

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202291465** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.08.31

(51) Int. Cl. **F01K 23/08** (2006.01)
F01K 23/12 (2006.01)
F01K 25/10 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.11.12

(54) УСТАНОВКА НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЦИКЛОВ ДЖОУЛЯ-БРАЙТОНА И РЕНКИНА, РАБОТАЮЩАЯ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ МАШИН ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

(31) **102019000021987**

(32) **2019.11.22**

(33) **IT**

(86) **PCT/EP2020/025513**

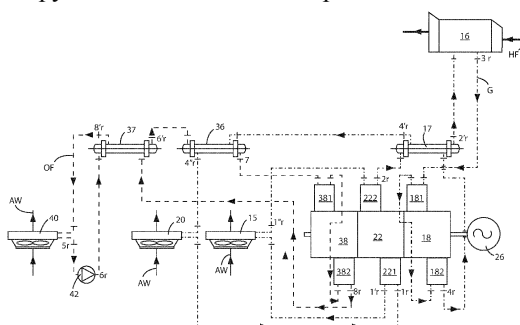
(87) **WO 2021/098985 2021.05.27**

(71) Заявитель:
**НУОВО ПИНЬОНЕ ТЕКНОЛОДЖЕ -
С.Р.Л. (IT)**

(72) Изобретатель:
**Насини Эрнесто, Сантини Марко,
Багагли Риккардо, Беллантоне
Франческо, Кьези Франческо (IT)**

(74) Представитель:
Нагорных И.М. (RU)

(57) Данное изобретение относится к системе цикла рекуперации отводимого тепла и соответствующему способу, в которой система цикла Брайтона работает в комбинации с системой цикла Ренкина. Система цикла Брайтона содержит нагреватель, выполненный с возможностью циркуляции текучей среды, а именно инертного газа, в теплообменном взаимодействии с источником нагрева, таким как отработавший газ другой системы, для рекуперации отводимого тепла из такой другой системы путем нагревания инертного газа. Система цикла Ренкина содержит теплообменник, выполненный с возможностью циркуляции второй текучей среды в теплообменном взаимодействии с инертным газом системы цикла Брайтона для нагрева второй текучей среды при одновременном охлаждении инертного газа. Вторая текучая среда может быть выбрана из жидкостей, имеющих температуру кипения ниже температуры инертного газа из расширительной установки/группы в системе цикла Брайтона.



202291465
A1

202291465

A1

Установка на основе комбинированных циклов Джоуля-Брайтона и Ренкина, работающая с непосредственным соединением машин возвратно-поступательного действия

Описание

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0001] Данное изобретение относится к усовершенствованным термодинамическим установкам на основе комбинированных циклов Джоуля-Брайтона и Ренкина, работающим с непосредственным соединением машин возвратно-поступательного действия. Варианты реализации изобретения, описанные в данном документе, конкретно касаются усовершенствованных термодинамических систем на основе комбинированных циклов Джоуля-Брайтона и Ренкина, оптимизированных для уменьшения размеров по отношению к предшествующим системам и для легкого соединения с внешними устройствами механической нагрузки.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0002] Термодинамические системы, в которых рабочая текучая среда обрабатывается в замкнутом контуре и подвергается термодинамическим превращениям, в конечном итоге включающим фазовые переходы между жидким состоянием и парообразным или газообразным состоянием, как правило, используют для преобразования тепла в полезную работу и, в частности, в механическую работу и/или в электрическую энергию. Эти системы можно успешно использовать для рекуперации отводимого тепла отработавшего газа различных процессов.

[0003] Согласно заявке на патент Италии № 102018000006187, термодинамическая система и соответствующий способ описаны в качестве системы цикла рекуперации отводимого тепла, причем типовая система цикла рекуперации тепла включает систему цикла Брайтона, содержащую нагреватель, выполненный с возможностью циркуляции газообразного диоксида углерода в теплообменном взаимодействии с текучей средой теплоносителя для нагрева диоксида углерода. В соответствии с примером описана типовая система рекуперации отводимого тепла, интегрированная (непосредственно соединенная) с источниками тепла для обеспечения более эффективной рекуперации отводимого тепла, преобразуемого в механическую энергию для генерирования электричества и/или механического применения, такого как приведение в действие насосов или компрессоров. Источники тепла могут включать, но без ограничения, двигатели внутреннего сгорания, газовые турбины, пламя, геотермальные, гелиотермальные и/или другие промышленные и бытовые источники тепла.

[0004] Система, описанная в заявке на патент Италии № 102018000006187, позволяет достичь высокой эффективности и экономичного решения (небольшие размеры оборудования благодаря выбору CO_2 в качестве рабочей текучей среды) для преобразования отводимого тепла в механическую энергию благодаря возможности непосредственной связи (с более высокой разницей температур и, следовательно, более высокой эффективностью) рабочей текучей среды с источни-

ком тепла; безопасное и экологичное решение (CO_2 не создает проблем с охраной окружающей среды).

[0005] Соответственно, в данном документе ниже предложена усовершенствованная система и способ рекуперации остаточной теплоты термодинамической системы.

ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0006] Было обнаружено, что остаточная теплота термодинамической системы, т. е. теплота, отводимая системой, в конечном счете, вместе с частью источника тепла, не используемого системой, часто достаточно велика и может быть полностью преобразована в механическую энергию с помощью цикла Ренкина.

[0007] Таким образом, в одном аспекте описанный в данном документе объект изобретения относится к системе цикла рекуперации отводимого тепла и соответствующему способу, в которой система цикла Брайтона работает в комбинации с системой цикла Ренкина. Система цикла Брайтона содержит нагреватель, выполненный с возможностью циркуляции текучей среды, а именно инертного газа, такого как диоксид углерода, в теплообменном взаимодействии с источником нагрева, таким как отработавший газ другой системы, для рекуперации отводимого тепла из такой другой системы путем нагревания инертного газа до промежуточной температуры между начальной температурой инертного газа и начальной температурой текучей среды теплоносителя. Система цикла Ренкина содержит теплообменник, выполненный с возможностью циркуляции второй текучей среды в теплообменном взаимодействии с инертным газом системы цикла Брайтона для нагрева второй текучей среды при одновременном охлаждении инертного газа. Вторая текучая среда может быть выбрана из жидкостей, имеющих температуру кипения ниже температуры инертного газа из расширительной установки/группы в системе цикла Брайтона и может представлять собой органическую жидкость, или жидкий хладагент, пар, аммиак, пропан или другие подходящие текучие среды.

[0008] Таким образом, объект изобретения, описанный в данном документе, относится к новой системе цикла рекуперации отводимого тепла и к соответствующему способу ее эксплуатации, при этом комбинированная система цикла Брайтона и Ренкина получена путем соединения компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия и расширительной установки/группы возвратно-поступательного действия системы цикла Брайтона вместе с расширительной установкой/группой возвратно-поступательного действия системы цикла Ренкина на одном коленчатом валу. Эта конфигурация обеспечивает более высокую эффективность рекуперации отводимого тепла для преобразования в механическую энергию для генерирования электроэнергии и/или механического применения, например, для приведения в действие насосов или компрессоров.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0009] Описанные варианты реализации изобретения и многие сопутствующие ему преимущества можно более полно оценить и понять в ходе изучения следующего подробного описания, рассматриваемого в связи с прилагаемыми графическими материалами, в которых:

Фиг. 1 иллюстрирует диаграмму T-S известного идеального цикла Брайтона.

Фиг. 2 иллюстрирует известный двигатель Брайтона.

Фиг. 3 иллюстрирует диаграмму T-S известного модифицированного реального цикла Брайтона с использованием соединения CO₂ в качестве рабочей текучей среды

Фиг. 4 иллюстрирует диаграмму T-S известного идеального и реального цикла Ренкина с использованием изопентана в качестве рабочей текучей среды

Фиг. 5 иллюстрирует известный двигатель Ренкина с регенератором;

Фиг. 6 иллюстрирует диаграмму T-S нового усовершенствованного реального цикла Брайтона, в котором первая группа оборудования выполнена с возможностью использования диоксида углерода в качестве рабочей текучей среды, который объединен с реальным циклом Ренкина, в котором второй блок/группа оборудования выполнен с возможностью использования 1,1,1,3,3-пентафторпропана (R245FA) в качестве рабочей текучей среды

Фиг. 7 иллюстрирует первую схему новой усовершенствованной системы для рекуперации отводимого тепла путем объединения цикла Брайтона, использующего диоксид углерода в качестве рабочей текучей среды, с циклом Ренкина, использующим 1,1,1,3,3-пентафторпропан (R245FA) в виде рабочей текучей среды

