

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202290794 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.06.09

(51) Int. Cl. F02G 1/04 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.08.27

(54) СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ДЛЯ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ, СОДЕРЖАЩЕГО СИСТЕМУ РЕЦИРКУЛЯЦИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩУЮ СВЕРХКРИТИЧЕСКИЙ ДИОКСИД УГЛЕРОДА

(31) 62/896,441

(32) 2019.09.05

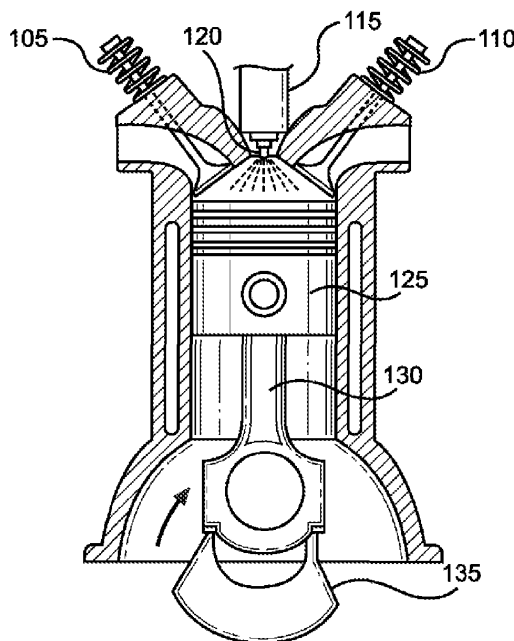
(33) US

(86) PCT/US2020/048272

(87) WO 2021/045959 2021.03.11

(71)(72) Заявитель и изобретатель:
МАЛЛИГАН КАРЛ ПИТЕР (US)(74) Представитель:
Носырева Е.Л. (RU)

(57) В некоторых вариантах осуществления настоящее изобретение относится к системе поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующей систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода (scCO_2) в качестве рабочей текучей среды. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром может содержать инжектор для scCO_2 ; область сопла перегрева; первый клапан; второй клапан; поршень, перемещающийся в цилиндре и соединенный с коленчатым валом, при этом поршень приводится в движение к центральной линии коленчатого вала во время рабочего такта с использованием шатуна и обеспечивает вращение коленчатого вала с обеспечением при этом одного рабочего такта за вращение коленчатого вала и получением при этом двух рабочих тактов на каждый отдельный рабочий такт, который аналогичный двигатель производил бы, если бы он работал в качестве двигателя внутреннего сгорания, работающего на углеводородном топливе. Система рециркуляции CO_2 рециркулирует использованный диоксид углерода, и выбросы диоксида углерода из системы отсутствуют.



A1

202290794

202290794

A1

СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ДЛЯ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ, СОДЕРЖАЩЕГО
СИСТЕМУ РЕЦИРКУЛЯЦИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩУЮ СВЕРХКРИТИЧЕСКИЙ
ДИОКСИД УГЛЕРОДА

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННУЮ ЗАЯВКУ

[0001] В этой патентной заявке заявляется преимущество на приоритет предварительной заявки на патент США с серийным номером 62/896441, поданной 5 сентября 2019 г. и озаглавленной «Systems and Methods for a Piston Engine Including a Recirculating System Using Supercritical Carbon Dioxide». Вышеупомянутое раскрытие настоящим включено в данный документ посредством ссылки во всей своей полноте, включая все процитированные ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Варианты осуществления настоящего изобретения относятся к поршневому двигателю, содержащему систему рециркуляции, использующую сверхкритический диоксид углерода ($scCO_2$). В различных вариантах осуществления настоящего изобретения в качестве рабочей текучей среды используется $scCO_2$.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0002] Согласно некоторым вариантам осуществления настоящее изобретение относится к системе поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующей систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода ($scCO_2$) в качестве рабочей текучей среды. В некоторых вариантах осуществления система поршневого двигателя с замкнутым контуром содержит (i) инжектор для $scCO_2$ для впрыскивания $scCO_2$ в цилиндр; (ii) область сопла перегрева для предоставления тепла во впрыснутый $scCO_2$; (iii) первый клапан головки блока цилиндров этого цилиндра, при этом первый клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2); (iv) второй клапан головки блока цилиндров этого цилиндра, при этом второй клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2); и (v) поршень, перемещающийся в

цилиндре и соединенный с коленчатым валом, при этом поршень приводится в движение к центральной линии коленчатого вала во время рабочего такта с использованием шатуна и обеспечивает вращение коленчатого вала с обеспечением при этом одного рабочего такта за вращение коленчатого вала и получением при этом двух рабочих тактов на каждый отдельный рабочий такт, который аналогичный двигателю производил бы, если бы он работал в качестве двигателя внутреннего сгорания, работающего на углеводородном топливе. В некоторых вариантах осуществления система рециркуляции диоксида углерода (CO_2) содержит (а) систему клапанов, соединенную по текучей среде с первым клапаном головки блока цилиндров и вторым клапаном головки блока цилиндров для сбора использованного диоксида углерода; (b) резервуар для хранения CO_2 , вмещающий использованный диоксид углерода посредством системы клапанов; (c) вспомогательное компрессорное устройство газа высокого давления, соединенное по текучей среде с резервуаром для хранения CO_2 для повышения давления использованного диоксида углерода до сверхкритического состояния, обеспечивающего создание scCO_2 ; и (d) рампу для рабочей текучей среды, соединяющую по текучей среде scCO_2 с инжектором для scCO_2 .

[0003] В различных вариантах осуществления система рециркуляции диоксида углерода (CO_2) рециркулирует использованный диоксид углерода, и выбросы диоксида углерода из системы поршневого двигателя с замкнутым контуром отсутствуют.

[0004] В различных вариантах осуществления настоящего изобретения диоксид углерода в сверхкритическом состоянии (scCO_2) представляет собой рециркулирующую рабочую текучую среду. scCO_2 может непосредственно впрыскиваться в цилиндр поршневого двигателя посредством нагретого инжектора прямого впрыска. Вместо сгорания scCO_2 расширяется очень быстро благодаря теплу, что приводит в движение поршни. Затем поршни вращают коленчатый вал по типу двигателя внутреннего сгорания. Расширенные газы выпускаются при каждом такте поршня вверх через систему клапанов с синхронизацией по времени, а рабочий такт происходит каждый раз, когда поршень, по отдельности или в паре, находится в верхней мертвой точке (TDC) или около нее и при такте вниз. Нет ни такта впуска, ни такта сжатия, в результате чего эти поршневые двигатели согласно настоящему изобретению работают как двухтактные в замкнутом контуре, а не как четырехтактные открытые (атмосферные) двигатели внутреннего сгорания. Примечательно, что двигатели с четным числом цилиндров, в которых поршни совершают возвратно-поступательное движение парами, имеют

преимущество над двухтактным вариантом осуществления за счет того, что оба поршня в каждой паре находятся в рабочем такте одновременно. Это отличается от четырехтактного, где только один из поршней (в паре) находится в рабочем такте, а другой находится в такте впуска и не производит мощность. Кроме того, CO₂ низкого давления может затем циркулировать и храниться в резервуаре. Вспомогательное компрессорное устройство газа высокого давления может накачать газ до состояния scCO₂, после чего scCO₂ снова используется для приведения в движение поршневого двигателя.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0005] Прилагаемые графические материалы, на которых одинаковые ссылочные позиции относятся к идентичным или функционально подобным элементам на отдельных видах, вместе с подробным описанием ниже включены и составляют часть технического описания, и служат для дополнительной иллюстрации вариантов осуществления концепций, которые включают заявленное изобретение, и поясняют различные принципы и преимущества этих вариантов осуществления.

[0006] Способы и системы, раскрытые в данном документе, представлены, где это уместно, с помощью обычных символов на графических материалах, показывая только те конкретные детали, которые имеют отношение к пониманию вариантов осуществления настоящего изобретения, чтобы не затруднять понимание раскрытия деталями, которые будут очевидны для специалистов в данной области техники, пользующихся приведенным в данном документе описанием.

[0007] На фиг. 1A представлена иллюстрация приведенного в качестве примера отдельного поршня в верхней мертвой точке (TDC) согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения.

[0008] На фиг. 1B представлена иллюстрация приведенного в качестве примера отдельного поршня в нижней мертвой точке (BDC) согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения.

[0009] На фиг. 1C представлена иллюстрация приведенного в качестве примера отдельного поршня в верхней мертвой точке (TDC) согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения.

[0010] На фиг. 1D представлена иллюстрация приведенного в качестве примера отдельного поршня в нижней мертвой точке (BDC) согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения.

[0011] На фиг. 2A представлена иллюстрация приведенных в качестве примера поршней, совершающих возвратно-поступательное линейное колебательное движение попарно, согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения.

[0012] На фиг. 2B представлена другая иллюстрация приведенных в качестве примера поршней, совершающих возвратно-поступательное линейное колебательное движение попарно, согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения.

[0013] На фиг. 2C представлена иллюстрация приведенных в качестве примера поршней, совершающих возвратно-поступательное линейное колебательное движение попарно, согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения.

[0014] На фиг. 2D представлена другая иллюстрация приведенных в качестве примера поршней, совершающих возвратно-поступательное линейное колебательное движение попарно, согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения.

ОПИСАНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕРА ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0015] Варианты осуществления настоящего изобретения относятся к поршневому двигателю, содержащему систему рециркуляции, использующую сверхкритический диоксид углерода ($scCO_2$). Различные варианты осуществления относятся к поршневым двигателям, $scCO_2$, циклу Ренкина с замкнутым контуром, генерированию энергии и термодинамике. Например, характеристики расширения газа $scCO_2$ используются в замкнутом контуре, аналогичном паровому циклу Ренкина, и он нагревается от внешнего источника для приведения в движение поршневого двигателя с целью вращения коленчатого вала. В цикле Ренкина используется рабочая текучая среда (например, вода) в установке с замкнутым контуром и вводится тепло, вызывающее расширение текучей среды в виде пара, и этот расширяющийся газ (например, пар) используется для выполнения работы. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения в качестве рабочей текучей среды используется $scCO_2$.

[0016] Sandia Labs разрабатывает прототипы систем цикла Брайтона с использованием scCO_2 , который нагревается и используется для приведения в движение турбины, присоединенной к генератору через трансмиссию. Основное внимание исследователей направлено на использование отработанного промышленного тепла или тепла ядерных реакторов для нагревания scCO_2 перед введением в турбину. Благодаря использованию теплообменников высокого давления в каскадной установке с несколькими турбинами достигаются очень высокие уровни мощности и эффективности при небольшой физической площади. Значительная потенциальная энергия хранится в сжатом CO_2 , особенно в оптимальных условиях, например в сверхкритическом состоянии. Когда scCO_2 расширяется через отверстие, scCO_2 расширяется быстро, и это быстрое расширение газа используется для выполнения (производства) работы. Кроме того, если область, непосредственно окружающая это отверстие, очень горячая (например, от 500°C до 800°C) (первый закон термодинамики указывает, что чем больше тепла передается газу, тем больше потенциальная работа, производимая газом), газ расширяется с огромной скоростью.

