В случае изоэнтальпического расширения начиная с соответствующего уровня давления, но от более высокой температуры, чем упомянута ранее (потому что последующее охлаждение все еще не происходило), не достигают двухфазной области соответствующей энтальпийной диаграммы и поэтому возвратная часть полностью остается в газообразном состоянии. Как уже указывали, расширение предпочтительно происходит изоэнтальпически, то есть для расширения предпочтительно используют дроссельный клапан.

Как уже упоминали, в рамках настоящего изобретения не происходит охлаждение перед расширением возвратной части после того, как она была удалена из главной линии.



Однако в рамках настоящего изобретения возвратную часть охлаждают после расширения и до и/или после ее подачи обратно в главную линию, для чего можно предусмотреть отдельный теплообменник в обратной линии, используемой для возвращения возвратной части, и/или в главной линии ниже по потоку от места подачи возвратной части. Отдельный теплообменник данного типа может быть преимуществом, потому что таким образом охлаждение соответствующей возвратной части можно приспособить индивидуально для соответственно требуемых условий. Однако также можно осуществлять процесс охлаждения в главной линии без отдельного теплообменника. В этом случае возвратную часть подают в главную линию без охлаждения или после (частичного) охлаждения в отдельном теплообменнике в обратной линии и охлаждают здесь с помощью теплообменника, который также используют для охлаждения остающегося газа, который не был подан обратно и присутствует в главной линии. Таким образом, можно создать соответствующую установку относительно простым и экономичным образом.

Как уже упоминали, в рамках настоящего изобретения возвратную часть не обязательно нужно подавать обратно в главную линию сразу выше по потоку от ступени сжатия, ниже по потоку от которой ее удаляют из главной линии. Вместо этого, возвратную часть можно преимущественно подать обратно в главную линию выше по потоку от одной или более ступеней сжатия, которые расположены выше по потоку от ступени сжатия, ниже по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии. Таким образом, на уровне давления стороны всасывания множества расположенных выше по потоку ступеней сжатия можно оказывать влияние особенно преимущественным образом, используя возвратную часть.

В рамках настоящего изобретения возвратную часть преимущественно регулируют на основе достижимого или достигнутого уровня давления стороны всасывания или стороны нагнетания одной из ступеней сжатия. В частности, в соответствующем способе давление продукта можно фиксировать с помощью регулируемого клапана, который расположен ниже по потоку от последней ступени сжатия. Этот клапан фиксирует давление продукта, то есть уровень давления стороны нагнетания последней ступени сжатия. Уровень давления этого типа может составлять, например, приблизительно 12,56 МПа (125,6 бар). В этом случае уровень температуры стороны нагнетания ниже по потоку от последующего охлаждения ниже по потоку от последней ступени сжатия может составлять, например, приблизительно 40°C.

Уровень давления стороны всасывания расположенной выше по потоку ступени сжатия, в которую загружают этилен из контура этиленового хладагента высокого давления, и которая сжимает газ в главной линии до уровня давления, например, приблизительно 2,25 МПа (22,5 бар), можно настроить с помощью скорости вращения этой ступени сжатия. Также таким образом фиксируют уровень давления стороны всасывания ступеней сжатия, расположенных выше по потоку от нее в соответствующем многоступенчатом турбокомпрессоре. Если не достигают соответствующего уровня давления стороны всасывания, например, в течение частичной загрузки, регулирование можно выполнить путем открывания соответствующих перепусков, то есть путем обеспечения или увеличения соответствующей возвратной части.

Как также объяснено далее со ссылкой на приложенные чертежи, в особых режимах работы, например, в течение частичной загрузки или при изменении температур потока охлаждающей воды, условия на входе в отдельные ступени сжатия могут изменяться в различных степенях. Кроме того, термодинамические характеристики текучей среды при повышенном давлении могут оказывать непропорциональное влияние. Следовательно, расположенные ниже по потоку ступени сжатия в соответствующем многоступенчатом компрессоре во всевозрастающей степени вырабатывают слишком большое давление, возможно, в течение частичной загрузки или если охлаждающая вода является слишком холодной. Для решения этой проблемы также можно выполнять регулирование путем настойки соответствующих возвратных частей.

Настоящее изобретение является особенно преимущественным в случаях флуктуации температур охлаждающей воды, потому что в рамках настоящего изобретения температура возвратной части может больше не падать ниже температуры охлаждающей воды, потому что ее сначала расширяют и только затем охлаждают. Однако, в случае охлаждения (не по изобретению) возвратной части перед расширением, уровень температуры будет падать ниже температуры охлаждающей воды, потому что происходит дополнительное охлаждение, начиная с температуры, достигнутой путем охлаждения. Это является особым недостатком в случае, когда, как объяснено, например, в течение частичной загрузки, уровень давления стороны всасывания ступени сжатия устанавливают путем открывания снабжения возвратной части или увеличения возвратной части. Уровень температуры стороны нагнетания такой ступени сжатия становится все более и более низким из-за увеличения соответственно холодной

возвратной части. Это приводит к недостаткам с точки зрения регулирования на этой ступени сжатия и на расположенных ниже по потоку ступенях сжатия.