Фиг. 8 иллюстрирует блок-схему рабочего процесса системы по Фиг. 7; и

Фиг. 9 иллюстрирует вторую схему новой усовершенствованной системы для рекуперации отводимого тепла путем объединения цикла Брайтона, в котором первая группа оборудования выполнена с возможностью использования диоксида углерода в качестве рабочей текучей среды, с циклом Ренкина, в котором вторая группа оборудования выполнена с возможностью использования 1,1,1,3,3-пентафторпропана (R245FA) в качестве рабочей текучей среды.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0010] Согласно одному аспекту изобретения, данный объект относится к системе рекуперации отводимого тепла на основе комбинированного цикла Брайтона и Ренкина, в которой цикл Брайтона содержит нагреватель, выполненный с возможностью циркуляции инертного газа, такого как диоксид углерода, в теплообменном взаимодействии с источником отводимого тепла для нагрева инертного газа, причем теплообменник выполнен с возможностью испарения рабочей текучей среды системы цикла Ренкина путем теплообмена с рабочей текучей средой системы цикла Брайтона, и при этом расширительная установка/группа системы цикла Ренкина механически соединена с расширительной установкой/группой и компрессионной установкой/группой системы цикла Брайтона. Источник отводимого тепла может включать двигатели внутреннего сгорания, газовые турбины, геотермальные, гелиотермальные, промышленные и бытовые или подобные источники тепла. Расширительная установка/группа и блок компрессионная установка/группа системы цикла Брайтона и расширительная установка/группа цикла

Ренкина представляют собой машины возвратно-поступательного действия, соединенные с общим валом, причем общий вал непосредственно соединен с внешним устройством, таким как генератор.

[0011] Теперь обратимся к графическим материалам, в которых известный идеальный цикл Брайтона содержит два изоэнтروпийных и два изобарических процесса, как показано на диаграмме T-S, изображенной на Фиг. 1. Изобарические процессы относятся к нагреву и охлаждению технологической текучей среды, тогда как изоэнтروпийные процессы относятся к расширению и сжатию технологической текучей среды.

[0012] Как показано на Фиг. 2, на которой представлен известный пример двигателя Брайтона, технологическую текучую среду изоэнтропийно сжимает компрессор С от точки 1 до точки 2 с помощью мощности сжатия L_c , изобарически нагревает от точки 2 до точки 3 нагреватель Н, обеспечивающий тепло Q_{in} , изоэнтропийно расширяет детандер Е от точки 3 до точки 4, создающий мощность расширения L_e , изобарически охлаждает от точки 4 до 1 холодильник Q с обменом тепла Q_{out} .

[0013] Поскольку компрессор и детандер механически соединены, полезная мощность, которую способно произвести оборудование, составляет $L_n = L_e - L_c$. КПД η представляет собой соотношение полезной мощности L_n и тепла Q_{in} , которое может быть представлено как:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \beta^{-\varphi}$$

где T_1 и T_2 — температура, соответственно, до и после сжатия, β — коэффициент сжатия $p_2/p_1 = p_3/p_4$, $\varphi = 1 - 1/k$, где k — отношение удельной теплоты технологической текучей среды при постоянном давлении C_p и постоянном объеме C_v .

[0014] Полезная мощность L_n может быть выражена как функция β и T_1, T_3 следующим образом:

$$L_n = \eta \cdot Q_{in} = (1 - \beta^{-\varphi}) \cdot C_p(T_3 - T_2) = (1 - \beta^{-\varphi}) \cdot \frac{kRT_1}{k-1} \left(\frac{T_3}{T_1} - \beta^{\varphi} \right)$$

[0015] При дифференцировании можно показать, что максимальная полезная мощность получается при $T_2=T_4$.

[0016] С учетом этого, обращаясь к вариантам реализации новой системы рекуперации отводимого тепла, становится понятно, что диоксид углерода в качестве технологической текучей среды в типовых диапазонах давления и температуры по сравнению с другими инертными газами, такими как N_2 , He, Ne, Ar, Xe, имеет очень хорошее отношение полезной мощности к мощности сжатия L_n/L_c (0,716), но плохой КПД η (0,28). Например, азот имеет идеальный КПД 0,37, но низкий уровень соотношения L_n / L_c (0,343). У гелия еще больший идеальный КПД (0,47), но очень низкий уровень соотношения L_n / L_c (0,109). Это означает, что для полу-

чения 1 МВт полезной мощности требуется 1,4 МВт мощности сжатия (при идеальных условиях) с использованием CO_2 по сравнению с 2,9 МВт для азота и 9,2 МВт для гелия. По всему тексту данного описания термин «инертный газ» означает, что конкретный газ, описанный в связи с вариантом реализации изобретения, инертен в условиях работы описанной системы.

[0017] В реальных условиях работа сжатия увеличивается, а работа расширения уменьшается; таким образом, для низких значений L_n / L_c полезная мощность может составить очень низкий процент от работы сжатия или даже отрицательную величину. Отсюда выбор углекислого газа в качестве предпочтительной технологической текучей среды в вариантах реализации изобретения в данном документе, предпочтительно с использованием средств, способных повысить КПД.

[0018] Использование диоксида углерода в качестве рабочей текучей среды имеет дополнительные преимущества: он дешевый, негорючий, не вызывает коррозии, нетоксичен и способен выдерживать высокие температуры в цикле (например, выше 400°C). Диоксид углерода также может быть нагрет до сверхкритического состояния до высоких температур без риска химического разложения.

[0019] Поскольку КПД представляет собой соотношение между полезной мощностью и теплом, которым технологическая текучая среда обменивается с горячим источником, в одной конфигурации КПД повышают за счет уменьшения такого тепла путем предварительного нагрева подаваемого компрессором диоксида углерода до достижения им нагревателя. Преимуществом является то, что этого можно достичь за счет использования части тепла, присутствующего в текучей среде, выходящей из детандера, т. е. путем использования так называемого регенератора, что будет объяснено ниже.

[0020] В другой конфигурации КПД повышают путем уменьшения мощности сжатия за счет промежуточного охлаждения.

[0021] Влияние комбинации двух конфигураций, которые очевидно могут существовать независимо друг от друга, показано на диаграмме T-S на Фиг. 3.

[0022] Регенерацию отражают две части кривых, почти совпадающие с нижней и верхней изобарами, соответственно, от точки 4г до 4'г в отношении горячей стороны теплообменника регенератора и от 2г до 2'г в отношении холодной стороны теплообменника регенератора, со вторыми точками на более низком уровне давления, чем первые, с учетом падения давления теплообменника, тогда как межступенчатое охлаждение компрессора представляет кривая от точки 1'г до 1''г с обеих сторон от средней изобары от точки 1'г до 1''г. В данном случае изображен реальный цикл, в котором изоэнтропийные кривые по Фиг. 1 заменены наклонными (политропными) кривыми для учета того, что при реальном расширении и сжатии необратимость процессов всегда создает некоторую энтропию.

[0023] Согласно Фиг. 4, идеальный цикл Ренкина содержит два изоэнтропийных и два изобарических процесса, как показано на изображенной диаграмме T-S. Изобарические процессы

относятся к нагреву (включающему испарение) и охлаждению (включающему конденсацию) технологической текучей среды, тогда как изоэнтروпийные процессы относятся к расширению и сжатию технологической текучей среды.

[0024] Согласно Фиг. 5, показывающей типовой двигатель Ренкина, технологическую текучую среду изоэнтропийно сжимает насос Р от точки 5 до точки 6 с помощью мощности сжатия L_c , изобарически нагревает от точки 6 до точки 6' первый нагреватель («Регенератор», R) и дополнительно изобарически нагревает, испаряет и перегревает от точки 6' до точки 7 второй нагреватель («Испаритель», Ev), обеспечивающий тепло Q_{in} , изоэнтропийно расширяет детандер Е от точки 7 до 8, создающий мощность расширения L_e , изобарически охлаждает от точки 8 до 8' горячая сторона «Регенератора» R, и дополнительно охлаждает, конденсирует и переохлаждает от точки 8' до 5 второй холодильник «Конденсатор» Q с обменом тепла Q_{out} .

[0025] В любом реальном цикле наличие необратимости снижает эффективность цикла. Эта необратимость в основном происходит

во время расширения: в полезную работу преобразуется только часть энергии, извлекаемой из разницы давления; другая часть преобразуется в тепло и теряется; изоэнтропийную эффективность детандера определяют по сравнению с изоэнтропийным расширением;

в теплообменниках: рабочая текучая среда идет по длинной и синусоидальной траектории, которая обеспечивает хороший теплообмен, но приводит к падению давления, которое снижает величину мощности, извлекаемой из цикла; аналогичным образом разность температур между источником тепла/теплоотводом и рабочей текучей средой создает потерянную эксергию и снижает эффективность цикла.