[0017] Если эта сверхкритическая текучая среда впрыскивается в надлежащим образом модифицированный двигатель внутреннего сгорания (ICE) через дизельный инжектор прямого впрыска (или аналогичный ему) через прежнее место отверстия для свечи зажигания бензинового ICE, она может использоваться для приведения в движение поршня (поршней) и вращения таким образом коленчатого вала. После совершения полезной работы газы дополнительно расширяются и достаточно охлаждаются в системе рекуперации для конкретного применения, где они снова сжимаются, хранятся и становятся доступными для вспомогательного компрессорного устройства газа, чтобы довести CO_2 до подходящего давления впрыска, соответствующего требованиям, предъявляемым к двигателю оператором через какой-либо вид устройства управления мощностью, например «педаль управления дроссельной заслонкой».

[0018] Двигатель внутреннего сгорания (ICE) был коммерчески доступен населению более ста двадцати пяти лет в различных формах, и его механика хорошо продумана. Много времени, денег, человеческой изобретательности и усилий превратили это изобретение в обычное для многих сотен миллионов функционирующих в настоящее время ICE. В большинстве случаев и регулярно внедряются улучшения и инновации для повышения эффективности, улучшения функциональности и сокращения выбросов.

[0019] Варианты осуществления настоящего изобретения вносят свой вклад в эти усилия, предоставляя средство, с помощью которого такие ICE могут быть модифицированы для полного исключения сгорания и замены этой результирующей силы сгорания (воспламененной воздушно-топливной смеси) силой расширения газа, обеспеченной путем впрыска $scCO_2$ через перегретую область сопла непосредственно в закрытую головку блока цилиндров, заполняющую «объем мертвого пространства» (прежнюю «камеру сгорания») для приведения поршня в движение к центральной линии коленчатого вала и вращения коленчатого вала.

[0020] В различных вариантах осуществления настоящее изобретение предусматривает поршневой двигатель, который использует сверхкритический диоксид углерода ($scCO_2$) в качестве рабочей текучей среды в рециркуляционной системе (с замкнутым контуром). Например, вместо того, чтобы сжигать смесь воздуха/топлива для расширения газов, чтобы увеличить давление в цилиндре и привести в движение поршень, $scCO_2$ вводится в объем мертвого пространства (прежняя камера сгорания) через инжектор прямого впрыска через очень горячее (перегревающее) расширяющееся (факельное) сопло. Очень горячий $scCO_2$ быстро расширяется в цилиндре, что приводит к приведению в движение поршня таким же образом, как это реализуется путем сжигания предварительно использованной воздушно-топливной смеси. Клапанный механизм переконфигурирован таким образом, чтобы облегчить использование как исходного выпуска, так и исходного выпуска в качестве выхлопных систем. Расширенные газы после того, как они использовались для приведения в движение поршня, направляются через выпуски в систему рекуперации, где CO_2 охлаждается, затем снова сжимается и нагревается до состояний $scCO_2$ перед повторным введением через инжекторы прямого впрыска в цилиндры с замыканием цепи.

[0021] В некоторых вариантах осуществления, чтобы сконструировать эту систему двигателя с рециркуляцией, работающей на $scCO_2$, с замкнутым контуром, специалист в данной области техники понимает действие версии этого двигателя с одним цилиндром, одним поршнем, одним инжектором и одним выпускным отверстием, чтобы обеспечить применение той же теории или концепции к многоцилиндровым исполнениям.

[0022] В упрощенном примере некоторых вариантов осуществления рабочая текучая среда, $scCO_2$, впрыскивается непосредственно в цилиндр точно или приблизительно в момент, когда поршень находится в верхней мертвой точке (TDC), а выпускной клапан

закрыт. Поршень приводится в движение к центральной линии коленчатого вала (ход вниз) расширяющимися газами, вызывая вращение коленчатого вала. Точно или приблизительно в момент, когда поршень находится в нижней мертвой точке (BDC), выпускной клапан открывается, тем самым выпуская расширяющиеся газы из выхлопной системы при такте поршня вверх. Этот цикл повторяется, когда поршень находится в TDC или около нее. Для приведения в движение поршня можно использовать множество различных газов, включая пар, сжатый воздух, другие сверхкритические текучие среды и т. п., но в некоторых вариантах осуществления в качестве основного компонента выбран scCO_2 из-за его нетоксичности, невзрывоопасности, дешевости и характера изобилия scCO_2 , помимо полезных и мощных характеристик расширения газа scCO_2 .

[0023] В различных вариантах осуществления двуокись углерода, стесненная в сверхкритических условиях, вводится в закрытый цилиндр через инжектор прямого впрыска и проходит мимо перегретой области и в то, что раньше было камерой сгорания, но, поскольку воздушно-топливная смесь там не сжигается, в системе нет горения. Эта камера, пространство в цилиндре между поршнем в верхней мертвой точке (TDC) и головкой блока цилиндров со всеми закрытыми клапанами называется «объемом мертвого пространства» (CV).

[0024] В различных вариантах осуществления последовательность работы отдельного цилиндра показана на фиг. 1A–1B и фиг. 1C–1D, как описано ниже. Кроме того, последовательность работы двух пар поршней, функционирующих вместе посредством возвратно-поступательного линейного колебательного движения попарно, показана на фиг. 2A–2B и фиг. 2C–2D, как описано ниже.

[0025] В различных вариантах осуществления последовательность работы является такой, как представлено ниже. Во-первых, scCO_2 вводится в закрытый цилиндр посредством нагретого инжектора прямого впрыска (например, инжектора 115 по фиг. 1A и фиг. 1C). Нагретый инжектор прямого впрыска может быть размещен в том месте, где раньше располагалось отверстие для свечи зажигания бензинового ICE, или аналогично в месте инжектора прямого впрыска дизельного ICE.

[0026] Во-вторых, в некоторых вариантах осуществления газ (scCO_2) быстро расширяется через расширяющуюся нагретую область сопла (например, область 120

сопла по фиг. 1A и фиг. 1C). Область сопла может быть точкой, которая показана в области 120 сопла по фиг. 1A и фиг. 1C, или может быть более широкой областью в различных вариантах осуществления.

[0027] В-третьих, в различных вариантах осуществления очень горячий расширяющийся газ (scCO_2) приводит поршень в движение к центральной линии коленчатого вала (например, центральной линии 225 коленчатого вала по фиг. 2A и фиг. 2D).

[0028] В-четвертых, в некоторых вариантах осуществления, когда поршень находится в области нижней мертвой точки (BDC) (например, как показано на фиг. 1B и фиг. 1D), либо исходный впускной клапан, либо исходный выпускной клапан открывается для отведения отработанных газов. При следующем такте сбрасывается противоположный клапан.

[0029] В-пятых, в различных вариантах осуществления, когда поршень возвращается в TDC (например, как показано на фиг. 1A и фиг. 1C), обеспечивается другой впрыск горячих газов (scCO_2) с повторением цикла и т. д. Дополнительно этот двухтактный двигатель выполнен в многоцилиндровом исполнении, как показано на примере на фиг. 2A–2B и фиг. 2C–2D ниже.

[0030] Самые распространенные двигатели с четным числом цилиндров разработаны в целях балансирования, чтобы иметь пару поршней, работающих одновременно. Например, согласно вариантам осуществления настоящего изобретения последовательность работы двух пар поршней, функционирующих вместе посредством возвратно-поступательного линейного колебательного движения попарно, показана на фиг. 2A–2B и фиг. 2C–2D, как описано ниже.

[0031] В четырехтактном двигателе только один из тех поршней в паре находится в рабочем такте, тогда как другой поршень в паре находится в такте впуска, не производя мощность. Другой поршень фактически снижает мощность за счет возвратно-поступательных потерь, таких как трение.

[0032] В различных вариантах осуществления настоящего изобретения четырехтактный клапанный механизм переконфигурируется для запуска как двухтактного, при этом оба поршня в паре, которые находятся в рабочем такте одновременно, как показано в

последовательности работы двух пар поршней, функционирующих вместе посредством возвратно-поступательного линейного колебательного движения попарно, показаны на фиг. 2А– 2В и фиг. 2С– 2D, как описано ниже. Каждый раз, когда пара поршней находится в TDC, каждый из них (одновременно) принимает впрыск scCO_2 , приводя оба поршня в паре в движение к центральной линии коленчатого вала. При такте вверх (такт выпуска) один из этих цилиндров использует прежнюю систему впускных клапанов для отведения, тогда как другой в паре использует исходную систему выпускных клапанов. При следующем такте открывается противоположная система клапанов.

[0033] В различных вариантах осуществления настоящего изобретения синхронизация по времени этого нового клапанного механизма выполняется с помощью подходящих профилей распределительного вала. Например, новые распределительные валы подготавливаются (т. е. производятся) для электродвигателей с толкателями, использующих один распределительный вал, однако для конструкций с двумя верхними распредвалами (в случае четырех цилиндров в ряд и шести цилиндров в ряд) с независимыми впускными и выпускными распределительными валами или в конструкциях с четырьмя распредвалами, которые используются в двигателях с V-образным расположением цилиндров (также обычно называемых V-образными двигателями) (например, V6, V8, V12), впускной и выпускной распределительные валы могут вращаться независимо друг от друга, так что при каждом такте вверх либо первый выпуск (старый впуск), либо второй выпуск (исходный выпуск) открываются. Противоположный (относительный) клапан открывается на втором цилиндре пары, как показано в приведенной в качестве примера последовательности работы двух пар поршней, функционирующих вместе путем возвратно-поступательного линейного колебательного движения в парах, как показано на фиг. 2А– 2В и фиг. 2С–2D, как описано ниже. Кроме того, как указывалось ранее, при следующем вращении другой распределительный вал управляет другими клапанами.

[0034] В различных вариантах осуществления распределительные валы заменены клапанами с индивидуальным управлением, которые могут быть пневматическими, пьезоэлектрическими, соленоидными и т. п. или управляться другими механизмами.

[0035] В различных вариантах осуществления выпуск ICE должен выдерживать давления, соизмеримые с давлениями выхлопных газов, создаваемых в ICE, и, если в этом описанном варианте осуществления сохраняется приблизительное максимальное

давление цилиндра, может быть достаточно сильный (эффективный) второй выпуск. Предыдущий выпуск (т. е. «первый выпуск») в этом варианте осуществления нуждается в значительной переработке. Впуск (т. е. «первый выпуск») обычно не способен выдерживать такие же давления, как выпуск, но, если более сильный первый выпуск создан с такими же функциональными возможностями, что и второй выпуск, первый выпуск может быть сделан достаточно прочным, чтобы быть пригодным для давлений газа первого выпуска.