В качестве альтернативы или дополнительно к описанным мерам, для преодоления этой проблемы можно обеспечить охлаждение газа между ступенями сжатия с использованием охлаждающей воды, которую поддерживают в заранее заданном температурном интервале. В этом случае скорость вращения ступеней компрессора также можно регулировать по отдельности в интервале высокого давления.

Как уже упоминали, в рамках настоящего изобретения возможно множество ступеней сжатия, приводимых в движение с помощью одного или более общих валов, с которыми механически соединены соответствующие ступени сжатия. Соответствующие валы обеспечивают совместное приведение в движение множества ступеней сжатия, так что необходимо обеспечить только один приводной механизм. Использование множества валов является преимуществом, если конкретные ступени сжатия необходимо регулировать по отдельности, в особенности в ранее упомянутых случаях.

Однако, в рамках настоящего изобретения также возможно множество ступеней сжатия, соответственно приводимых в движение с помощью множества общих валов, что таким образом упрощает соответствующее регулирование. В таких случаях множество общих валов можно механически соединить друг с другом с помощью передачи, так что, например, можно достичь конкретного передаточного отношения, которое можно настроить с помощью регулируемой передачи.

Настоящее изобретение также относится к установке, которая выполнена для ступенчатого сжатия газа, и к компрессорному устройству, которое включает множество ступеней сжатия, которые соединены друг с другом последовательно посредством главной линии, и в котором газ, направляемый через главную линию, можно соответственно сжимать от уровня давления стороны всасывания до уровня давления стороны нагнетания и можно нагревать посредством данного сжатия от уровня температуры стороны всасывания до уровня температуры стороны нагнетания, причем предоставлены средства, которые выполнены для по меньшей мере временного удаления возвратной части газа, направляемого через главную линию, из главной линии ниже по потоку от ступеней сжатия, для подачи ее в процесс расширения и для подачи ее обратно в главную линию выше по потоку от той же ступени сжатия.

Согласно настоящему изобретению, установка выполнена для такого функционирования, чтобы уровень давления стороны нагнетания ступени сжатия, ниже

по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии, являясь сверхкритическим уровнем давления, а возвратную часть расширяли до подкритического уровня давления. Предоставлены средства, которые выполнены для подачи возвратной части в процесс расширения при уровне температуры стороны нагнетания ступени сжатия, ниже по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии. Кроме того, предоставлены средства, которые выполнены для охлаждения возвратной части только после того, как она была расширена, и перед тем и/или после того, как ее подают обратно в главную линию.

Установка этого типа извлекает пользу из ранее объясненных признаков и преимуществ. Она преимущественно выполнена для практической реализации способа, который был описан ранее. Поэтому дана непосредственная ссылка на соответствующие признаки и преимущества.

Далее настоящее изобретение описано более подробно со ссылкой на приложенные чертежи, на которых показаны воплощения изобретения по сравнению с техническими решениями, которые не являются воплощениями настоящего изобретения.

#### Краткое описание чертежей

На Фиг. 1 показано многоступенчатое компрессорное устройство не по настоящему изобретению.

На Фиг. 2 показано многоступенчатое компрессорное устройство не по настоящему изобретению.

На Фиг. 3 показано многоступенчатое компрессорное устройство согласно особенно предпочтительному воплощению настоящего изобретения.

На Фиг. 4 показано многоступенчатое компрессорное устройство согласно особенно предпочтительному воплощению настоящего изобретения.

На Фиг. 5 показано многоступенчатое компрессорное устройство согласно особенно предпочтительному воплощению настоящего изобретения.

#### Подробное описание чертежей

На следующих чертежах взаимно соответствующие элементы были обозначены одинаковыми номерами позиций. Для ясности их не описывают для каждого чертежа, если соответствующие элементы не выполняют различные функции и/или не выполнены различным образом.

На Фиг. 1 показано многоступенчатое компрессорное устройство согласно воплощению не по настоящему изобретению, и оно в общем обозначено номером позиции 500. Компрессорное устройство 500 выполнено для предоставления этилена при уровне давления приблизительно 4 МПа (40 бар), то есть при подкритическом уровне давления. Как упоминали, изобретение также подходит для сжатия других газов, таких как метан и диоксид углерода. Компрессорное устройство 500 содержит множество ступеней сжатия, которые обозначены здесь римскими цифрами от I до IV. Ступени I – IV сжатия соединены друг с другом главной линией 1. Ступени I – IV сжатия скомпонованы на общем валу 8 в компрессорном устройстве 500. Этилен подают в ступени I, II и III из контуров этиленового хладагента при различных уровнях давления и температуры через соответствующие линии 2 – 4. Линия 2 транспортирует этилен из контура хладагента низкого давления при приблизительно 105 кПа (1,05 бар), линия 3 транспортирует этилен из контура хладагента среднего давления при приблизительно 300 кПа (3 бар) и линия 4 транспортирует этилен из контура хладагента высокого давления при приблизительно 810 кПа (8,1 бар).