[0026] На Фиг. 4 также изображен реальный цикл, в котором изоэнтропийные кривые заменены на наклонные (политропные) кривые, учитывающие, что при реальном расширении и сжатии всегда образуется некоторое количество энтропийного тепла.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ НОВЫХ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0027] Теперь обратимся к Фиг. 6, на которой показана диаграмма Т-S реального цикла Брайтона, использующего диоксид углерода в качестве рабочей текучей среды, объединенного с реальным циклом Ренкина, использующим 1,1,1,3,3-пентафторпропан (R245FA) в качестве рабочей текучей среды, согласно типовому варианту реализации данного изобретения. Органическая жидкость, используемая в качестве рабочей текучей среды в цикле Ренкина, может представлять собой любую органическую текучую среду, совместимую с условиями работы и с экологическими требованиями, но также пар, аммиак, пропан или любую другую подходящую текучую среду. Например, 2,3,3,3-тетрафторпропен (или R1234yf) (имеющий более низкий ПГП и ОРП по сравнению с R245FA) можно использовать в качестве альтернативы 1,1,1,3,3-пентафторпропану (R245FA).

[0028] Регенерацию R245FA отражают две части кривых, почти совпадающие с нижней и верхней изобарами, соответственно, от точки 8г до 8'г в отношении горячей стороны теплообменника регенератора и от 6г до 6'г в отношении холодной стороны теплообменника регенератора, со вторыми точками на более низком уровне давления, чем первые, с учетом падения давления теплообменника, тогда как испарение R245FA с охлаждением CO₂ отражено на горизонтальной пунктирной линии от точки 4''г до точки 6'г. Кроме того, Фиг. 6 показывает сжатие R245FA насосом от точки 5 до точки 6, нагревание регенератором от точки 6 до точки 6' и дополнительное нагревание, испарение и перегрев испарителем от точки 6' до точки 7, расширение от точки 7 до 8, охлаждение от точки 8 до 8' в горячей стороне «Регенератора» и дополнительное охлаждение, конденсацию и переохлаждения от точки 8' до 5 вторым холодильником «Конденсатором» с обменом тепла Q_{out}.

[0029] Перейдем к Фиг. 7, иллюстрирующей новую систему рекуперации отводимого тепла в соответствии с типовым вариантом реализации данного изобретения. Указанная система выполнена в виде варианта реализации системы рекуперации отводимого тепла, содержащей систему цикла Брайтона, с несколькими ключевыми и характерными различиями. Одно различие заключается в использовании объемных машин возвратно-поступательного действия. Другое различие заключается в добавлении системы цикла Ренкина. Система цикла Ренкина содержит теплообменник, выполненный с возможностью циркуляции рабочей текучей среды в теплообменном взаимодействии с инертным газом системы цикла Брайтона. Еще одно различие заключается в том, что расширительная установка/группа возвратно-поступательного действия системы цикла Ренкина механически соединена с объемными машинами возвратно-поступательного действия системы цикла Брайтона вдоль одного общего вала.

[0030] Согласно Фиг. 7, нагреватель 16 соединен с источником тепла, например выхлопным устройством теплогенерирующей системы (например, двигателя). В процессе работы нагреватель 16 получает тепло от текучей среды теплоносителя HF, например отработавшего газа, генерируемого из источника тепла, который нагревает инертный газ G, проходящий через трубный пучок, соединенный с нагревателем. В первом типовом варианте реализации изобретения инертный газ G, выходящий из нагревателя 16, может представлять собой диоксид углерода при первой температуре около 400 °C и при первом давлении около 260 бар. Согласно второму типовому варианту реализации изобретения, давление может составлять 105 бар, температура может изменяться в диапазоне 360–420 °C. Покидая нагреватель 16, горячий диоксид углерода G протекает в расширительную установку/группу 18 возвратно-поступательного действия для расширения диоксида углерода G. При расширении горячего диоксида углерода G под давлением он поворачивает вал, который выполнен с возможностью приведения в действие первого генератора 26, который генерирует электрическую энергию. При расширении диоксида углерода G также происходит его охлаждение и сброс давления по мере расширения. Соответственно, в упомянутом выше первом типовом варианте реализации изобретения диоксид углерода G может выходить из расширительной установки/группы 18 возвратно-поступательного действия при второй нижней температуре около 230 °C и втором нижнем давлении около

40 бар; при этом в упомянутом выше втором типовом варианте реализации изобретения с верхним давлением 105 бар это нижнее давление может составлять 30 бар при температуре 200 °С.

[0031] Что касается конструкции расширительной установки/группы 18 возвратно-поступательного действия, в одном варианте реализации изобретения расширительная установка/группа 18 возвратно-поступательного действия содержит совокупность расположенных последовательно ступеней расширительной установки/группы возвратно-поступательного действия. В качестве иллюстрации, а не ограничения, вариант реализации изобретения, показанный на Фиг. 7, содержит две расположенные последовательно ступени расширительной установки/группы возвратно-поступательного действия, обозначенные как 181, 182, в которых каждая расширительная установка/группа 181, 182 возвратно-поступательного действия содержит одну расширительную установку/группу возвратно-поступательного действия.

[0032] Охлажденный диоксид углерода G с пониженным давлением, все еще при второй температуре и давлении, протекает из единственной расширительной установки/группы 18 возвратно-поступательного действия или последней расширительной установки/группы 182 возвратно-поступательного действия через теплообменник 36 (описанный ниже) в холодильник 20 низкого давления, НД, и через него. Холодильник 20 НД выполнен с возможностью дополнительного охлаждения диоксида углерода G до третьей температуры (ниже первой температуры или второй температуры, по отдельности или в сочетании) около 40–50 °С (это значение зависит от условий окружающей среды и доступности/выбора охлаждающей среды (воздух/вода, ВВ). Диоксид углерода G выходит из холодильника 20 НД и проходит внутрь и через компрессионную установку/группу 22 возвратно-поступательного действия, которая работает, сжимая и нагревая диоксид углерода G до существенно более высокой четвертой температуры и до четвертого давления. При прохождении четвертое давление может быть приблизительно таким же или немного выше первого давления, описанного выше, с учетом падения давления в трубопроводе и нагревателе 16. Таким образом, только в качестве примера в упомянутом выше первом варианте реализации изобретения теперь дважды нагретый диоксид углерода G, выходящий из компрессионной установки/группы 22 возвратно-поступательного действия, имеет четвертую температуру около 110 °С и четвертое давление около 260 бар, в то время как в упомянутом выше втором варианте реализации изобретения эти значения температуры и давления составляют соответственно около 108 °С и 105 бар. Эти значения приведены только в качестве примера и не должны рассматриваться как ограничивающие объем объекта изобретения, описанного в настоящем документе.

[0033] Теперь будет дополнительно описана компрессионная установка/группа 22 возвратно-поступательного действия. В одном варианте реализации изобретения компрессионная установка/группа 22 возвратно-поступательного действия может представлять собой многоступенчатую компрессионную установку/группу возвратно-поступательного действия с промежуточным холодильником, расположенным между каждой ступенью многоступенчатой

компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия. Система может содержать совокупность расположенных последовательно ступеней компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия, причем каждая ступень компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия содержит одну или большее количество компрессионных установок/групп возвратно-поступательного действия. В некоторых вариантах реализации изобретения каждая ступень компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия может содержать единственную компрессионную установку/группу возвратно-поступательного действия. Вариант реализации изобретения, показанный на Фиг. 7, содержит две расположенных последовательно ступени компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия, обозначенных 221, 222, каждая из которых содержит одну компрессионную установку/группу возвратно-поступательного действия.

[0034] В схематическом представлении на Фиг. 7 две ступени 221, 222 компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия образуют пару. Каждая пара противоположно расположенных ступеней компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия приводится в действие общим валом. Тот же вал соединен также с расширительной установкой/группой 18 возвратно-поступательного действия.

[0035] Возвращаясь в рабочий цикл системы, диоксид углерода поступает в первую ступень 221 компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия в точке 1г (при третьем давлении и третьей температуре, объясненных выше) и выходит из первой ступени 221 компрессионной установки/группы в точке 1'г. Путь 13 потока может проходить от выходной стороны ступени 221 компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия до входной стороны ступени 222 компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия. По пути 13 потока предусмотрен межступенчатый теплообменник или холодильник 15. Указанный межступенчатый холодильник обозначен ниже в данном документе как межступенчатый теплообменник 15. Следовательно, сжатый (теперь) диоксид углерода G, протекающий по пути 13 потока, также протекает через межступенчатый теплообменник 15 и охлаждается охлаждающей текучей средой ВВ, например воздухом, который протекает в межступенчатый теплообменник 15, который может представлять собой в примере воздушный охлаждающий теплообменник. Межступенчатый теплообменник 15 может отсутствовать, если сжатие реализовано на единственной ступени.

[0036] Теперь охлажденный диоксид углерода G поступает во вторую ступень 222 компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия и, наконец, выходит из ступени 222 компрессионной установки/группы возвратно-поступательного действия в точке 2г.