В различных вариантах осуществления две выхлопные системы соединяются вместе ниже по потоку, где газы охлаждаются и конденсируются, повторно герметизируются и предварительно нагреваются перед повторным введением в цилиндры в виде сверхгорячего, чрезвычайно быстро расширяющегося газа через инжектор прямого впрыска и нагревательный элемент, за счет чего цикл начинается заново. В различных вариантах осуществления каждого применения выхлопная система должна быть разработана для подходящего охлаждения использованных отработанных газов при подготовке к рекомпрессии и может включать радиаторы и теплообменники, подходящие для использования и рабочей среды. Например, лодка, использующая эту систему, будет иметь большую доступную охлаждающую функциональную возможность в окружающей воде, чем эта система, питающая генератор в пустыне, и обе будут использовать разные «подходящие для применения» системы охлаждения и нагрева, характерные для окружающей среды.

[0037] В некоторых вариантах осуществления при достаточном охлаждении выхлопных газов и значительном снижении давления насос CO_2 с большой производительностью и относительно низким давлением перекачивает либо газообразный, либо жидкий (в зависимости от температуры и давления) CO_2 в резервуар для хранения, в некоторых случаях аналогичный бакам, используемым в автомобилях, работающих на сжатом природном газе (CNG), приблизительно до 4000 фунтов на квадратный дюйм (PSI). Вспомогательное компрессорное устройство газа высокого давления или другой подходящий насос, выполненный с возможностью сжатия scCO_2 до 20000 фунтов на квадратный дюйм или более, может выходить из этого бака в различных вариантах осуществления. Область общей рампы предварительного впрыска, размещенная между баком и инжекторами, предварительно нагревает scCO_2 настолько, насколько позволяют материалы и конструкция инжектора. В различных вариантах осуществления чем горячее, тем лучше. Эти предварительно нагретые газы (например, scCO_2)

впрыскиваются через инжектор прямого впрыска подходящей конструкции со встроенным нагревателем в точке впрыска. Например, нагреватель может быть встроен между точкой впрыска scCO_2 и поверхностью поршня. Нагреватель может быть электроискровым, плазменным, электрокерамическим и т.п., выполненным с возможностью насыщения впрыскиваемым потоком (потоками) scCO_2 с как можно большим количеством тепла по мере того, как эти газы впрыскиваются в объем мертвого пространства (CV).

[0038] В различных вариантах осуществления, поскольку настоящее изобретение не является ICE и сгорания не происходит, нет необходимости или пользы от обычной свечи зажигания, используемой в бензиновом ICE. Инжекторы прямого впрыска пьезоэлектрического типа, как правило, имеют надлежащие размер и форму, чтобы их можно было использовать в различных двигателях вместо свечей зажигания, и было выдано множество патентов на изобретения комбинации инжектора и свечи зажигания, которые могут быть эффективными в некоторых вариантах, хотя топливо заменяется рециркулирующей рабочей текучей средой, в данном случае scCO_2 . В различных вариантах осуществления каждый двигатель, использующий настоящее изобретение, оптимизирован с помощью специальных инжекторов. Оптимальные температуры окончания воспламенения современных свечей зажигания, используемых в бензиновых ICE, находятся в диапазоне от 500 до 800°C. Этих температур может оказаться достаточно для расширения впрыскиваемого scCO_2 до текущих типичных максимальных давлений цилиндра ICE приблизительно 1500 фунтов на квадратный дюйм при условии, что для создания таких давлений может быть впрыснут достаточный объем scCO_2 за единицу времени. В различных вариантах осуществления тремя основными манипуляторами доступного максимального эффективного давления цилиндра (МЕСР) являются, во-первых, давление перед впрыском scCO_2 и температура в общей рампе для рабочей текучей среды, во-вторых, скорость потока инжектора и, в-третьих, количество тепла, которым можно насыщать впрыскиваемый scCO_2 (которое вводится в него). Увеличение значения любого из трех основных манипуляторов доступного МЕСР увеличивает МЕСР. Эти переменные можно регулировать, и они должным образом сбалансированы для каждого применения.

[0039] В различных вариантах осуществления настоящего изобретения инжекторы подходящим образом синхронизируются таким образом, что непосредственно впрыскиваемые горячие газы (scCO_2) вводятся в двигатель, когда поршни (пара поршней

в двигателе с четным числом цилиндров) находятся вблизи или в TDC. Наиболее преимущественная синхронизация по времени впрыска создает максимальное усилие на поршень и, следовательно, максимальный крутящий момент на коленчатый вал, ускоряя вращение коленчатого вала в необходимом направлении. Напротив, неправильно синхронизированный по времени инжектор, например, инжектор, впрыскивающий значительно раньше, чем поршень достигает TDC, вызывает расширение горячих впрыскиваемых газов ($scCO_2$) в цилиндре, в то время как поршень движется вверх, и один клапан или несколько клапанов еще открыты. Горячие газы быстро расширяются и охлаждаются в выхлопной системе, не обеспечивая желаемую работу в поршне и оказывая тормозящее действие на двигатель из-за противодействия. Кроме того, полностью неправильная синхронизация по времени впрыска $scCO_2$ приводит к неработоспособности двигателя.

[0040] В различных вариантах осуществления каждый раз, когда какой-либо поршень находится в TDC, в CV обеспечивается впрыск горячих газов, которые быстро расширяются и приводят в движение поршень. Отработанные газы удаляются из цилиндра через выпускные клапаны. Чтобы сбалансировать выхлопную систему от избыточного давления или разрушительных импульсов давления, исходный впускной клапан (клапаны) и выпускной клапан (клапаны) могут попеременно обеспечивать отведение при каждом такте вверх (такте выпуска). Например, последовательность является такой (как показано на фиг. 1A– 1B и фиг. 1C– 1D, на которых показана последовательность работы отдельного цилиндра, и фиг. 2A– 2B и фиг. 2C– 2D, на которых показана последовательность работы двух пар поршней, функционирующих вместе посредством возвратно-поступательного линейного колебательного движения попарно), как описано ниже. Настоящее изобретение не препятствует одновременному открытию всех клапанов головки блока цилиндров (например, исходного впускного клапана (клапанов) и выпускного клапана (клапанов)), если клапаны по своей конструкции не мешают друг другу, тем самым заменяя описанный здесь чередующийся способ действия клапана, приводящий к большему потенциальному потоку выхлопных газов.

[0041] На фиг. 1A– 1D показана последовательность работы отдельного цилиндра для двигателя с любым количеством цилиндров согласно различным вариантам осуществления. В различных вариантах осуществления работа любого отдельного цилиндра в поршневом двигателе показана на фиг. 1A– 1B и фиг. 1C– 1D. Например,

цикл поршня повторяется с фиг. 1A– 1B к фиг. 1C– 1D и снова к фиг. 1A– 1B к фиг. 1C– 1D, и т. д.

[0042] На фиг. 1A представлена иллюстрация приведенного в качестве примера отдельного поршня 125 в верхней мертвой точке (TDC) согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения. На фиг. 1A показан приведенный в качестве примера отдельный поршень 125, который размещен в TDC с закрытыми выпускным клапаном 105 и выпускным клапаном 110. Кроме того, scCO_2 впрыскивается посредством инжектора 115, и в области 120 сопла происходит самопроизвольный перегрев. В различных вариантах осуществления область 120 сопла может представлять собой всю область за инжектором 115, где сильное тепло передается scCO_2 , и может содержать любую часть объема мертвого пространства (CV), который может представлять собой прежнюю камеру сгорания, или всю его часть.

[0043] На фиг. 1A дополнительно показан отдельный поршень 125, приводимый в движение к центральной линии коленчатого вала с использованием шатуна 130, который переносит (т. е. передает) линейное усилие крутящему моменту, когда шатун 130 обеспечивает вращение коленчатого вала 135 в направлении по часовой стрелке (как показано посредством стрелки направления).

[0044] На фиг. 1B представлена иллюстрация приведенного в качестве примера отдельного поршня 125 в нижней мертвой точке (BDC) согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения. На фиг. 1B показан приведенный в качестве примера отдельный поршень 125 в BDC с открытым выпускным клапаном 105. Выпускной клапан 105 остается открытым до тех пор, пока отдельный поршень 125 не достигнет приблизительно TDC при отведении отработанного CO_2 из выпускного клапана 105, который является открытым.

[0045] На фиг. 1C представлена иллюстрация приведенного в качестве примера отдельного поршня 125 в верхней мертвой точке (TDC) согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения. На фиг. 1C показан отдельный поршень 125 в TDC снова с закрытыми выпускным клапаном 105 и выпускным клапаном 110. Вновь scCO_2 впрыскивается посредством инжектора 115, и в области 120 сопла происходит самопроизвольный перегрев. На фиг. 1C дополнительно показан отдельный поршень 125, приводимый в движение к центральной линии коленчатого вала с использованием

шатуна 130, который переносит (т. е. передает) линейное усилие крутящему моменту, когда шатун 130 обеспечивает вращение коленчатого вала 135 в направлении по часовой стрелке (как показано посредством стрелки направления).

[0046] На фиг. 1D представлена иллюстрация приведенного в качестве примера отдельного поршня 125 в нижней мертвой точке (BDC) согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения. На фиг. 1D снова показан отдельный поршень 125 в BDC с открытым выпускным клапаном 110. Выпускной клапан 110 остается открытым до тех пор, пока отдельный поршень 125 не достигнет приблизительно TDC при отведении отработанного CO₂ из выпускного клапана 110, который является открытым.

[0047] На фиг. 2A–2D показана последовательность работы двух пар поршней, функционирующих вместе посредством возвратно-поступательного линейного колебательного движения попарно, для двигателя с любым четным количеством цилиндров, который содержит пару поршней согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения. В различных вариантах осуществления работа любых пар поршней в цилиндрическом двигателе показана на фиг. 2A–2B и фиг. 2C–2D. На фиг. 2A–2D показан левый поршень 205 в паре с правым поршнем 220 и средний левый поршень 210 в паре со средним правым поршнем 215. В различных вариантах осуществления при работе две пары поршней (например, левый поршень 205 в паре с правым поршнем 220 и средний левый поршень 210 в паре со средним правым поршнем 215) совершают возвратно-поступательное движение в парах для двигателя с четным количеством цилиндров, при этом поршни повторяются в последовательности от фиг. 2A–2B к фиг. 2C–2D и снова к фиг. 2A–2B к фиг. 2C–2D и т. д.

[0048] На фиг. 2A представлена иллюстрация приведенных в качестве примера поршней, совершающих возвратно-поступательное линейное колебательное движение попарно, согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения. На фиг. 2A показан левый поршень 205 в паре с правым поршнем 220, при этом оба из левого поршня 205 и правого поршня 220 достигают TDC, при этом левый поршень 205 обеспечивает отведение из клапана 305, а правый поршень 220 обеспечивает отведение из клапана 340. Одновременно средний левый поршень 210 в паре со средним правым поршнем 215 (т. е. совершающая возвратно-поступательное движение пара поршней) достигают BDC и центральной линии 225 коленчатого вала под положительным

давлением, вызванным инжектором (например, инжектором 115 по фиг. 1А и фиг. 1С), впрыскивающим расширяющийся CO_2 через область сопла перегрева (например, область 120 сопла по фиг. 1А и фиг. 1С). Опять же, в различных вариантах осуществления область сопла перегрева (например, область 120 сопла по фиг. 1А и фиг. 1С) может представлять собой всю область за инжектором (например, инжектором 115 по фиг. 1А и фиг. 1С), где сильное тепло передается scCO_2 , и может содержать любую часть объема мертвого пространства (CV), который может представлять собой прежнюю камеру сгорания ICE, работающего на углеводородном топливе, или всю его часть. На фиг. 2А дополнительно показаны закрытыми клапан 310, клапан 315, клапан 320, клапан 325, клапан 330 и клапан 335.