В первой ступени I сжатия этилен сжимают от упомянутого уровня давления стороны всасывания первой ступени I сжатия, составляющего 105 кПа (1,05 бар), до уровня давления стороны нагнетания, составляющего приблизительно 300 кПа (3 бар), который, в то же время, является уровнем давления стороны всасывания второй ступени II сжатия. В ступени II сжатия сжимают этилен в главной линии 1 до уровня давления стороны нагнетания, составляющего приблизительно 810 кПа (8,1 бар), который, в то же время, является уровнем давления стороны всасывания третьей ступени III сжатия. В ступени III сжатия этилен сжимают до уровня давления стороны нагнетания, составляющего приблизительно 2,25 МПа (22,5 бар), который, в то же время, является уровнем давления стороны всасывания четвертой ступени IV сжатия. В ступени IV сжатия этилен сжимают до уровня давления стороны нагнетания, составляющего приблизительно 4 МПа (40 бар), при котором его можно выпускать в виде продукта через линию 5. Через линию 4 подают дополнительный этилен, например, из верхней части разделителя C2. Так как компрессорное устройство 500 выполнено как объединенный компрессор хладагента и продукта, предусмотрена промежуточная линия 6 отбора для извлечения хладагента и, возможно, возвратного потока в разделитель C2.

Для рассеивания тепла сжатия, обусловленного сжатием в ступенях II – IV сжатия, предоставлены соответствующие дополнительные охладители IIa – IVa, в которых этилен

соответственно охлаждают до приблизительно  $40^{\circ}\text{C}$ . Так как на стороне всасывания третьей ступени III сжатия холодный этилен также подают из контура хладагента высокого давления, после поступления в третью ступень III сжатия получают температуру смешивания приблизительно  $18^{\circ}\text{C}$ . Температура на входе этилена из контура хладагента низкого давления в первой ступени I сжатия составляет приблизительно  $-57^{\circ}\text{C}$ , а температура на входе этилена из контура хладагента среднего давления во второй ступени II сжатия составляет приблизительно  $14^{\circ}\text{C}$ .

Через множество обратных линий 7 возвратные части можно соответственно удалить из главной линии 1 ниже по потоку от ступеней II – IV сжатия и можно подать их обратно в главную линию 1 выше по потоку от данных ступеней сжатия. В связи с этим, возвратные части расширяют через клапаны, которые отдельно не обозначены. В многоступенчатом компрессорном устройстве 500, показанном на Фиг. 1, проблема эффектов сжижения, упомянутых ранее, обычно возникает в меньшей степени, потому что здесь не достигают сверхкритического уровня давления.

На Фиг. 2 показано компрессорное устройство 600 согласно дополнительному воплощению не по настоящему изобретению. Ступени I – IV сжатия и их взаимосвязь были уже описаны. В компрессорном устройстве 600 ступени I – IV сжатия скомпонованы на общем валу 8.

В компрессорном устройстве 600 согласно Фиг. 2 предоставлены две дополнительные ступени V и VI сжатия. Они скомпонованы на общем валу 9 в компрессорном устройстве 600 и дополнительно сжимают этилен, выпускаемый через линию 5 в виде продукта в компрессорном устройстве 500 согласно Фиг. 1, до сверхкритического уровня давления. Этилен, сжатый до приблизительно  $4,02\text{ МПа}$  ( $40,2\text{ бар}$ ) и охлажденный до уровня температуры приблизительно  $40^{\circ}\text{C}$ , подают в пятую ступень V сжатия в компрессорном устройстве 600. Таким образом, уровень давления стороны всасывания данной ступени V сжатия составляет приблизительно  $4,02\text{ МПа}$  ( $40,2\text{ бар}$ ). В ступени V сжатия этилен сжимают от этого уровня давления стороны всасывания до уровня давления стороны нагнетания, составляющего приблизительно  $7,04\text{ МПа}$  ( $70,4\text{ бар}$ ). Тем самым его нагревают и охлаждают в дополнительном охладителе Va до приблизительно  $40^{\circ}\text{C}$ . После этого этилен подают в ступень VI сжатия, в которой его сжимают до уровня давления стороны нагнетания, составляющего приблизительно  $12,56\text{ МПа}$  ( $125,6\text{ бар}$ ). После охлаждения в дополнительном охладителе VIa до приблизительно

40°C, этилен выпускают в виде продукта при уровне температуры приблизительно 40°C и при упомянутом уровне давления через линию 5.