[0037] В варианте реализации изобретения согласно Фиг. 7 система содержит теплообменник 17, также называемый регенератором, который выполнен с возможностью осуществления циркуляции всего охлажденного, расширенного диоксида углерода G или его части при более низком давлении из детандера 18 в холодильник 20 НД таким образом, что происходит теплообменное взаимодействие по отношению к диоксиду углерода G, выходящему из компресси-

онной установки/группы 22 возвратно-поступательного действия, и поступающему в нагреватель 16 для обеспечения предварительного нагрева диоксида углерода G до 160 °C или выше перед повторной подачей в нагреватель и началом нового цикла.

[0038] Следует отметить, что охлажденный диоксид углерода G с пониженным давлением, когда он протекает из единственной расширительной установки/группы 18 возвратно-поступательного действия или последней расширительной установки/группы 182 возвратно-поступательного действия, согласно упомянутому выше первому типовому варианту реализации изобретения, по-прежнему находится при второй температуре около 230 °C и давлении около 40 бар (или согласно упомянутому выше второму типовому варианту реализации изобретения с верхним давлением 105 бар, при температуре 200 °C и давлении 30 бар) и должен быть охлажден до около 40–50 °C (это значение зависит от условий окружающей среды и доступности/выбора охлаждающей среды (воздух/вода, ВВ)). Для достижения этого результата используют холодильник 20 низкого давления, НД. Использование холодильника 20 подразумевает потерю КПД системы по причине необходимости механической энергии для работы самого холодильника 20 (падения давления и поглощение вентиляторами, если выбран воздушный охладительный теплообменник) и по причине необходимости выпуска тепловой энергии в окружающую среду во всех циклах, так что чем выше температура выпуска тепла, тем ниже КПД термодинамического цикла. Упомянутая выше система цикла Ренкина, объединенная с системой цикла Брайтона, имеет функцию обеспечения более полного извлечения отводимого тепла для преобразования в механическую энергию для генерирования электроэнергии и/или механического применения, например, для приведения в действие насосов или компрессоров.

[0039] В частности, как показано на Фиг. 7, испаритель 36 принимает тепло от инертного газа G (который, как описано выше, может представлять собой диоксид углерода), циркулирующего от регенератора 17 до холодильника 20 цикла Брайтона, нагревая, испаряя и перегревая рабочую текучую среду OF, а именно органическую жидкость, такую как 1,1,1,3,3-пентафторпропан (R245FA), проходящую через испаритель 36. Регенератор 17, холодильник 20 и испаритель 36 цикла Брайтона могут не присутствовать все одновременно.

[0040] В одном конкретном варианте реализации изобретения пар органической текучей среды OF, выходящий из испарителя 36, может находиться при первой температуре около 150 °C и при первом давлении около 32,5 бар. Покидая испаритель 36, горячий пар органической текучей среды OF протекает в расширительную установку/группу 38 возвратно-поступательного действия и через нее, расширяясь. Когда горячий пар органической текучей среды OF под давлением расширяется, он поворачивает вал, который выполнен с возможностью соединения с одним и тем же валом расширительной установки/группы 18 возвратно-поступательного действия и компрессионной установки/группы 22 возвратно-поступательного действия цикла Брайтона. В частности, в соответствии с вариантом реализации данного изобретения, расширительная установка/группа 38 возвратно-поступательного действия поворачи-

вает один и тот же вал расширительной установки/группы 18 возвратно-поступательного действия и компрессионной установки/группы 22 цикла Брайтона, то есть, непосредственно соединена с тем же генератором 26. При расширении пар органической текучей среды OF также охлаждается и сбрасывает давление. Соответственно, в первом конкретном варианте реализации изобретения пар органической текучей среды OF может выходить из расширительной установки/группы 38 при второй, более низкой температуре около 71 °С и втором, нижнем давлении около 3,6 бар, в то время как во втором конкретном варианте реализации изобретения нижняя температура составляет около 71 °С, а нижнее давление составляет около 3,1 бар, причем указанные давление и температура зависят от условий конденсации, а затем от температуры окружающей среды.

[0041] Что касается конструкции расширительной установки/группы 38 возвратно-поступательного действия, в одном варианте реализации изобретения расширительная установка/группа 38 возвратно-поступательного действия содержит совокупность расположенных последовательно ступеней расширительной установки/группы. Каждая ступень расширительной установки/группы может содержать или быть выполнена из одной или большего количества расширительных установок/групп возвратно-поступательного действия. В других вариантах реализации изобретения каждая ступень расширительной установки/группы может содержать единственную расширительную установку/группу возвратно-поступательного действия. В качестве иллюстрации, но не ограничения, вариант реализации изобретения, показанный на Фиг. 7, содержит две последовательно расположенные ступени расширительной установки/группы, обозначенные 381, 382, в которой каждая из ступеней 381, 382 расширительной установки/группы содержит одну расширительную установку/группу.

[0042] Охлажденная органическая текучая среда OF, все еще при второй температуре и давлении, протекает из единственной расширительной установки/группы 38 или последней расширительной установки/группы 382 в горячую сторону регенератора 37 и через нее, а затем в конденсатор 40. Конденсатор 40 выполнен с возможностью дополнительного охлаждения органической текучей среды OF до третьей температуры (ниже первой температуры или второй температуры, по отдельности или в сочетании) около 40–50 °С (это значение зависит от условий окружающей среды и доступности/выбора охлаждающей среды (воздух/вода, ВВ)). Конденсированная органическая текучая среда выходит из конденсатора 40 и протекает в насос 42 и через него, который повышает давление органической текучей среды OF и нагнетает ее в испаритель 36.

[0043] В варианте реализации изобретения цикл Ренкина содержит теплообменник 37, также называемый регенератором, который выполнен с возможностью циркуляции всего или части охлажденного расширенного пара органической текучей среды OF нижнего давления из расширительной установки/группы 38 в конденсатор 40, таким образом, что происходит теплообменное взаимодействие в отношении органической текучей среды OF, выходящей из насоса 42, и протекающей в испаритель 36, обеспечивая предварительный нагрев органической текучей среды OF.

чей среды OF до 62 °С согласно упомянутому выше первому типовому варианту реализации изобретения, в котором конденсация происходит в условиях около 50 °С и около 3,6 бар, до 52 °С согласно упомянутому выше второму типовому варианту реализации изобретения, в котором конденсация происходит в условиях около 40 °С и 3,1 бар, перед повторной подачей в испаритель 36 и началом нового цикла.

[0044] Фиг. 8 иллюстрирует блок-схему рабочего цикла системы по Фиг. 7, включающего следующие этапы:

- циркуляция 50 инертного газа в теплообменном взаимодействии с текучей средой теплоносителя для нагрева инертного газа посредством нагревателя системы цикла Брайтона и текучей средой для охлаждения инертного газа посредством испарителя системы цикла Ренкина; система цикла Брайтона, содержащая расширительную установку/группу, соединенную с нагревателем и компрессионной установкой/группой, и система цикла Ренкина, содержащая расширительную установку/группу; компрессионная установка/группа и расширительная установка/группа системы цикла Брайтона и расширительная установка/группа системы цикла Ренкина, которые представляют собой механически соединенные машины возвратно-поступательного действия;
- расширение 51 инертного газа посредством расширительной установки/группы системы цикла Брайтона;
- циркуляция 52 инертного газа из расширительной установки/группы системы цикла Брайтона через испаритель;
- циркуляция 53 инертного газа из испарителя через холодильник системы цикла Брайтона;
- сжатие 54 инертного газа, поступающего из холодильника, посредством компрессионной установки/группы;
- циркуляция 55 инертного газа из компрессионной установки/группы в нагреватель;
- расширение 56 пара текучей среды из испарителя посредством расширительной установки/группы системы цикла Ренкина;
- циркуляция 57 пара текучей среды из расширительной установки/группы через конденсатор системы цикла Ренкина; и
- циркуляция 58 жидкой текучей среды из конденсатора через насос в испаритель.

[0045] В типовом варианте реализации системы, как показано на Фиг. 7, две ступени 381,382 расширительной установки/группы сопряжены. Каждая пара противоположно расположенных ступеней расширительной установки/группы приводится в действие общим валом. В

варианте реализации изобретения редуктор соединяет различные валы с компрессионной установкой/группой 22 и с расширительной установкой/группой 18 цикла Брайтона.

[0046] Объемная расширительная установка/группа возвратно-поступательного действия цикла Ренкина, объемная расширительная установка/группа возвратно-поступательного действия цикла Брайтона и объемная компрессионная установка/группа возвратно-поступательного действия цикла Брайтона, использующие диоксид углерода в качестве рабочей текучей среды, могут быть механически соединены любым известным способом, в том числе, например, также электромагнитными муфтами.