[0049] На фиг. 2В представлена другая иллюстрация приведенных в качестве примера поршней, совершающих возвратно-поступательное линейное колебательное движение попарно, согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения. На фиг. 2В показан средний левый поршень 210 в паре со средним правым поршнем 215, которые достигают TDC, при этом средний левый поршень 210 обеспечивает отведение из клапана 315 и средний правый поршень 215 обеспечивает отведение из клапана 330. Одновременно левый поршень 205 в паре с правым поршнем 220 (т. е. совершающая возвратно-поступательное движение пара поршней) достигают BDC и центральной линии 225 коленчатого вала под положительным давлением, вызванным инжектором (например, инжектором 115 по фиг. 1А и фиг. 1С), впрыскивающим расширяющийся CO_2 через область сопла перегрева (например, область 120 сопла по фиг. 1А и фиг. 1С). Опять же, в различных вариантах осуществления область сопла перегрева (например, область 120 сопла по фиг. 1А и фиг. 1С) может представлять собой всю область за инжектором (например, инжектором 115 по фиг. 1А и фиг. 1С), где сильное тепло передается scCO_2 , и может содержать любую часть объема мертвого пространства (CV), который может представлять собой прежнюю камеру сгорания ICE, работающего на углеводородном топливе, или всю его часть. На фиг. 2В дополнительно показаны закрытыми клапан 305, клапан 310, клапан 320, клапан 325, клапан 335 и клапан 340.

[0050] На фиг. 2С представлена иллюстрация приведенных в качестве примера поршней, совершающих возвратно-поступательное линейное колебательное движение попарно, согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения. На фиг. 2С показан левый поршень 205 в паре с правым поршнем 220, которые достигают TDC, при этом левый поршень 205 обеспечивает отведение из клапана 310 и правый поршень 220

обеспечивает отведение из клапана 335. Одновременно средний левый поршень 210 в паре со средним правым поршнем 215 (т. е. совершающая возвратно-поступательное движение пара поршней) достигают BDC и центральной линии 225 коленчатого вала под положительным давлением, вызванным инжектором (например, инжектором 115 по фиг. 1А и фиг. 1С), впрыскивающим расширяющийся CO_2 через область сопла перегрева (например, область 120 сопла по фиг. 1А и фиг. 1С). Опять же, в различных вариантах осуществления область сопла перегрева (например, область 120 сопла по фиг. 1А и фиг. 1С) может представлять собой всю область за инжектором (например, инжектором 115 по фиг. 1А и фиг. 1С), где сильное тепло передается scCO_2 , и может содержать любую часть объема мертвого пространства (CV), который может представлять собой прежнюю камеру сгорания ICE, работающего на углеводородном топливе, или всю его часть. На фиг. 2С дополнительно показаны закрытыми клапан 305, клапан 315, клапан 320, клапан 325, клапан 330 и клапан 340.

[0051] На фиг. 2D представлена другая иллюстрация приведенных в качестве примера поршней, совершающих возвратно-поступательное линейное колебательное движение попарно, согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения. На фиг. 2D показан средний левый поршень 210 в паре со средним правым поршнем 215, которые достигают TDC, при этом средний левый поршень 210 обеспечивает отведение из клапана 320 и средний правый поршень 215 обеспечивает отведение из клапана 325. Одновременно левый поршень 205 в паре с правым поршнем 220 (т. е. совершающая возвратно-поступательное движение пара поршней) достигают BDC и центральной линии 225 коленчатого вала под положительным давлением, вызванным инжектором (например, инжектором 115 по фиг. 1А и фиг. 1С), впрыскивающим расширяющийся CO_2 через область сопла перегрева (например, область 120 сопла по фиг. 1А и фиг. 1С). Опять же, в различных вариантах осуществления перегретая область сопла (например, область 120 сопла по фиг. 1А и фиг. 1С) может представлять собой всю область за инжектором (например, инжектором 115 по фиг. 1А и фиг. 1С), где сильное тепло передается scCO_2 , и может содержать любую часть объема мертвого пространства (CV), который может представлять собой прежнюю камеру сгорания ICE, работающего на углеводородном топливе (например, бензине, дизеле и т. п.), или всю его часть. На фиг. 2D дополнительно показаны закрытыми клапан 305, клапан 310, клапан 315, клапан 330, клапан 335 и клапан 340.

[0052] В различных вариантах осуществления настоящего изобретения сгорание отсутствует и больше нет необходимости втягивать воздух в поршневой двигатель через впускную систему и впускные клапаны для сгорания, и рабочий газ scCO_2 преобразуется в систему рециркуляции газа (CO_2), содержащую первый выпуск (здесь и далее «EX1») (например, выпускной клапан 105 на фиг. 1A–1D). Система рециркуляции газа (CO_2) разработана удовлетворить или превысить технические характеристики исходного выпуска, содержащего второй выпуск (здесь и далее «EX2») (например, выпускной клапан 110 на фиг. 1A–1D). В некоторых случаях все жесткие трубы, где это возможно, изготовлены из нержавеющей стали или другого подходящего сплава, чтобы свести к минимуму потенциальные проблемы с коррозией. EX1 и EX2 (например, выпускной клапан 105 и выпускной клапан 110 соответственно на фиг. 1A–1D) системы рециркуляции газа (CO_2) соединены ниже по потоку выпускных отверстий цилиндра, подходящим образом объединяя использованный CO_2 , охлаждая и значительно конденсируя газ (CO_2) перед подачей газа (CO_2) в относительно большого объема насос CO_2 с низким давлением, оптимизированный до требований системы. Этот насос с низким давлением направляет сжатый CO_2 в резервуар для хранения. Кроме того, CO_2 из этого резервуара для хранения дополнительно сжимается посредством вспомогательного компрессорного устройства газа высокого давления или подобного насоса и подается в «рампу для рабочей текучей среды», которая является общей рампой для топлива в бензиновом или дизельном двигателе. Кроме того, аккумулятор или ресивер высокого давления могут быть вставлены в линию перед «рампой для рабочей текучей среды» для увеличения доступного scCO_2 высокого давления, что необходимо для максимальных требований двигателя. Например, система рециркуляции диоксида углерода (CO_2) может содержать систему клапанов, соединенную по текучей среде с первым клапаном головки блока цилиндров (например, выпускным клапаном 105 на фиг. 1A–1D) и вторым клапаном головки блока цилиндров (например, выпускным клапаном 110 на фиг. 1A–1D) для сбора использованного диоксида углерода в резервуаре для хранения CO_2 , вмещающем использованный диоксид углерода посредством системы клапанов. Система рециркуляции диоксида углерода (CO_2) может дополнительно содержать вспомогательное компрессорное устройство газа высокого давления, соединенное по текучей среде с резервуаром для хранения CO_2 для повышения давления использованного диоксида углерода до сверхкритического состояния с образованием scCO_2 ; и рампу для рабочей текучей среды, соединяющую по текучей среде scCO_2 с инжектором для scCO_2 .

[0053] В различных вариантах осуществления ресинхронизация клапана облегчает двухтактный цикл, требуемый некоторыми вариантами осуществления, в отличие от четырехтактного цикла, требуемого ICE. В обычном четырехтактном двигателе форма кулачков на распределительном валу определяет, насколько быстро открывается клапан, насколько высоко открывается клапан, как долго клапан остается открытым (называется продолжительностью), но не когда клапан открывается. Например, «время открытия» управляется механическим позиционированием распределительного вала относительно положения поршня и координируется с использованием системы зубчатого ремня/цепи/шестерни, которая уже использовалась в большинстве ICE. Ничто в этом варианте осуществления не препятствует использованию клапанов с пневматическим, пьезоэлектрическим или соленоидным (или другим) приводом, независимо от того, являются ли они отдельными, парными или иными механически управляемыми клапанами, вместо клапанов, управляемых распределительным валом. Например, продолжая работу с приведенной в качестве примера моделью распределительного вала, в двухкулачковом двигателе (рядном двигателе) или четырехкулачковом двигателе (V-образном двигателе) распределительный вал (валы) EX2 может (могут) быть выполнен с возможностью пребывания в своем исходном положении относительно коленчатого вала и будет (будут) открывать выпускные клапаны на исходном такте выпуска. Это является желательным для этого двигателя. Исходный впускной распределительный вал обозначается как первый впускной распределительный вал (здесь и далее «кулачок EX1»), и его можно физически снять с головки блока цилиндров и повернуть относительно второго выпускного распределительного вала (здесь и далее кулачок EX2), чтобы облегчить открытие клапанов EX1, когда исходный ICE находится в своем такте сжатия (такт вверх от BDC), при этом поршень перемещается от центральной линии коленчатого вала (например, центральной линии 225 коленчатого вала на фиг. 2A–2D).

[0054] В различных вариантах осуществления, поскольку исходный впускной распределительный вал открыл исходные впускные клапаны приблизительно на один такт поршня (по направлению к центральной линии коленчатого вала в такте впуска), исходный впускной распределительный вал (кулачок EX1) может вращаться так, что исходные впускные клапаны открываются, когда цилиндр/поршень исходного четырехтактного двигателя ICE находится в исходном такте сжатия, когда поршень, как и в исходном такте выпуска, перемещается от центральной линии коленчатого вала.

Таким образом, посредством удерживания исходных впускных клапанов открытыми при такте вверх исходный выпуск теперь можно использовать в качестве выпуска (например, EX1).

[0055] В различных вариантах осуществления настоящего изобретения для двигателя с четным числом цилиндров поршни перемещаются (ближе к центральной линии коленчатого вала и дальше от нее) попарно для целей балансировки двигателя. В обычном ICE только один из поршней в паре находится в рабочем такте, когда два поршня приближаются к коленчатому валу, а другой находится в такте впуска, не производя мощность. Настоящее изобретение позволяет обоим поршням в паре одновременно находиться в рабочем такте, и они находятся в рабочем такте каждый второй такт, как это было в случае типичного двухтактного цикла, а не в каждом четвертом такте, как это было применимо к четырехтактному двигателю. Двухтактный вариант осуществления для каждого цилиндра: мощность, выпуск, повторение. Четырехтактный: впуск, сжатие, мощность, выпуск, повторение. Например, на фиг. 2A–2D показана последовательность работы двух пар поршней, функционирующих вместе посредством возвратно-поступательного линейного колебательного движения попарно, для двигателя с любым четным количеством цилиндров, который содержит пару поршней согласно различным вариантам осуществления настоящего изобретения, как описано выше. Например, последовательность является такой, как представлено на фиг. 2A–2B и фиг. 2C–2D, на которых показана последовательность работы двух пар поршней, функционирующих вместе посредством возвратно-поступательного линейного колебательного движения попарно), как описано выше.