Также ниже по потоку от ступеней V и VI сжатия предоставлены обратные линии 7, с помощью которых возвратные части можно соответственно удалить из главной линии 1 и можно подать их обратно в главную линию выше по потоку от соответствующих ступеней сжатия. Однако, как упоминали, возможно происходят неблагоприятные эффекты сжижения в течение сжатия, особенно в ступени V сжатия, в течение обратной подачи и расширения.

В компрессорном устройстве 600 согласно Фиг. 2 валы 8 и 9 можно соединить друг с другом с помощью передачи, как также показано на последующих Фиг. 3 и 4. Таким образом, скорость вращения ступеней I – VI сжатия можно больше не регулировать независимо от других ступеней сжатия. Если теперь уровень давления стороны всасывания ступени V сжатия понижается, например, потому что меньшее количество этилена подают через линию 4, этому можно противодействовать только путем открывания обратной линии 7 ниже по потоку от дополнительного охладителя Va. Это не является проблемой, при условии, что с помощью температуры охлаждающей воды в дополнительном охладителе Va обеспечивают, что возвратная часть, направляемая в обратную линию 7 ниже по потоку от дополнительного охладителя Va, находится при достаточно высокой температуре, например, приблизительно 40°C. Однако, в чрезвычайном случае, с более холодной охлаждающей водой, температура возвратной части, направляемой в обратную линию 7 ниже по потоку от дополнительного охладителя Va, может упасть до значения, составляющего, например, 20°C. Эта температура дополнительно понижается из-за расширения в расширительном клапане. Уровень температуры стороны всасывания ступени V сжатия таким образом также падает и, таким образом, также падает уровень давления стороны всасывания. И в этом случае, этому можно противодействовать только путем возвращения большего количества возвратной части, что, в свою очередь, однако, вызывает дополнительное падение уровня температуры стороны всасывания ступени V сжатия. Окончательно, очень большое количество этилена циркулирует без какой-либо выгоды. Это также влияет на ступени сжатия ниже по потоку.

На Фиг. 3 схематически показано компрессорное устройство согласно воплощению настоящего изобретения, которое в общем обозначено номером позиции 100. Компрессорное устройство 100 в основном является таким же, как компрессорное

устройство 600 согласно Фиг. 2. Однако, в то время как в компрессорном устройстве 600 согласно Фиг. 2 обратная линия 7 расположена ниже по потоку от дополнительного охладителя Va, соответствующая обратная линия, обозначенная здесь для ясности номером позиции 10, согласно воплощению компрессорного устройства 100 по настоящему изобретению, которое показано на Фиг. 3, ответвляется от главной линии 1 выше по потоку от данного дополнительного охладителя и сразу ниже по потоку от ступени V сжатия.

Эта мера может обеспечить, что возвратную часть, которую направляют через обратную линию 10 и ответвляют из главной линии 1, расширяют в расширительном устройстве 11, например, расширительном клапане, от более высокого уровня температуры, чем в компрессорном устройстве 600 согласно Фиг. 2. Таким образом, никакие эффекты сжижения не могут происходить в течение расширения в расширительном устройстве 11.

Ниже по потоку от расширительного устройства 11 в обратной линии 10 предоставлен отдельный охладитель 12, который может охлаждать расширенную возвратную часть в обратной линии 10. После охлаждения возвратную часть подают обратно в главную линию 1 из обратной линии 10.

Воплощение компрессорного устройства 100 по настоящему изобретению, которое показано на Фиг. 3, также отличается от компрессорного устройства 600 согласно Фиг. 2 тем, что общий вал 8 связывает ступени I – IV сжатия и общий вал 9 связывает ступени V и VI сжатия. Валы 8 и 9 соединены друг с другом с помощью передачи 13. Общий привод 14, например, паровая турбина, может таким образом приводить в движение вал 8 и вал 9. Передача 13 может быть выполнена таким образом, чтобы ее скорость была изменяемой или фиксированной.

Недостатки, касающиеся регулирования, описанные в связи с компрессорным устройством 600 согласно Фиг. 2, преодолевают с помощью воплощения компрессорного устройства 100 по настоящему изобретению, которое показано на Фиг. 3. Даже когда температура охлаждающей воды в дополнительном охладителе Va понижается, обеспечивают, что возвратную часть, направляемую в обратную линию 7 ниже по потоку от дополнительного охладителя Va, не охлаждают в такой большой степени, которая была упомянута в связи с компрессорным устройством 600 согласно Фиг. 2. Максимальное охлаждение ограничено теплообменником 12, потому что затем не происходит никакого



дополнительного расширения. Это может предотвратить избыточное падение уровня температуры стороны всасывания ступени V сжатия.