[0047] В варианте реализации системы расширительная установка/группа 38 цикла Ренкина представляет собой расширительную установку/группу возвратно-поступательного действия, компрессионная установка/группа 22 и расширительная установка/группа 18 цикла Брайтона также представляют собой компрессионную установку/группу возвратно-поступательного действия и расширительную установку/группу возвратно-поступательного действия, и все эти машины возвратно-поступательного действия соединены с общим валом. Эта конфигурация важна по причине очень различной плотности рабочих текучих сред (CO_2 и органической текучей среды) в типовых диапазонах рабочих давлений и температур, вследствие чего машины должны работать с очень разными объемными расходами рабочих текучих сред, и, следовательно, в случае, если машины возвратно-поступательного действия не используются, с очень разными скоростями вращения. Фактически отношение объемного расхода CO_2 и R245FA составляет 1,6 на входе и 0,55 на выходе при отношении давлений 6,5 и в диапазоне от 8,5 до 10,5 соответственно. По этой причине специалист в данной области техники не станет соединять различные машины с одним валом. В конечном итоге придется рассмотреть использование редукторного блока, а это решение нежелательно, поскольку оно придает системе механическую сложность. В отличие от этого, с помощью машин возвратно-поступательного действия можно работать с различными объемными расходами рабочих текучих сред, изменяя отверстие и тем самым смещение машин, и изменяя зазоры полостей, без какой-либо необходимости использования редукторного блока.

[0048] Дополнительное преимущество типового варианта реализации системы, согласно которому расширительная установка/группа 38 возвратно-поступательного действия цикла Ренкина, компрессионная установка/группа 22 возвратно-поступательного действия и расширительная установка/группа 18 возвратно-поступательного действия цикла Брайтона соединены с общим валом, заключается в том, что для соединения общего вала с генератором 26 не требуется использовать редукторный блок. Фактически использование машин возвратно-поступательного действия позволяет обеспечить соответствие частотам сети (50-или-60 Гц) путем простого воздействия на количество полярных пар.

[0049] Кроме того, использование машин возвратно-поступательного действия позволяет использовать общий вал при скорости вращения около 1000 оборотов в минуту, при этом преимущество заключается в том, что возможно непосредственное соединение с большинством

устройств, в том числе генератором 26, а более предпочтительно генератором с переменной частотой вращения привода или технологическими вспомогательными устройствами. Соединение с генератором с переменной частотой вращения привода (ПЧВП) предпочтительно по причине большего диапазона изменений устройства такого типа, позволяющего лучше соответствовать возможным тепловым изменениям источника. Кроме того, генератор ПЧВП можно использовать также в качестве пускового двигателя системы и/или вспомогательного устройства в конфигурации механического привода.

[0050] Варианты реализации изобретения, описанные в данном документе, также относятся к системе для рекуперации отводимого тепла с помощью комбинации цикла Брайтона, использующего диоксид углерода в качестве рабочей текучей среды, в сочетании с циклом Ренкина, использующим 1,1,1,3,3-пентафторпропан (R245FA) в качестве рабочей текучей среды, в которой двигатель Брайтона на CO_2 содержит промежуточную ступень

[0051] В цилиндрах компрессионной установки/группы по мере движения поршня давление увеличивается во время хода сжатия, то есть когда как всасывающие, так и выпускные клапаны закрыты, независимо от того, клапаны какого типа используются.

[0052] В цилиндре компрессионной установки/группы двойного действия по мере движения поршня давление повышается в одном конце (например, поршневой полости) и уменьшается в другом конце. На противоположном ходе давление меняется в обратную сторону по формуле: $P \cdot V^n = \text{const}$. Температура повышается вместе с давлением по формуле $T \cdot P^{\left[\frac{1-n}{n}\right]} = \text{const}$.

[0053] Таким образом, ограничение повышения температуры в цилиндре и, следовательно, ограничение соответствующего увеличения удельного объема и объемного расхода приведет к уменьшению работы сжатия (пропорциональной интегралу VdP) при повышении общего КПД цикла.

[0054] Для ограничения повышения температуры в цилиндре и соответствующего увеличения удельного объема, распыленная жидкость (например, смесь воды) может впрыскиваться непосредственно в сторону активного действия цилиндра для уменьшения работы сжатия.

[0055] В типовом варианте реализации системы распыленная жидкость (например, смесь воды) может впрыскиваться опосредованно в сторону активного действия цилиндра для уменьшения работы сжатия непосредственно выше по потоку от цилиндра.

[0056] Давление жидкости должно быть выше фактического давления газа, чтобы преодолеть сопротивление и способствовать распылению жидкости, тогда как температура распыляемой жидкости должна быть минимальной допустимой условиями окружающей среды. Расход впрыскиваемой жидкости таков, что ее парциальное давление после испарения всегда ниже давления ее пара, соответствующего ожидаемой температуре газа (то есть, температуре газа после охлаждения), для предотвращения каких-либо следов капель жидкости, которые могут

представлять опасность для компонентов цилиндра (например, клапанов компрессионной установки/группы). Впрыскиваемая жидкость после выхода из цилиндров сжатия включается в состав смеси до ее охлаждения и конденсации в межступенчатом и конечном холодильнике. Затем впрыскиваемая жидкость сжимается насосом и впрыскивается повторно, то есть, работает в замкнутом контуре.

[0057] Энергопотребление жидкостного насоса пренебрежимо мало по сравнению с общим увеличением мощности системы.

[0058] Поскольку мольная доля пара жидкости в смеси с CO_2 увеличивается с температурой смеси и уменьшается с давлением смеси, впрыск распыленной жидкости более эффективен при более низких давлениях и более высоких температурах. Таким образом, по мере увеличения ступеней сжатия необходимо тщательно оценивать применение впрыска распыленной жидкости.

[0059] На диаграмме T-S системы впрыск жидкости во время стадий сжатия представляет собой изоэнтальпический процесс, который не изменяет идеальную работу адиабатического сжатия, но реальная работа сжатия уменьшается благодаря уменьшению объемного расхода и увеличению политропного КПД; общая площадь цикла, а также общий КПД увеличивается. Тепловая нагрузка межступенчатого холодильника не меняется, и меньшая средняя эффективная разность температур (EMTD) вследствие более низкой температуры смеси на входе теплообменника компенсируется увеличением общего коэффициента теплопередачи вследствие конденсации H_2O в смеси.

[0060] Даже если впрыск воды более эффективен при более низких давлениях CO_2 , его можно применять на всех стадиях сжатия.

[0061] Фиг. 9 иллюстрирует схему дополнительного варианта реализации новой системы для рекуперации отводимого тепла путем объединения цикла Брайтона, использующего диоксид углерода в качестве рабочей текучей среды, с циклом Ренкина, использующим 1,1,1,3,3-пентафторпропан (R245FA) в виде рабочей текучей среды. Система включает межступенчатое охлаждение путем впрыска жидкости (например, воды или ее смесей) внутрь цилиндров сжатия или выше по потоку, как показано на Фиг. 9. Согласно этому варианту реализации изобретения, встроенные сепараторные барабаны 23, 24 размещены ниже по потоку после межступенчатых теплообменников или холодильников 15, 20 для отделения и сбора конденсированной жидкости перед ее сжатием в насосе 25 для последующего повторного впрыска в ступени 221, 222 компрессионной установки/группы.

[0062] Варианты реализации изобретения, описанные в данном документе, также относятся к системе для рекуперации отводимого тепла путем объединения цикла Брайтона в комбинации с циклом Ренкина с использованием машин возвратно-поступательного действия, в которой компрессионная установка/группа 22 возвратно-поступательного действия и расширитель-

ная установка/группа 18 возвратно-поступательного действия системы цикла Брайтона расположены согласно последовательной схеме.

[0063] В типовом варианте реализации системы согласно последовательной схеме как компрессионная установка/группа 22 возвратно-поступательного действия, так и расширительная установка/группа 18 возвратно-поступательного действия системы цикла Брайтона содержит один или большее количество соответствующих цилиндров, причем цилиндры компрессионной установки/группы 22 возвратно-поступательного действия и цилиндры расширительной установки/группы 18 возвратно-поступательного действия соединены общим штоком, который, в свою очередь, соединен с общим валом, соединенным с генератором 26 или любыми другими устройствами таким образом, что равновесие усилий замкнуто на самом общем штоке, это позволяет уменьшить нагрузку газа на валу, которая, следовательно, может быть меньше и легче, а также уменьшить размер картера, что приводит к уменьшению потерь на трение и экономии затрат на изготовление и установку.