[0056] В различных вариантах осуществления настоящего изобретения углеродных выбросов, получаемых в результате двух фактов, нет. Первый заключается в том, что топливо не сжигается. А второй в том, что это система с замкнутым контуром, в которой используется правильно нагретая рециркулирующая рабочая текучая среда (например, scCO_2), содержащая систему рециркуляции CO_2 , описанную в данном документе, вместо топлива. Электроэнергия, подаваемая извне, от батареи или конденсаторной батареи может обеспечить необходимую мощность для нагревания.

[0057] В некоторых вариантах осуществления существует необходимость в быстром расширении газа, и большое количество тепла должно быть направлено в непосредственную близость к впрыскиваемой рабочей текучей среде (например, scCO_2)

для оптимизации и контроля давлений в цилиндрах двигателя и, следовательно, выходной мощности. Оптимальная комбинация инжектора прямого впрыска/нагревателя для настоящего изобретения не рассматривается, кроме выражения того, что разработчик такой системы должен стремиться к обеспечению максимально быстрого расширения впрыскиваемого scCO_2 в рамках физических ограничений двигателя. Это оказывает наибольшее соразмерное усилие на поршень и крутящий момент на коленчатый вал. Опять же, в различных вариантах осуществления область сопла перегрева (например, область 120 сопла по фиг. 1А и фиг. 1С) может представлять собой всю область за инжектором (например, инжектором 115 по фиг. 1А и фиг. 1С), где сильное тепло передается scCO_2 , и может содержать любую часть объема мертвого пространства (CV), который может представлять собой прежнюю камеру сгорания ICE, работающего на углеводородном топливе, или всю его часть.

[0058] В различных вариантах осуществления настоящее изобретение представляет собой устройство для снижения содержания CO_2 , которое можно использовать для целей «углеродного кредита». В некоторых случаях для оптимизации потока газа в цилиндры и из них могут использоваться специальные распределительные валы. Любая ориентация кулачка распределительного вала, облегчающая функционирование того, что изначально предусматривалось четырехтактным спроектированным двигателем, в двухтактную конфигурацию описана в различных вариантах осуществления настоящего изобретения.

[0059] В различных вариантах осуществления настоящего изобретения преимуществом является снижение потерь на трение, связанных с наполнением и опорожнением цилиндра (составляющих около сорока процентов всех потерь на трение двигателя согласно «Рикардо» – высокоскоростному двигателю внутреннего сгорания). Например, поскольку отсутствует такт сжатия, связанные с ним потери исключаются. Например, максимальная скорость поршня в типичном двухтактном двигателе составляет две тысячи футов в минуту, после чего он теряет способность пропускать больше воздуха, в то время как максимальная скорость поршня четырехтактного двигателя составляет около двух тысяч пятисот футов в минуту. Различные варианты осуществления настоящего изобретения, описанные как двухтактные, имеют преимущество, заключающееся в этих связанных с четырехтактным двигателем преимуществах расхода. Трехцилиндровые двигатели и пятицилиндровые двигатели не имеют пар поршней, движущихся вместе, и поэтому не получают пользу от одновременного нахождения двух

поршней в рабочем такте, но получают пользу от описанных в данном документе характеристик двухтактного цикла.

[0060] В различных вариантах осуществления настоящего изобретения общие выбросы CO₂ снижаются в глобальном масштабе, поскольку благодаря настоящему изобретению устраняются выбросы CO₂ из поршневых двигателей, оснащенных этой технологией, в отличие от других двигателей внутреннего сгорания (ICE), которым требуется углеводородное топливо (например, дизельное топливо, бензин, CNG, спирт и т. п.). Кроме того, благодаря настоящему изобретению также устраняются оксиды азота. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления настоящее изобретение удовлетворяет запросам и/или требованиям правительства по сокращению выбросов.

[0061] В вариантах осуществления настоящего изобретения ICE, работающие на углеводородном топливе, могут быть преобразованы с использованием настоящего изобретения для получения нулевых выбросов, что достигается за счет устранения необходимости в сгорании за счет замены давления расширения горючего газа (силы, воздействующей на поршень) давлением расширения газа scCO₂ (силой, воздействующей на поршень). Например, в вариантах осуществления настоящего изобретения отсутствуют выбросы, поскольку CO₂ рециркулирует в системе с замкнутым контуром. Как раскрыто в данном документе, устранение необходимости для двигателя всасывать кислород для сгорания (т. е. «вдыхать») создает возможность использования ранее требуемого такта впуска в ICE, работающем на углеводородном топливе, в качестве рабочего такта, тем самым производя два рабочих такта для каждого отдельного рабочего такта, который будет производить один и тот же двигатель, если он работает как ICE, работающий на углеводородном топливе.

[0062] Несмотря на то, что это изобретение допускает варианты осуществления во многих разных формах, на графических материалах показано и подробно описано несколько конкретных вариантов осуществления с пониманием того, что настоящее изобретение следует рассматривать как иллюстрацию принципов изобретения и что оно не предназначено для ограничения технологии проиллюстрированными вариантами осуществления. Хотя термины «первый», «второй» и т. д. могут использоваться в данном документе для описания различных элементов, компонентов, областей, слоев и/или секций, эти элементы, компоненты, области, слои и/или секции не обязательно должны ограничиваться такими терминами. Эти термины используются только для того,

чтобы отличить один элемент, компонент, область, слой или секцию от другого элемента, компонента, области, слоя или секции. Таким образом, первый элемент, компонент, область, слой или секция, обсуждаемые ниже, могут быть названы вторым элементом, компонентом, областью, слоем или секцией, не выходя за рамки принципов настоящего изобретения.

[0063] Используемая в данном документе терминология предназначена только для целей описания конкретных вариантов осуществления и не предназначена для обязательного ограничения настоящего изобретения. Используемые в данном документе формы единственного числа предназначены также для включения форм множественного числа, если в контексте явно не указано иное. Термины «содержит», «включает» и/или «содержащий», «включающий», когда они используются в данном техническом описании, определяют наличие заявленных признаков, целых чисел, этапов, операций, элементов и/или компонентов, но не исключают наличие или добавление одного или более других признаков, целых чисел, этапов, операций, элементов, компонентов и/или их групп. Приведенные в качестве примера варианты осуществления настоящего изобретения описаны в данном документе со ссылкой на иллюстрации идеализированных вариантов осуществления (и промежуточных структур) настоящего изобретения. Таким образом, следует ожидать изменений в формах иллюстраций в результате, например, технологий изготовления и/или допусков. Таким образом, приведенные в качестве примера варианты осуществления настоящего изобретения не следует рассматривать как обязательно ограниченные конкретными формами областей, проиллюстрированных в данном документе, но они должны включать отклонения в формах, возникающие, например, в результате изготовления.

[0064] Любой и/или все элементы, как раскрыто в данном документе, могут быть сформированы из одной и той же непрерывной по конструкции детали, например, быть цельными, и/или быть изготовленными отдельно, и/или быть соединенными, например, представлять собой сборку и/или модули. Любой и/или все элементы, как раскрыто в данном документе, могут быть изготовлены с использованием любых процессов изготовления, будь то аддитивное изготовление, субтрактивное изготовление и/или любые другие типы изготовления. Например, некоторые процессы изготовления включают трехмерную (3D) печать, лазерную резку, фрезерование с числовым программным управлением (CNC), вальцевание, прессование, штамповку, вакуумное формование, гидроформование, литье под давлением, литографию и/или другое.

[0065] Любой и/или все элементы, как раскрыто в данном документе, могут включать частично и/или полностью твердое тело, включая металл, минерал, керамику, аморфное твердое вещество, такое как стекло, стеклокерамика, органическое твердое вещество, такое как древесина и/или полимер, такой как каучук, композитный материал, полупроводник, наноматериал, биоматериал и/или любые их комбинации. Любой и/или все элементы, как раскрыто в данном документе, могут включать частично и/или полностью покрытие, включая информационное покрытие, такое как чернила, клейкое покрытие, покрытие расплавляющимся клеем, такое как вакуумное уплотнение и/или термосварка, антиадгезионное покрытие, такое как ленточная прокладка, покрытие с низкой поверхностной энергией, оптическое покрытие, такое как оттенок, цвет, отлив, насыщенность, тон, тень, прозрачность, полупрозрачность, непрозрачность, люминесценция, антибликовое покрытие и/или голографическое покрытие, светочувствительное покрытие, покрытие с электронными и/или тепловыми свойствами, например для пассивности, изоляции, сопротивления или проводимости, магнитное покрытие, водостойкое и/или водонепроницаемое покрытие, ароматическое покрытие и/или любые их комбинации.

[0066] Если не определено иное, все термины (включая технические и научные термины), используемые в данном документе, имеют то же значение, которое обычно понимается специалистом в данной области техники, к которой относится настоящее изобретение. Термины, такие как те, которые определены в широко используемых словарях, должны интерпретироваться как имеющие значение, которое согласуется с их значением в контексте соответствующей области техники, и не должны интерпретироваться в идеализированном и/или чрезмерно формальном смысле, если это прямо не определено в данном документе. Кроме того, относительные термины, такие как «ниже», «нижний», «выше» и «верхний», могут использоваться в данном документе для описания отношения одного элемента к другому элементу, как проиллюстрировано на прилагаемых графических материалах. Такие относительные термины предназначены для охвата разных ориентаций проиллюстрированных технологий в дополнение к ориентации, изображенной на прилагаемых графических материалах. Например, если устройство на прилагаемых графических материалах перевернуто, то элементы, описанные как находящиеся на «нижней» стороне других элементов, будут в таком случае ориентированы на «верхние» стороны других элементов. Точно так же, если устройство на одной из фигур перевернуто, элементы, описанные как «ниже» или

«под» другими элементами, будут в таком случае ориентированы «над» другими элементами. Таким образом, приведенные в качестве примера термины «ниже» и «нижний» могут охватывать как ориентацию выше, так и ориентацию ниже.

[0067] Описание настоящего изобретения было представлено в целях иллюстрации и описания, но не предназначено быть исчерпывающим или ограниченным настоящим раскрытием в раскрытой форме. Специалистам в данной области техники будут очевидны многие модификации и вариации, не выходящие за рамки объема и сущности настоящего изобретения. Приведенные в качестве примера варианты осуществления были выбраны и описаны для того, чтобы наилучшим образом объяснить принципы настоящего изобретения и его практическое применение, а также чтобы другие специалисты в данной области техники могли понять настоящее изобретение для различных вариантов осуществления с различными модификациями, подходящими для конкретного предполагаемого использования. Хотя выше были описаны различные варианты осуществления, следует понимать, что они представлены только в качестве примера, а не ограничения. Описания не предназначены для ограничения объема технологии конкретными формами, изложенными в данном документе. Таким образом, широта и объем предпочтительного варианта осуществления не должны ограничиваться каким-либо из вышеописанных приведенных в качестве примера вариантов осуществления.