На Фиг. 4 показано компрессорное устройство согласно дополнительному воплощению настоящего изобретения, которое в общем обозначено номером позиции 200. Компрессорное устройство 200 согласно Фиг. 4 в основном является таким же, как компрессорное устройство 100 согласно Фиг. 3, хотя здесь обратная линия также выполнена ниже по потоку от ступени VI сжатия, точно также как обратная линия ниже по потоку от ступени V сжатия. Для ясности использованы такие же номера позиций и дана ссылка на приведенное выше описание. Как указано выше, в случае ступени VI сжатия таким образом также избегают нежелательного сжижения, которое могло бы происходить в течение ненормальных режимов работы, таких как начало работы или неисправность.

На Фиг. 5 показано компрессорное устройство согласно дополнительному воплощению настоящего изобретения, которое в общем обозначено номером позиции 300. Подобно Фиг. 4, здесь обратная линия 10 ответвляется сразу ниже по потоку от ступени VI сжатия и поставляет возвратную часть этилена в процесс расширения в расширительном клапане 11. Однако здесь этилен подают обратно в главную линию 1 сразу ниже по потоку от расширения в расширительном устройстве 17, более конкретно не сразу выше по потоку от ступени VI сжатия, но выше по потоку от ступени V сжатия. Добавочный дополнительный охладитель 15 предоставлен ниже по потоку от места подачи возвратного потока этилена из обратной линии 16.

Валы 8 и 9 компрессорного устройства 300 выполнены по отдельности друг от друга, соответственно предоставлены отдельные приводы 14.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ ступенчатого сжатия газа в компрессорном устройстве (100, 200, 300, 400), содержащем ступени сжатия (I–VI), которые соединены друг с другом последовательно посредством главной линии (1), и в котором газ, направляемый через главную линию (1), соответственно сжимают от уровня давления стороны всасывания до уровня давления стороны нагнетания и нагревают посредством данного сжатия от уровня температуры стороны всасывания до уровня температуры стороны нагнетания, причем возвратную часть газа, направляемого через главную линию (1), по меньшей мере временно удаляют из главной линии (1) ниже по потоку от одной из ступеней (V) сжатия, подают в процесс расширения и подают обратно в главную линию (1) выше по потоку от той же ступени (V) сжатия, отличающийся тем, что уровень давления стороны нагнетания ступени (V) сжатия, ниже по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии (1), является сверхкритическим уровнем давления, возвратную часть расширяют до подкритического уровня давления, возвратную часть подают в процесс расширения при уровне температуры стороны нагнетания ступени (V) сжатия, ниже по потоку от которой ее удаляют из главной линии (1), и возвратную часть охлаждают только после ее расширения и до и/или после ее подачи обратно в главную линию (1).

2. Способ по п. 1, в котором добавочную возвратную часть газа, направляемого через главную линию (1), по меньшей мере временно удаляют из главной линии (1) ниже по потоку от добавочной ступени (VI) сжатия, подают в процесс расширения и подают обратно в главную линию (1) выше по потоку от той же добавочной ступени (VI) сжатия, при этом уровень давления стороны нагнетания добавочной ступени (VI) сжатия, ниже по потоку от которой добавочную возвратную часть удаляют из главной линии (1), является сверхкритическим уровнем давления, при этом данную добавочную возвратную часть расширяют до сверхкритического уровня давления и при этом возвратную часть охлаждают только после ее расширения и до и/или после ее подачи обратно в главную линию (1).

3. Способ по п. 1 или п. 2, в котором дополнительную возвратную часть газа, направляемого через главную линию (1), по меньшей мере временно удаляют из главной линии (1) ниже по потоку от дополнительной ступени (III, IV) сжатия, подают в процесс

расширения и подают обратно в главную линию (1) выше по потоку от той же дополнительной ступени (III, IV) сжатия, при этом уровень давления стороны нагнетания дополнительной ступени (III, IV) сжатия, ниже по потоку от которой дополнительную возвратную часть удаляют из главной линии (1), является подкритическим уровнем давления, при этом данную дополнительную возвратную часть расширяют до подкритического уровня давления и при этом возвратную часть охлаждают только после ее расширения и до и/или после ее подачи обратно в главную линию (1).

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором дополнительный теплообменник используют в обратной линии, используемой для возвращения возвратной части, и/или в главной линии (1).

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором возвратную часть подают обратно в главную линию (1) выше по потоку от одной или более ступеней (I–IV) сжатия, которые расположены выше по потоку от ступени сжатия (V), ниже по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии (1).

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором возвратную часть регулируют на основании достижимого или достигнутого уровня давления стороны всасывания или стороны нагнетания одной из ступеней (I–VI) сжатия.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором газ охлаждают между ступенями (I–VI) сжатия с использованием охлаждающей воды, которую поддерживают в заранее заданном температурном интервале.

8. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором газ представляет собой этилен или богатый этиленом газ, который предоставляют, в частности, с использованием способа парового крекинга, или в котором газ представляет собой этан или богатый этаном газ, или в котором газ представляет собой диоксид углерода или богатый диоксидом углерода газ.

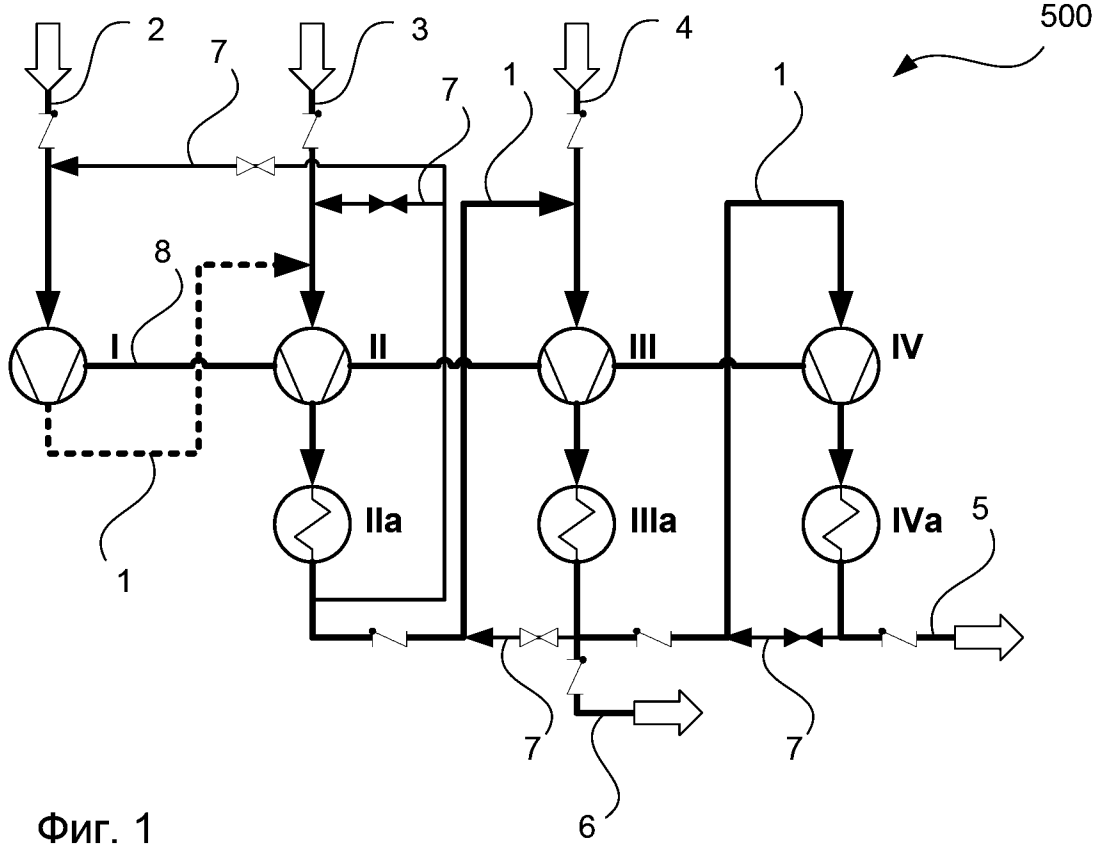
9. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором множество ступеней (I–VI) сжатия приводят в движение с помощью одного или более общих валов (8, 9), которыми соответствующие ступени (I–VI) сжатия механически соединены.

10. Способ по п. 9, в котором множество ступеней (I–VI) сжатия соответственно приводят в движение с помощью множества общих валов (8, 9).