[0064] Кроме того, согласно этому варианту реализации изобретения, утечки из цилиндров ограничены перепадом давлений из камер, и, кроме тех, которые содержатся в лабиринтных уплотнениях, могут быть восстановлены, поскольку они попадают непосредственно в соединенный цилиндр, что обеспечивает полную герметизацию конструкции, предотвращая любую утечку наружу.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Установка на основе комбинированных циклов Джоуля-Брайтона и Ренкина, работающая с машинами возвратно-поступательного действия

1. Система рекуперации отводимого тепла, содержащая систему цикла Брайтона и систему цикла Ренкина:

система цикла Брайтона содержит:

нагреватель (16), выполненный с возможностью осуществления циркуляции инертного газа в теплообменном взаимодействии с текучей средой теплоносителя для нагрева указанного инертного газа;

первую расширительную установку/группу (18), соединенную с нагревателем (16) и выполненную с возможностью расширения инертного газа;

теплообменник (36), выполненный с возможностью охлаждения инертного газа из первой расширительной установки/группы (18) путем испарения рабочей текучей среды системы цикла Ренкина;

холодильник (20), выполненный с возможностью дополнительного охлаждения инертного газа из теплообменника (36); и

компрессионную установку/группу (22), выполненную с возможностью сжатия инертного газа, подаваемого через холодильник (20);

причем первая расширительная установка/группа (18) и компрессионная установка/группа (22) представляют собой механически соединенные машины возвратно-поступательного действия;

и

система цикла Ренкина содержит:

Вторую расширительную установку/группу (38), соединенную с теплообменником (36) и выполненную с возможностью расширения пара рабочей текучей среды;

конденсатор (40); и

насос (42), выполненный с возможностью сжатия рабочей текучей среды, подаваемой через конденсатор (40),

причем вторая расширительная установка/группа (38) представляет собой машину возвратно-поступательного действия, механически соединенную с первой расширительной установкой/группой (18) и компрессионной установкой/группой (22) системы цикла Брайтона, при этом первая расширительная установка/группа (18') и компрессионная установка/группа (22) системы цикла Брайтона и вторая расширительная установка/группа (38) системы цикла Ренкина соединены с общим валом.

2. Система по п. 1, отличающаяся тем, что общий вал непосредственно соединен с внешним устройством.

3. Система по предшествующему пункту, отличающаяся тем, что внешнее устройство представляет собой генератор (26).

4. Система по предшествующему пункту, отличающаяся тем, что внешнее устройство представляет собой генератор с переменной частотой вращения привода.

5. Система по предшествующему пункту, отличающаяся тем, что генератор с переменной частотой вращения привода используется в качестве пускового двигателя системы и/или вспомогательного устройства в конфигурации механического привода.
6. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что общий вал вращается со скоростью около 1000 оборотов в минуту.
7. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что компрессионная установка/группа 22 возвратно-поступательного действия и расширительная установка/группа 18 возвратно-поступательного действия системы цикла Брайтона расположены согласно последовательной схеме.
8. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что компрессионная установка/группа представляет собой многоступенчатую компрессионную установку/группу, содержащую совокупность последовательно расположенных ступеней (221, 222) компрессионной установки/группы, причем соответствующие межступенчатые теплообменники (15, 20) расположены между парами последовательно расположенных ступеней компрессионной установки/группы, при этом межступенчатые теплообменники (15, 20) выполнены с возможностью отвода тепла от сжатого инертного газа, циркулирующего от последовательных ступеней компрессионной установки/группы.
9. Система по предшествующему пункту, в которой межступенчатые теплообменники (15, 20) охлаждают жидкостью.
10. Система по предшествующему пункту, содержащая сепараторные барабаны (23,24), расположенные ниже по потоку от межступенчатых теплообменников (15,20) и выполненные с возможностью отделения и сбора конденсированной охлаждающей жидкости; насос (25), выполненный с возможностью сжатия охлаждающей жидкости из сепараторных барабанов (23,24) и впрыска сжатой жидкости в ступени (221,222) компрессионной установки/группы.
11. Система по одному или большему количеству из пп. 9–10, отличающаяся тем, что указанная жидкость представляет собой воду или смесь на водной основе.
12. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что имеется теплообменник (17) для циркуляции инертного газа от первой расширительной установки/группы (18) до холодильника (20) в теплообменном взаимодействии с инертным газом от компрессионной установки/группы (22) до нагревателя (16).
13. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что имеется теплообменник (37) для циркуляции пара текучей среды от второй расширительной установки/группы (38) до конденсатора (40) в теплообменном взаимодействии с текучей средой от насоса (42) до теплообменника (36).
14. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что инертный газ, используемый в качестве рабочей текучей среды в системе цикла Брайтона, представляет собой диоксид углерода.
15. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что текучая среда, используемая в качестве рабочей текучей среды в системе цикла Ренки-

на, выбрана из органической жидкости, жидкого хладагента, воды, аммиака, пропана или других подходящих текучих сред.

16. Система по предшествующему пункту, отличающаяся тем, что органическая текучая среда, используемая в качестве рабочей текучей среды в системе цикла Ренкина, выбрана из 1,1,1,3,3-пентафторпропана (R245FA) и 2,3,3,3-тетрафторпропена (или R1234yf).

17. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что нагреватель выполнен с возможностью соединения с источниками отводимого тепла, в том числе, например, двигателями внутреннего сгорания, газовыми турбинами, геотермальными, гелиотермальными, промышленными и бытовыми источниками тепла или тому подобное.

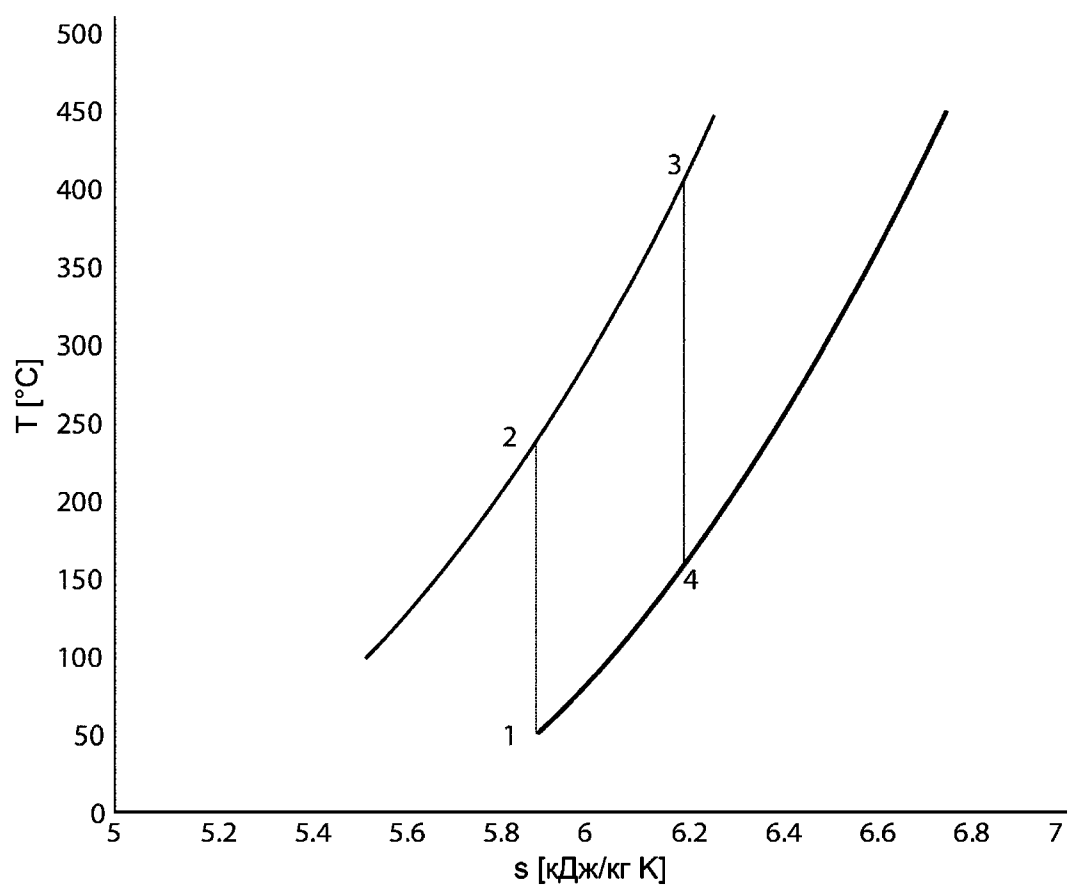
18. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что нагреватель представляет собой горелку, в которую подают топливо для реализации газового двигателя.

19. Система по одному или большему количеству предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что насос (42), выполненный с возможностью сжатия текучей среды системы цикла Ренкина, механически соединен с первой расширительной установкой/группой (18) и компрессионной установкой группы (22) системы цикла Брайтона и второй расширительной установкой/группой (38) системы цикла Ренкина.