[0068] Следует понимать, что приведенное выше описание является иллюстративным, а не ограничительным. Напротив, настоящее описание предназначено для охвата таких альтернатив, модификаций и эквивалентов, которые могут быть включены в сущность и объем изобретения, как определено прилагаемой формулой изобретения и иным образом оценено специалистом в данной области техники. Следовательно, объем изобретения следует определять не со ссылкой на вышеприведенное описание, а вместо этого следует определять со ссылкой на прилагаемую формулу изобретения вместе с ее полным объемом эквивалентов.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода (scCO_2) в качестве рабочей текучей среды, при этом система поршневого двигателя с замкнутым контуром содержит:

инжектор для scCO_2 для впрыскивания scCO_2 в цилиндр;

область сопла перегрева для предоставления тепла во впрыснутый scCO_2 ;

первый клапан головки блока цилиндров этого цилиндра, при этом первый клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2);

второй клапан головки блока цилиндров этого цилиндра, при этом второй клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2);

поршень, перемещающийся в цилиндре и соединенный с коленчатым валом, при этом поршень приводится в движение к центральной линии коленчатого вала во время рабочего такта с использованием шатуна и обеспечивает вращение коленчатого вала с обеспечением при этом одного рабочего такта за вращение коленчатого вала и получением при этом двух рабочих тактов на каждый отдельный рабочий такт, который аналогичный двигатель производил бы, если бы он работал в качестве двигателя внутреннего сгорания, работающего на углеводородном топливе; и

систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2), содержащую:

систему клапанов, соединенную по текучей среде с первым клапаном головки блока цилиндров и вторым клапаном головки блока цилиндров для сбора использованного диоксида углерода;

резервуар для хранения CO_2 , вмещающий использованный диоксид углерода посредством системы клапанов;

вспомогательное компрессорное устройство газа высокого давления, соединенное по текучей среде с резервуаром для хранения CO_2 для повышения давления использованного диоксида углерода до сверхкритического состояния с образованием scCO_2 ; и

рампу для рабочей текучей среды, по текучей среде соединяющую scCO_2 с инжектором для scCO_2 .

2. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 1, отличающаяся тем, что система рециркуляции диоксида углерода (CO_2) рециркулирует использованный диоксид углерода, и выбросы диоксида углерода из системы поршневого двигателя с замкнутым контуром отсутствуют.

3. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 1, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода (scCO_2) в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания; и

при этом инжектор для scCO_2 для впрыскивания scCO_2 в цилиндр представляет собой нагретый инжектор прямого впрыска, размещенный в месте отверстия для свечи зажигания переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.

4. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 1, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода (scCO_2) в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания; и

при этом область сопла перегрева для предоставления тепла во впрыснутый scCO_2 представляет собой область за инжектором для scCO_2 , при этом область за инжектором для scCO_2 является местом, где сильное тепло передается scCO_2 , включая объем мертвого пространства (CV) камеры сгорания переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.

5. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 1, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода (scCO_2) в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания;

при этом первый клапан головки блока цилиндров, соединенный по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2), представляет собой впускной клапан переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания; и

при этом второй клапан головки блока цилиндров, соединенный по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2), представляет собой выпускной клапан переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.

6. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции газа со сверхкритическим газом в качестве рабочей текучей среды, при этом система поршневого двигателя с замкнутым контуром содержит:

инжектор для сверхкритического газа для впрыскивания сверхкритического газа в цилиндр;

область сопла перегрева для предоставления тепла во впрыснутый сверхкритический газ;

первый клапан головки блока цилиндров этого цилиндра, при этом первый клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции газа;

второй клапан головки блока цилиндров этого цилиндра, при этом второй клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции газа;

поршень, перемещающийся в цилиндре и соединенный с коленчатым валом, при этом поршень приводится в движение к центральной линии коленчатого вала во время рабочего такта с использованием шатуна и обеспечивает вращение коленчатого вала с обеспечением при этом одного рабочего такта за вращение коленчатого вала и получением при этом двух рабочих тактов на каждый отдельный рабочий такт, который аналогичный двигатель производил бы, если бы он работал в качестве двигателя внутреннего сгорания, работающего на углеводородном топливе; и

при этом система рециркуляции газа содержит:

систему клапанов, соединенную по текучей среде с первым клапаном головки блока цилиндров и вторым клапаном головки блока цилиндров для сбора использованного газа;

при этом резервуар для хранения газа вмещает использованный газ посредством системы клапанов;

вспомогательное компрессорное устройство газа высокого давления, по текучей среде соединяющееся с резервуаром для хранения газа для повышения давления использованного газа до сверхкритического состояния с образованием сверхкритического газа; и

рампу для рабочей текучей среды, по текучей среде соединяющую сверхкритический газ с инжектором для сверхкритического газа.

7. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 6, отличающаяся тем, что система рециркуляции газа рециркулирует использованный газ, и выбросы газа из системы поршневого двигателя с замкнутым контуром отсутствуют.

8. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 6, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции газа со сверхкритическим газом в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания; и

при этом инжектор для сверхкритического газа для впрыскивания сверхкритического газа в цилиндр представляет собой нагретый инжектор прямого впрыска, размещенный в месте отверстия для свечи зажигания переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.

9. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 6, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции газа со сверхкритическим газом в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания; и

при этом область сопла перегрева для предоставления тепла во впрыснутый сверхкритический газ представляет собой область за инжектором для сверхкритического газа, при этом область за инжектором для сверхкритического газа является местом, где сильное тепло передается сверхкритическому газу, включая объем мертвого

пространства (CV) камеры сгорания переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.

10. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 6, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции газа со сверхкритическим газом в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания;

при этом первый клапан головки блока цилиндров, соединенный по текучей среде с системой рециркуляции газа, представляет собой впускной клапан переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания; и

при этом второй клапан головки блока цилиндров, соединенный по текучей среде с системой рециркуляции газа, представляет собой выпускной клапан переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.

11. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода (scCO_2) в качестве рабочей текучей среды, при этом система поршневого двигателя с замкнутым контуром содержит:

инжектор для scCO_2 для впрыскивания scCO_2 в первый цилиндр из нескольких цилиндров;

область сопла перегрева для предоставления тепла во впрыснутый scCO_2 ;

первый клапан головки блока цилиндров первого цилиндра, при этом первый клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2);

второй клапан головки блока цилиндров первого цилиндра, при этом второй клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2);

несколько поршней, каждый из которых соединен с коленчатым валом, при этом каждый из нескольких поршней приводится в движение к центральной линии коленчатого вала во время рабочего такта с использованием шатуна и обеспечивает вращение коленчатого вала с обеспечением при этом одного рабочего такта за вращение коленчатого вала и

получением при этом двух рабочих тактов на каждый отдельный рабочий такт, который аналогичный двигатель производил бы, если бы он работал в качестве двигателя внутреннего сгорания, работающего на углеводородном топливе; и

систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2), содержащую:

систему клапанов, соединенную по текучей среде с первым клапаном головки блока цилиндров первого цилиндра и вторым клапаном головки блока цилиндров первого цилиндра для сбора использованного диоксида углерода;

резервуар для хранения CO_2 , вмещающий использованный диоксид углерода посредством системы клапанов;

вспомогательное компрессорное устройство газа высокого давления, соединенное по текучей среде с резервуаром для хранения CO_2 для повышения давления использованного диоксида углерода до сверхкритического состояния с образованием scCO_2 ; и

рампу для рабочей текучей среды, по текучей среде соединяющую scCO_2 с инжектором для scCO_2 .

12. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 11, отличающаяся тем, что система рециркуляции диоксида углерода (CO_2) рециркулирует использованный диоксид углерода, и выбросы диоксида углерода из системы поршневого двигателя с замкнутым контуром отсутствуют.

13. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 11, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода (scCO_2) в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания; и

при этом инжектор для scCO_2 для впрыскивания scCO_2 в цилиндр представляет собой нагретый инжектор прямого впрыска, размещенный в месте отверстия для свечи зажигания переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.

14. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 11, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода (scCO_2) в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания; и

при этом область сопла перегрева для предоставления тепла во впрыснутый scCO_2 представляет собой область за инжектором для scCO_2 , при этом область за точкой впрыска scCO_2 является местом, где сильное тепло передается scCO_2 , включая объем мертвого пространства (CV) камеры сгорания переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.

15. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 11, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции диоксида углерода (CO_2) со сверхкритическим диоксидом углерода (scCO_2) в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания;

при этом первый клапан, соединенный по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2), представляет собой впускной клапан переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания; и

при этом второй клапан, соединенный по текучей среде с системой рециркуляции диоксида углерода (CO_2), представляет собой выпускной клапан переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.

16. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 11, отличающаяся тем, что несколько поршней содержат пары поршней, функционирующих вместе посредством возвратно-поступательного линейного колебательного движения попарно, при этом пары поршней одновременно находятся в рабочем такте с обеспечением при этом одного рабочего такта для поршня за вращение коленчатого вала, получая при этом два рабочих такта для каждого отдельного рабочего такта, который аналогичный двигатель производил бы, если бы он работал в качестве двигателя внутреннего сгорания, работающего на углеводородном топливе.

17. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции газа со сверхкритическим газом в качестве рабочей текучей среды, при этом система поршневого двигателя с замкнутым контуром содержит:

инжектор для сверхкритического газа для впрыскивания сверхкритического газа в первый цилиндр из нескольких цилиндров;

область сопла перегрева для предоставления тепла во впрыснутый сверхкритический газ;

первый клапан головки блока цилиндров первого цилиндра, при этом первый клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции газа;

второй клапан головки блока цилиндров первого цилиндра, при этом второй клапан соединен по текучей среде с системой рециркуляции газа;

несколько поршней, каждый из которых соединен с коленчатым валом, при этом несколько поршней приводятся в движение к центральной линии коленчатого вала во время рабочего такта с использованием шатуна и обеспечивают вращение коленчатого вала с обеспечением при этом одного рабочего такта за вращение коленчатого вала и получением при этом двух рабочих тактов на каждый отдельный рабочий такт, который аналогичный двигатель производил бы, если бы он работал в качестве двигателя внутреннего сгорания, работающего на углеводородном топливе; и

при этом система рециркуляции газа содержит:

систему клапанов, соединенную по текучей среде с первым клапаном головки блока цилиндров первого цилиндра и вторым клапаном головки блока цилиндров первого цилиндра для сбора использованного газа и рециркуляции использованного газа;

резервуар для хранения газа, вмещающий использованный газ посредством системы клапанов;

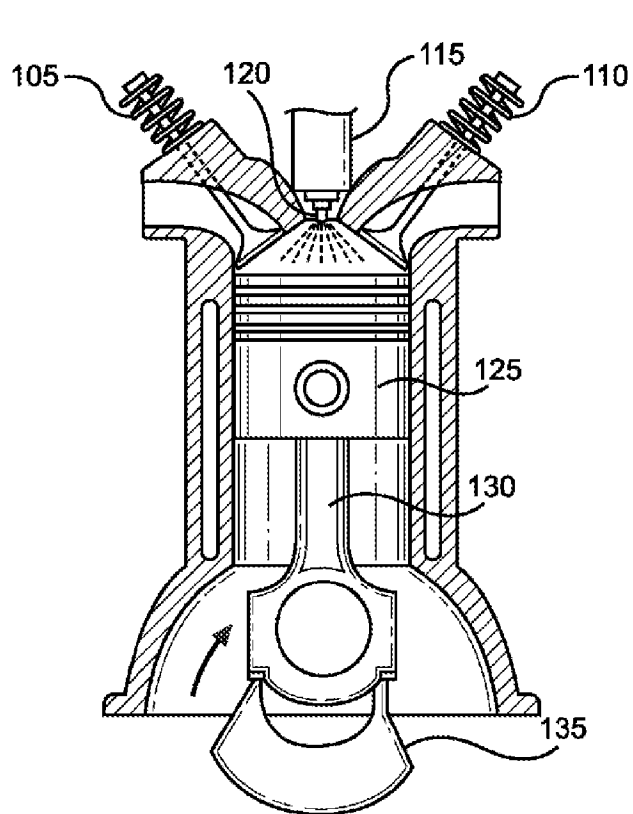
вспомогательное компрессорное устройство газа высокого давления, по текучей среде соединяющееся с резервуаром для хранения газа для повышения давления использованного газа до сверхкритического состояния с образованием сверхкритического газа; и

рампу для рабочей текучей среды, по текучей среде соединяющую сверхкритический газ с инжектором для сверхкритического газа.