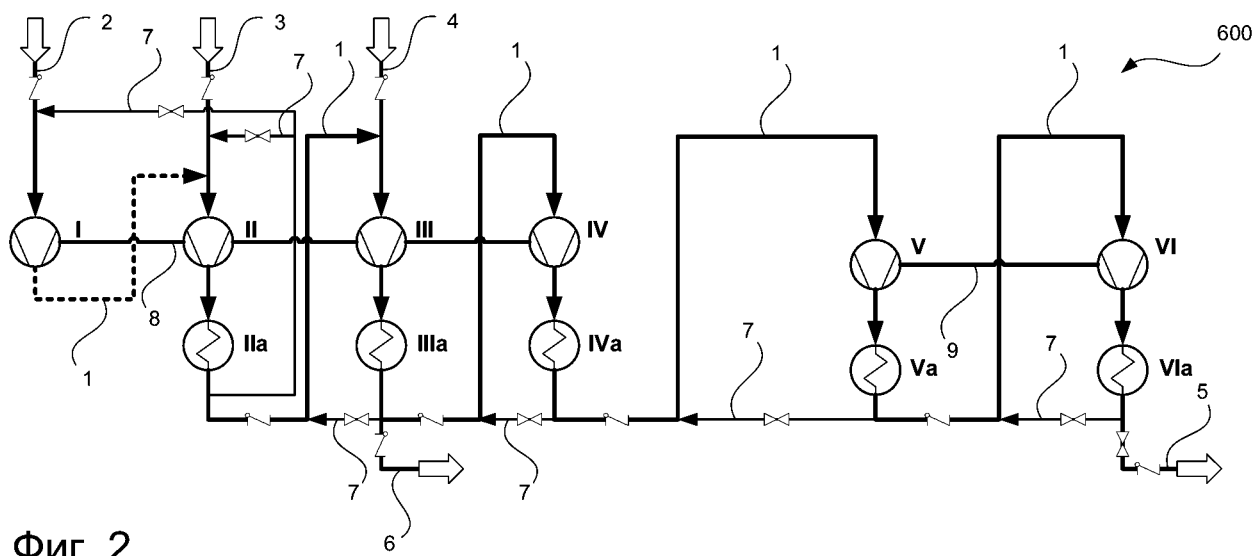
11. Способ по п. 10, в котором множество общих валов (8, 9) механически соединены с помощью передачи.

12. Установка, которая выполнена для ступенчатого сжатия газа и которая содержит компрессорное устройство (100, 200, 300, 400) со ступенями (I–VI) сжатия, которые соединены друг с другом последовательно посредством главной линии (1), и в которой газ, направляемый через главную линию (1), можно соответственно сжимать от уровня давления стороны всасывания до уровня давления стороны нагнетания и можно нагревать посредством данного сжатия от уровня температуры стороны всасывания до уровня температуры стороны нагнетания, причем предоставлены средства, которые выполнены для по меньшей мере временного удаления возвратной части газа, направляемого через главную линию (1), из главной линии (1) ниже по потоку от одной из ступеней сжатия (V), для подачи ее в процесс расширения и для подачи ее обратно в главную линию (1) выше по потоку от той же ступени (V) сжатия, отличающаяся тем, что установка выполнена для такого функционирования, чтобы уровень давления стороны нагнетания ступени (V) сжатия, ниже по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии (1), являлся сверхкритическим уровнем давления, а возвратную часть расширяют до подкритического уровня давления, при этом предоставлены средства, которые выполнены для подачи возвратной части в процесс расширения при уровне температуры стороны нагнетания ступени (V) сжатия, ниже по потоку от которой возвратную часть удаляют из главной линии (1), и предоставлены средства, которые выполнены для охлаждения возвратной части только после того, как она была расширена, и перед тем и/или после того, как ее подают обратно в главную линию (1).

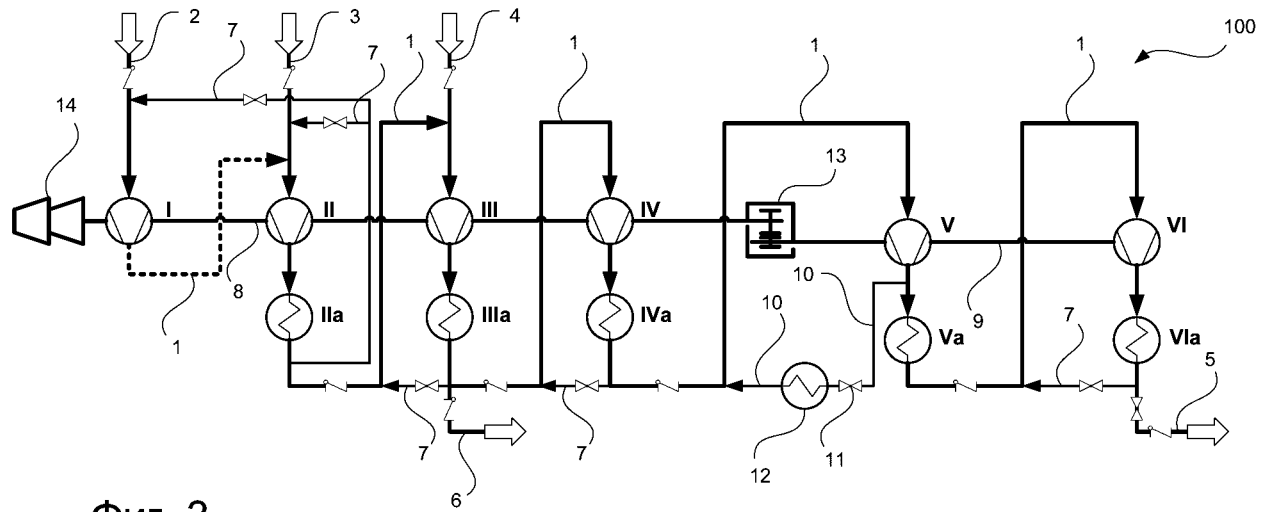
13. Установка по п. 12, которая выполнена для осуществления способа по любому из п.п. 1–11.