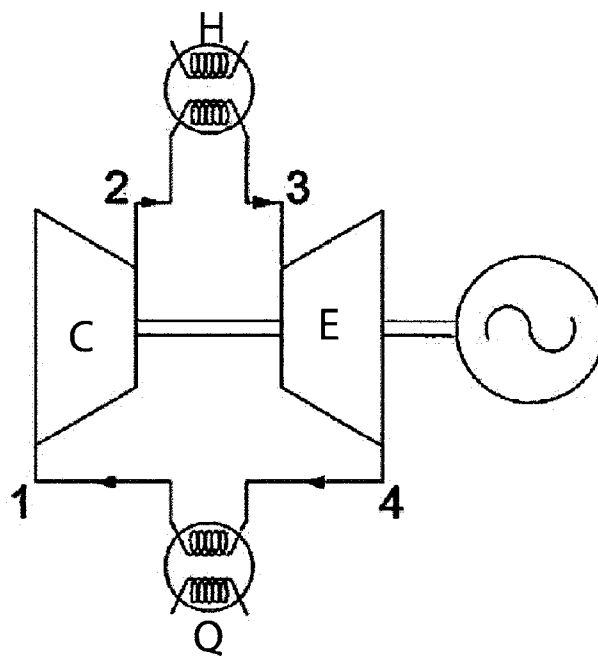
20. Способ работы системы рекуперации отводимого тепла, содержащей систему цикла Брайтона и систему цикла Ренкина, по п. 1, включающий следующие этапы:

- циркуляция (50) инертного газа в теплообменном взаимодействии с текучей средой теплоносителя для нагрева инертного газа посредством нагревателя системы цикла Брайтона; и текучей средой для охлаждения инертного газа посредством испарителя системы цикла Ренкина;
- расширение (51) инертного газа посредством расширительной установки/группы, соединенной с нагревателем системы цикла Брайтона;
- циркуляция (52) инертного газа из расширительной установки/группы через испаритель текучей среды системы цикла Ренкина;
- циркуляция (53) инертного газа из испарителя текучей среды через холодильник системы цикла Брайтона;
- сжатие (54) инертного газа, поступающего из холодильника, посредством компрессионной установки/группы системы цикла Брайтона;
- циркуляция (55) инертного газа от компрессионной установки/группы до нагревателя;
- расширение (56) пара текучей среды из испарителя посредством расширительной установки/группы системы цикла Ренкина;
- циркуляция (57) пара текучей среды из расширительной установки/группы через конденсатор системы цикла Ренкина; и
- циркуляция (58) жидкой текучей среды от конденсатора через насос до испарителя текучей среды.

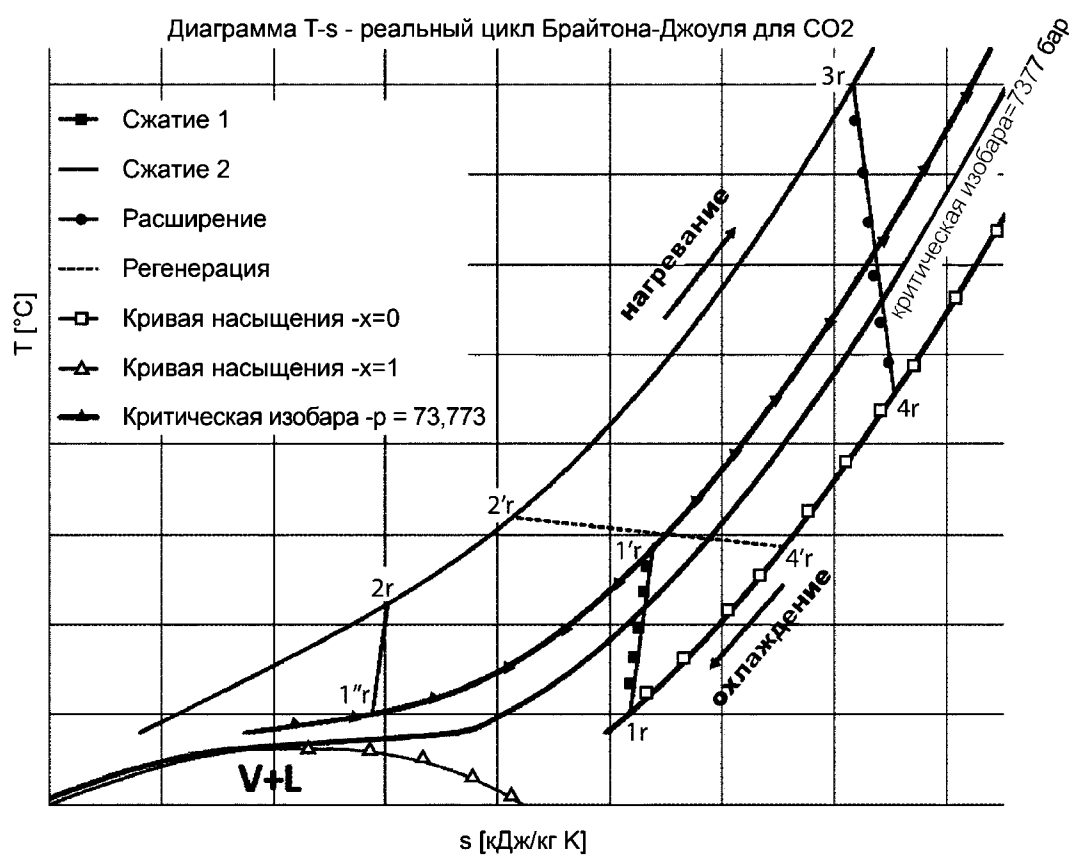
21. Способ по п. 20, отличающийся тем, что этап сжатия включает сжатие диоксида углерода, циркулирующего в последовательных ступенях компрессионной установки/группы, после промежуточного охлаждения между ступенями для уменьшения мощности сжатия.