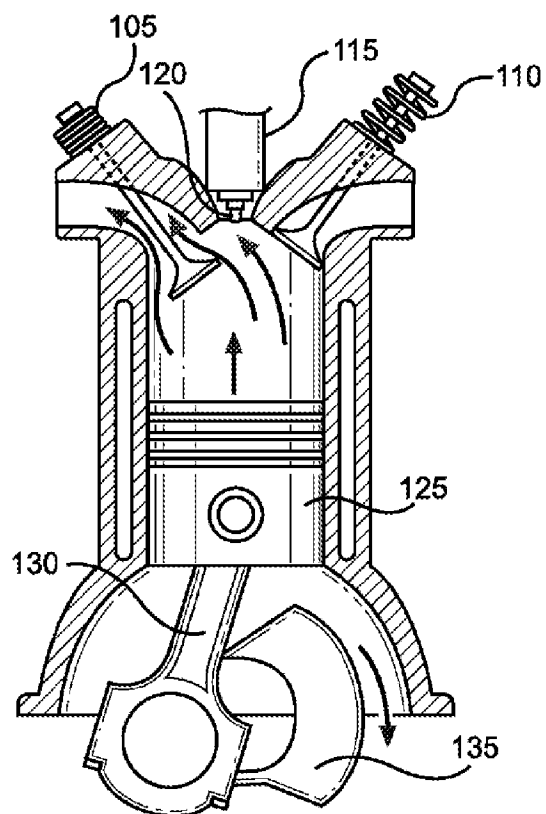
18. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 17, отличающаяся тем, что система рециркуляции газа рециркулирует использованный газ, и выбросы газа из системы поршневого двигателя с замкнутым контуром отсутствуют.

19. Система поршневого двигателя с замкнутым контуром по п. 17, отличающаяся тем, что система поршневого двигателя с замкнутым контуром, использующая систему рециркуляции газа со сверхкритическим газом в качестве рабочей текучей среды, представляет собой переконфигурированный углеводородный двигатель внутреннего сгорания; и

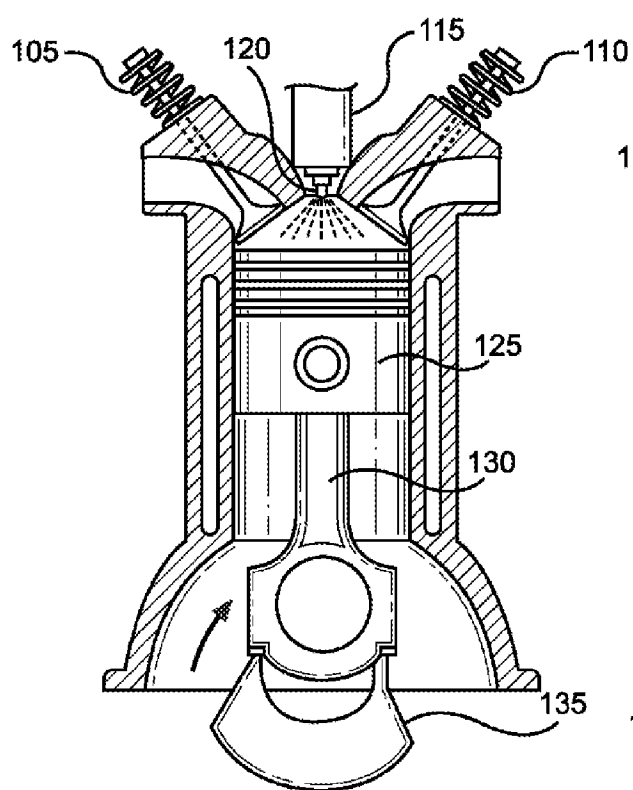
при этом инжектор для сверхкритического газа для впрыскивания сверхкритического газа в цилиндр представляет собой нагретый инжектор прямого впрыска, размещенный в месте отверстия для свечи зажигания переконфигурированного углеводородного двигателя внутреннего сгорания.