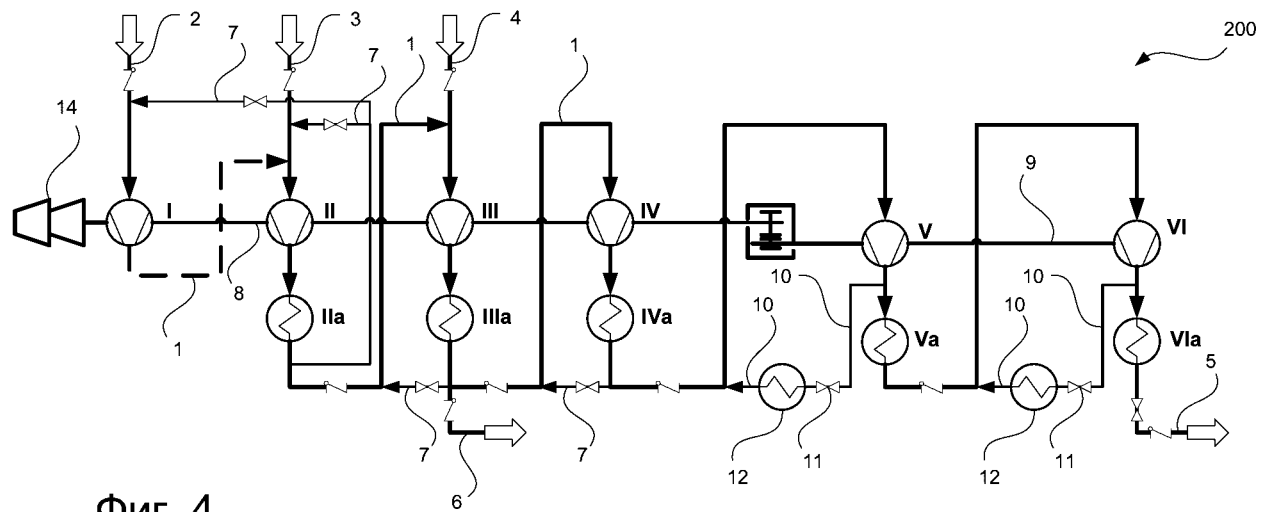
Фиг. 1



Фиг. 2

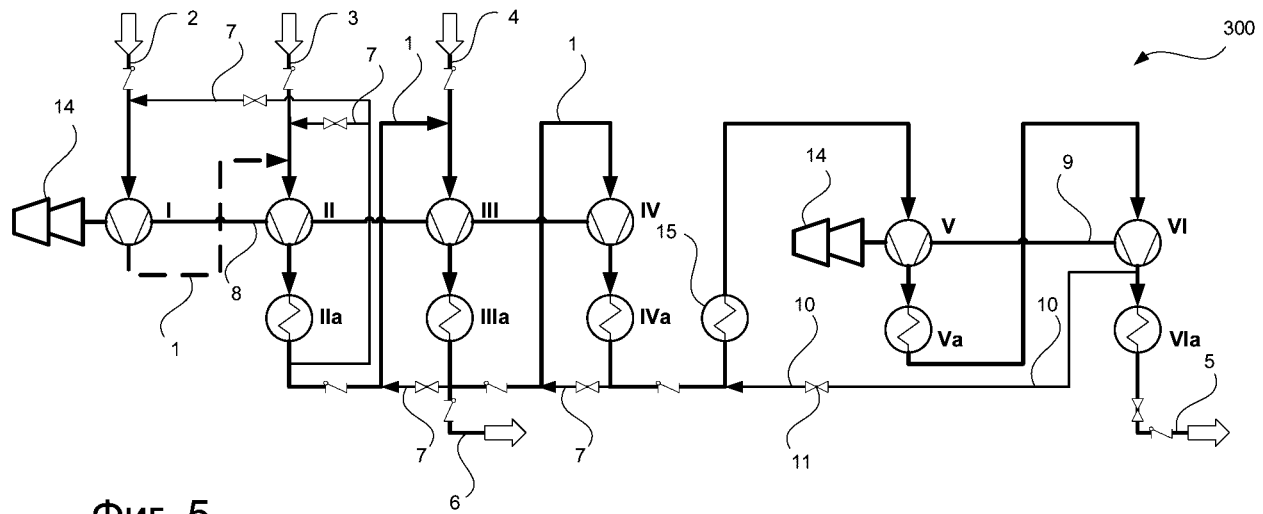


Фиг. 3



Фиг. 4





Фиг. 5