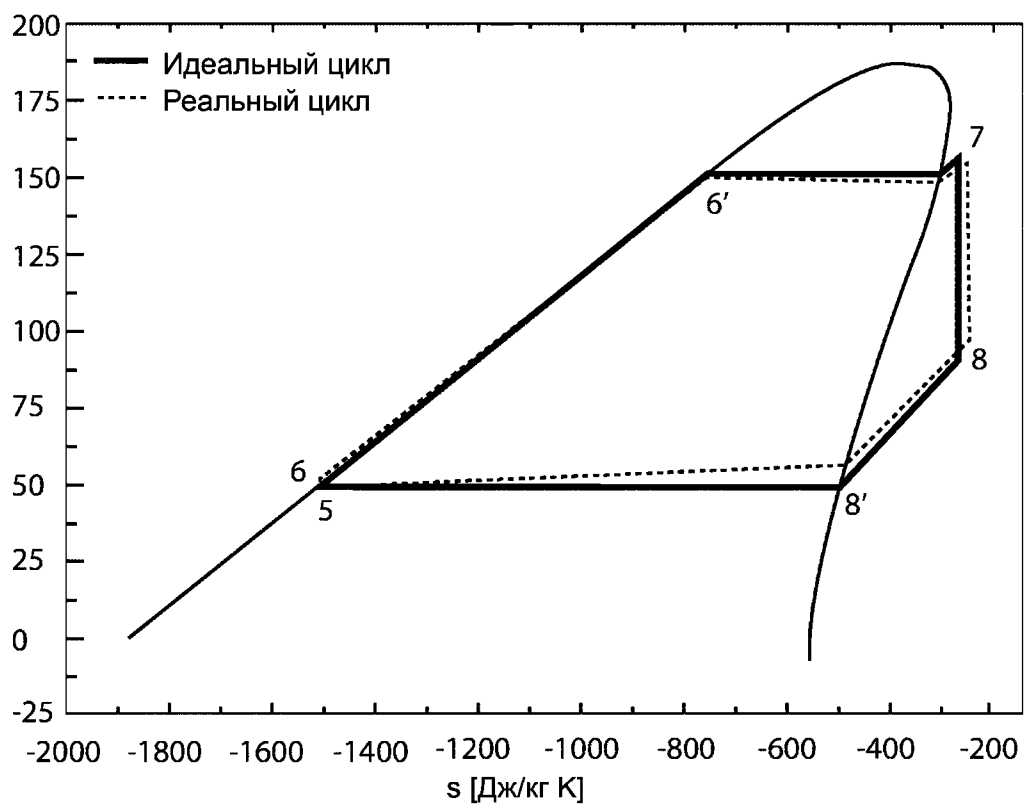
Фиг. 1



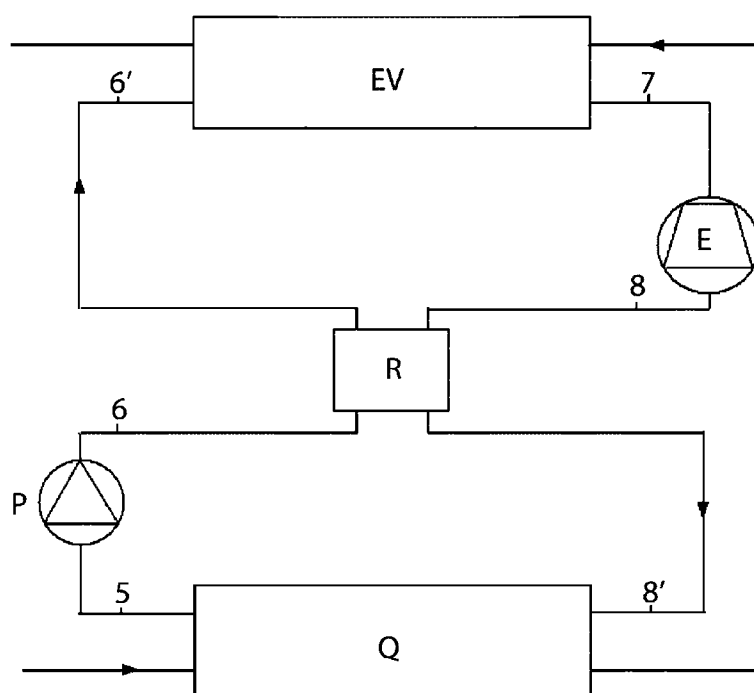
Фиг. 2



Фиг. 3

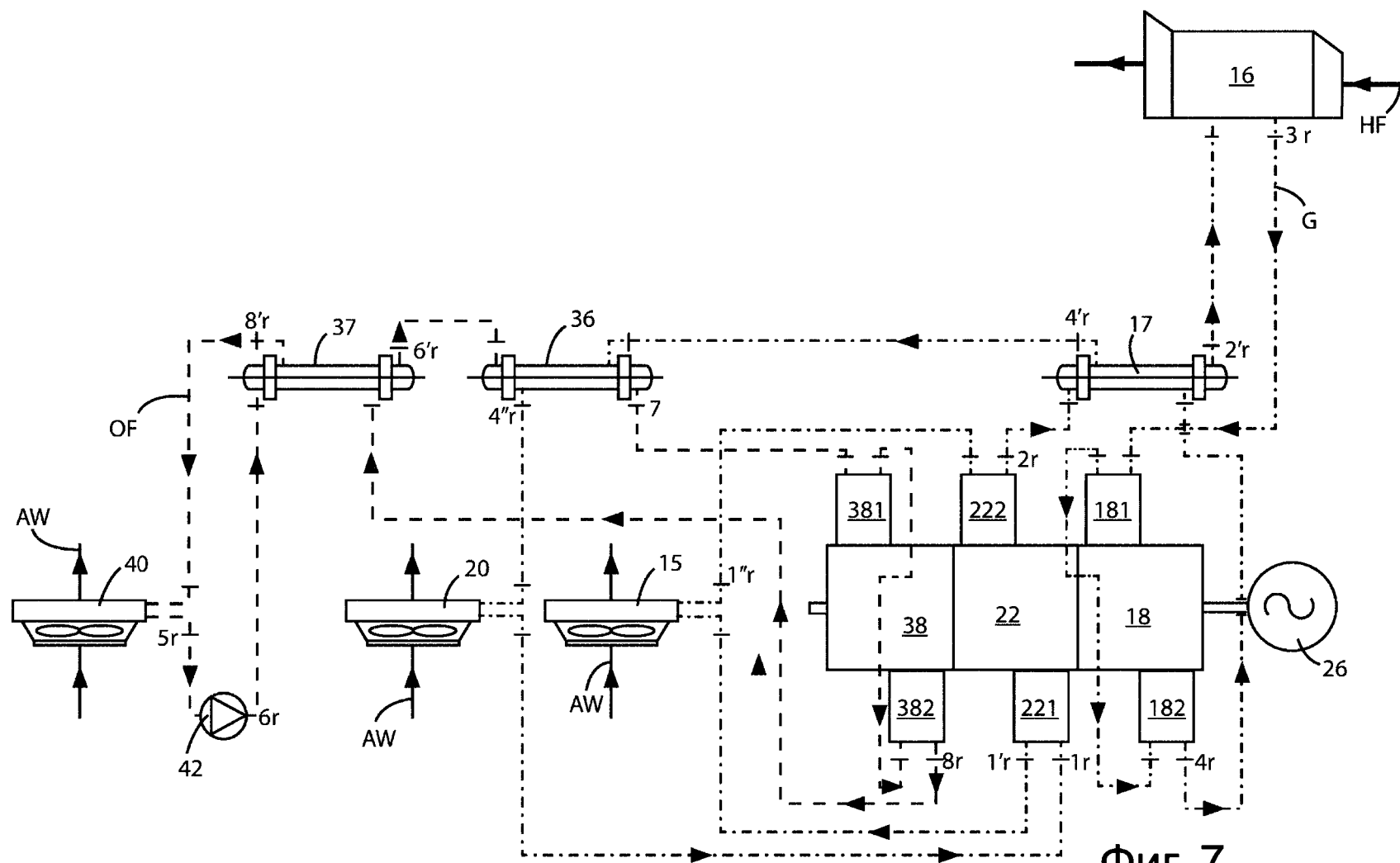


Фиг. 4

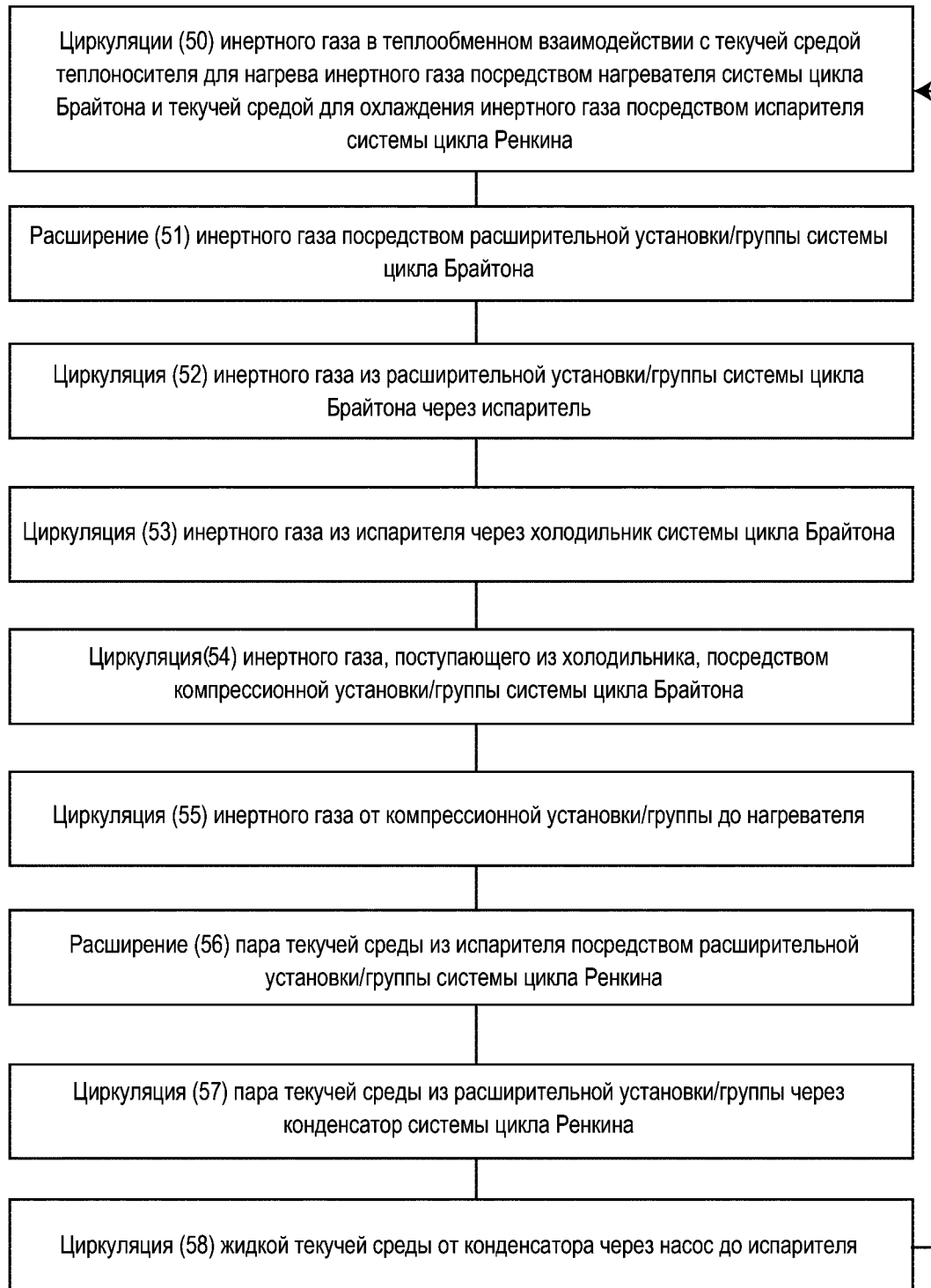


Фиг. 5





Фиг. 7



Фиг. 8