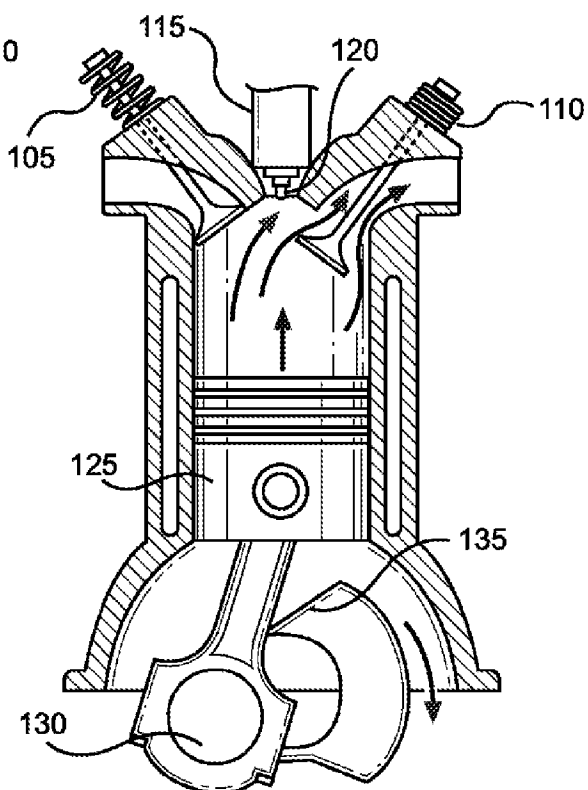
Фиг. 1А



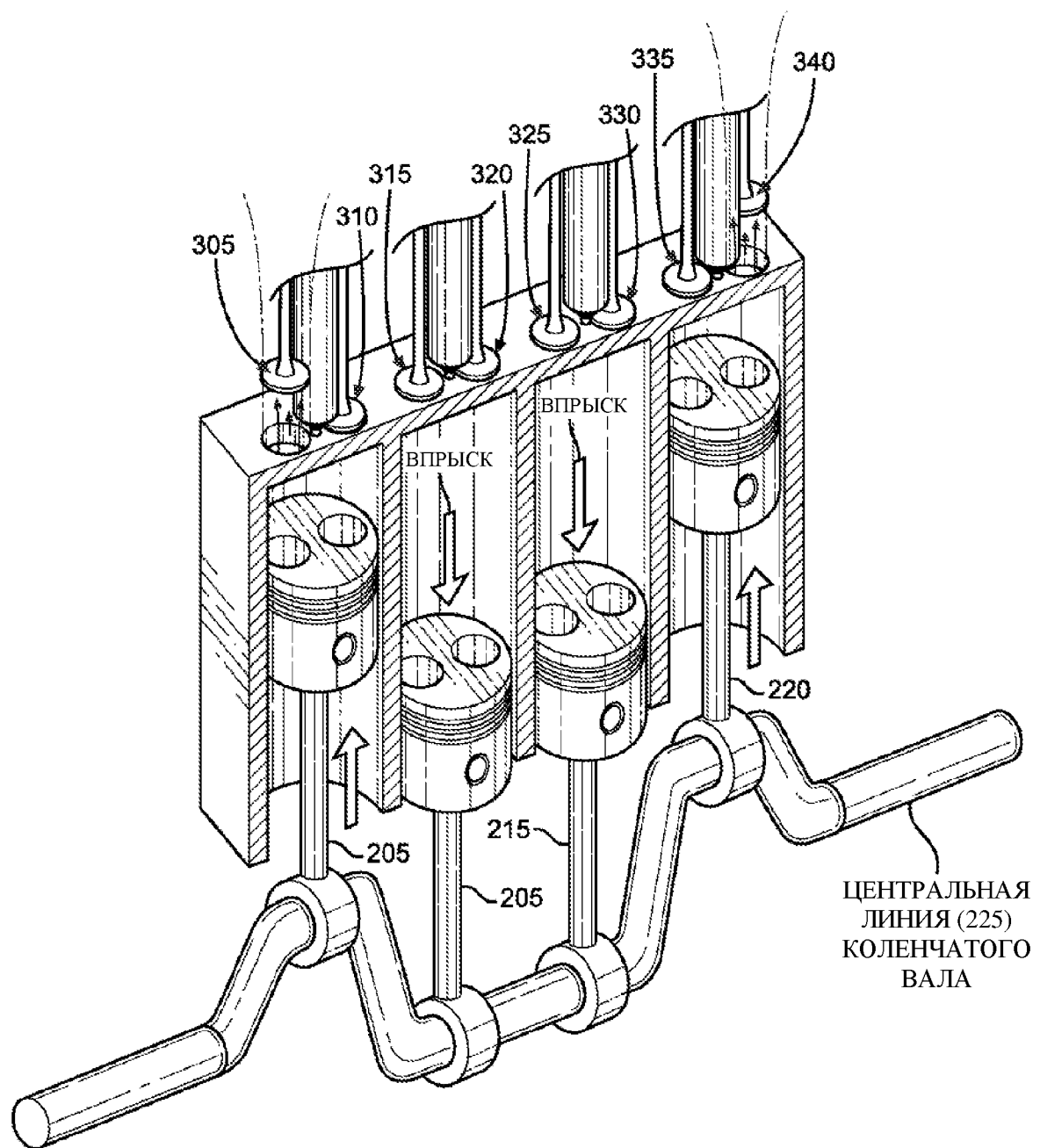
Фиг. 1В



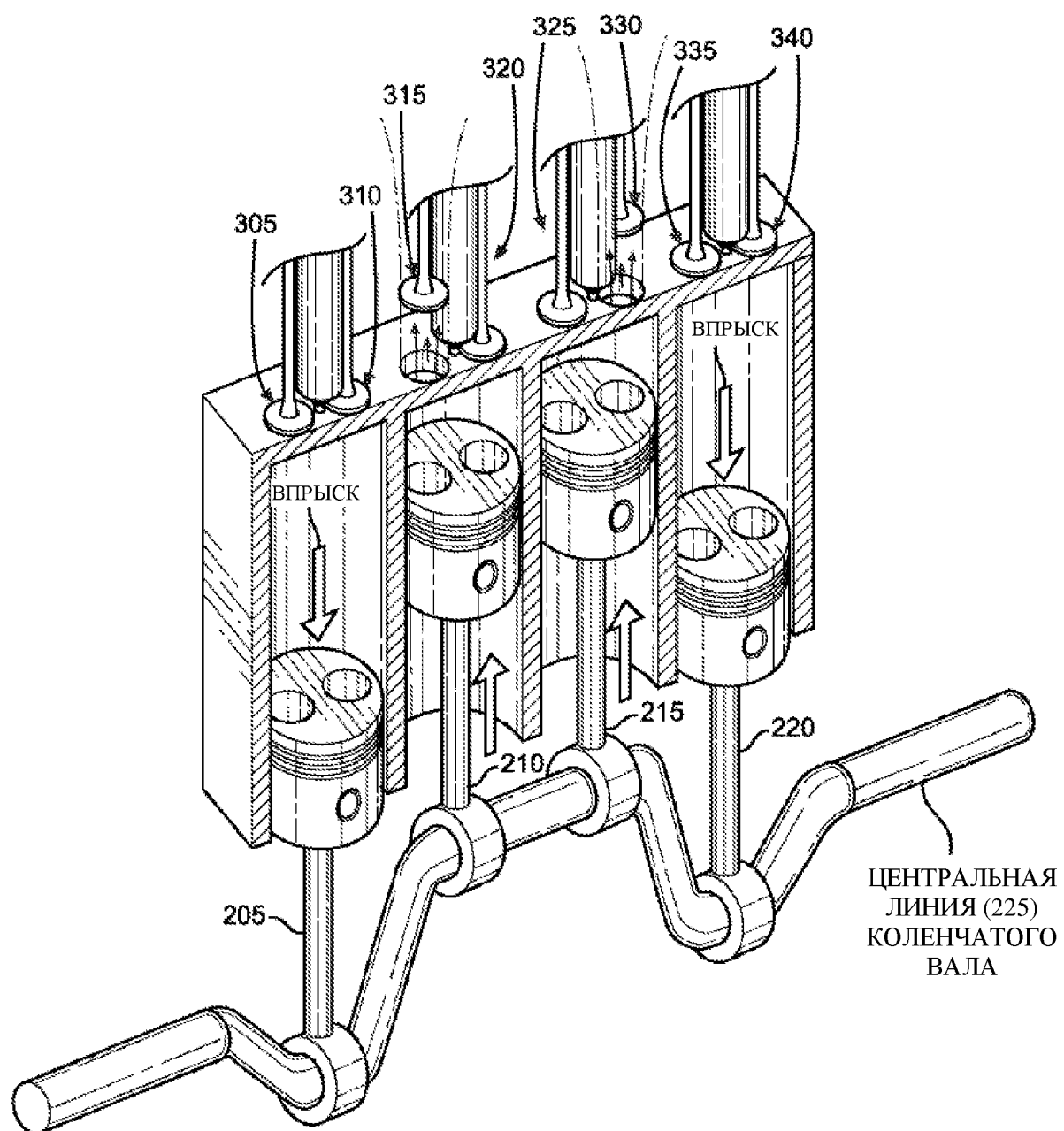
Фиг. 1С



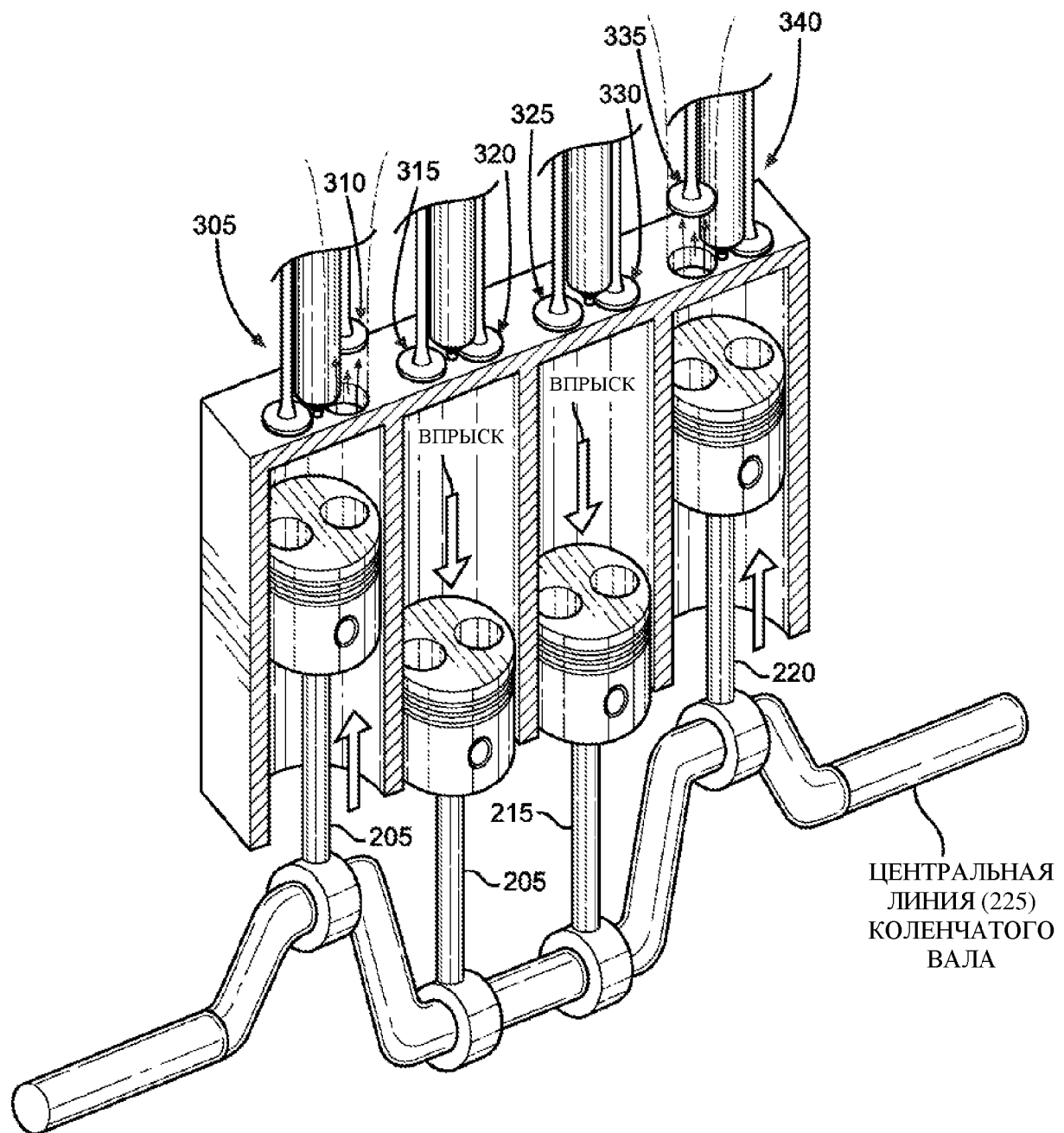
Фиг. 1D



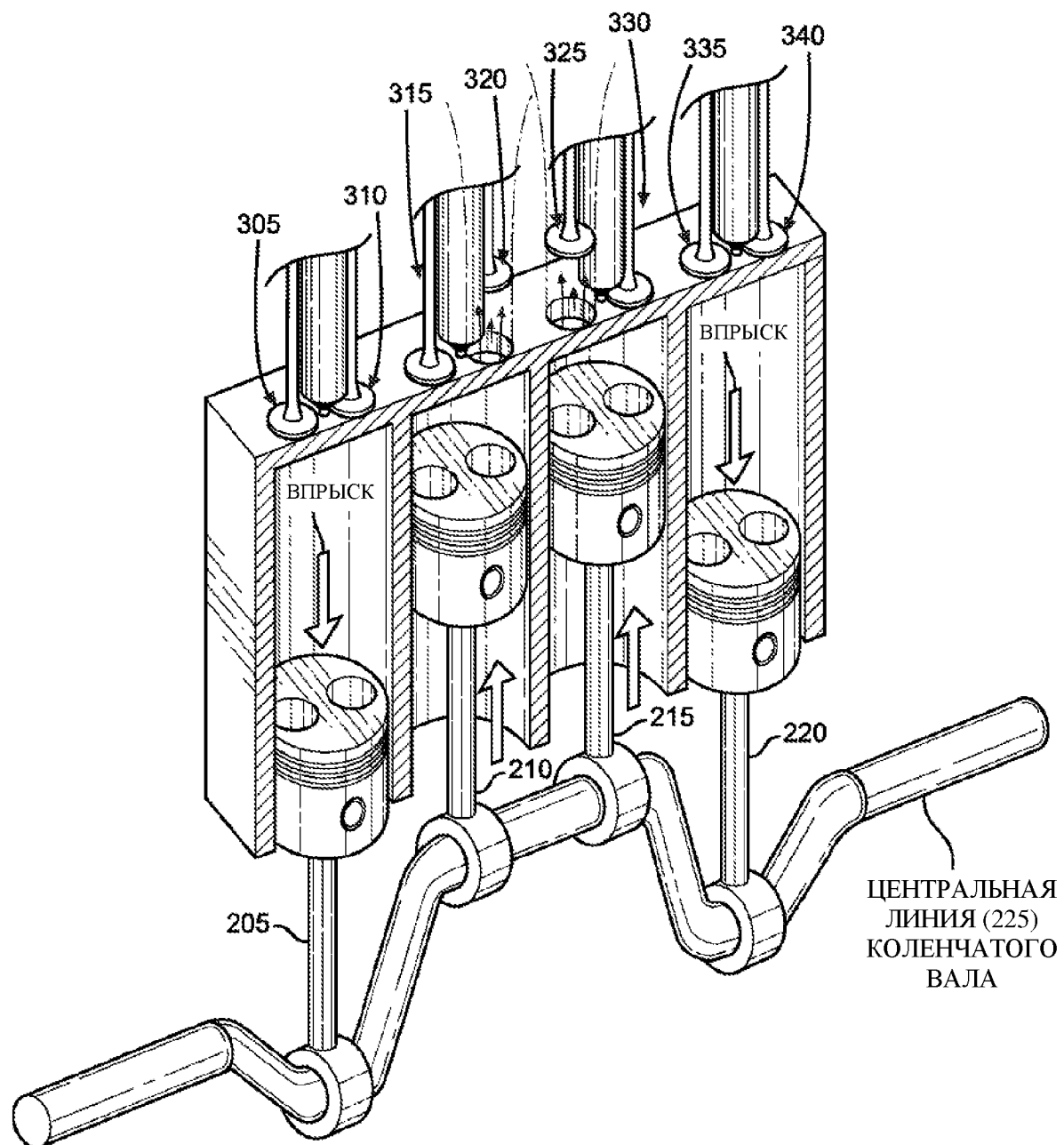
Фиг. 2А



Фиг. 2В



Фиг. 2С



Фиг. 2D