

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2435047

### ДВИГАТЕЛЬ С РАЗДЕЛЕННЫМ ЦИКЛОМ СО СПИРАЛЬНЫМ ПЕРЕПУСКНЫМ КАНАЛОМ

Патентообладатель(ли): *СКАДЕРИ ГРУП, ЭлЭлСи (US)*

Автор(ы): *ТАССИНГ Марк (US), ЛИ Вэй (US), РОБЕРТС Гарет (US)*

Заявка № 2010100790

Приоритет изобретения 07 августа 2007 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 ноября 2011 г.

Срок действия патента истекает 11 июня 2028 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК  
*F02B 41/00* (2006.01)  
*F02B 33/22* (2006.01)  
*F02B 33/44* (2006.01)  
*F02F 1/42* (2006.01)

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2010100790/06, 11.06.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.06.2008

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
07.08.2007 US 60/963,742

(45) Опубликовано: 27.11.2011 Бюл. № 33

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2286470 C2, 27.10.2006. SU 741808 A3,  
30.11.1987. SU 1455001 A1. 30.01.1989. US  
4565167 A, 21.01.1986. US 3945363 A,  
23.03.1976.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 09.03.2010

(86) Заявка РСТ:  
US 2008/007332 (11.06.2008)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2009/020491 (12.02.2009)

Адрес для переписки:

119034, Москва, Пречистенский пер., д.14,  
стр. 1, 4 этаж, "Гоулингз Интернэшнл ИНК.",  
В.Н.Дементьеву

(72) Автор(ы):

ТАССИНГ Марк (US),  
ЛИ Вэй (US),  
РОБЕРТС Гарет (US)

(73) Патентообладатель(и):

СКАДЕРИ ГРУП, ЭлЭлСи (US)

RU 2 435 047 C2

RU 2 435 047 C2

**(54) ДВИГАТЕЛЬ С РАЗДЕЛЕННЫМ ЦИКЛОМ СО СПИРАЛЬНЫМ ПЕРЕПУСКНЫМ КАНАЛОМ**

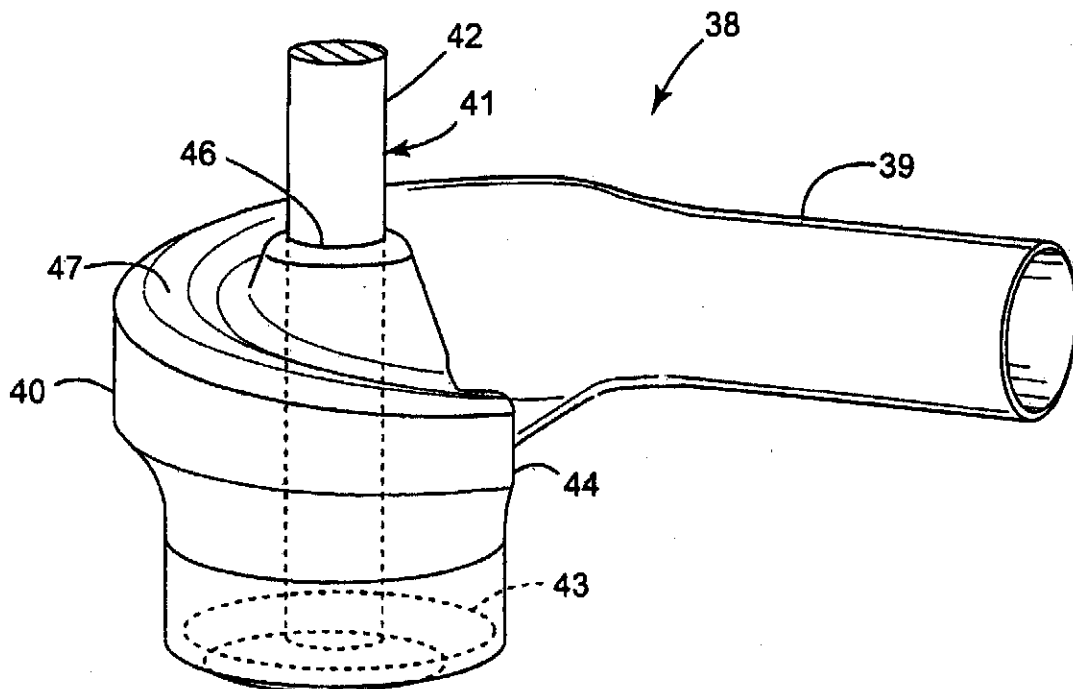
(57) Реферат:

Изобретение относится к двигателям внутреннего сгорания (ДВС) с разделенным циклом, в которых используется цилиндр сжатия и цилиндр расширения, соединенные друг с другом перепускными каналами. ДВС с разделенным циклом содержит коленчатый вал (52), цилиндры сжатия (66) и расширения (68), поршни сжатия (72) и расширения (74), спиральный перепускной канал (38). Поршень сжатия (72) осуществляет такты впуска и сжатия за один оборот коленчатого вала (52). Поршень

расширения (74) осуществляет такты расширения и выпуска за один оборот коленчатого вала (52). Спиральный перепускной канал (38) соединяет цилиндры сжатия (66) и расширения (68). Спиральный перепускной канал (38) содержит перепускные клапана сжатия и расширения (41), прямолинейную (39) и оконечную (40) части. Между перепускными клапанами сформирована полость высокого давления. Перепускной клапан расширения (41) содержит шток (42) и головку (43). Прямолинейная часть (39) расположена в оконечной секции

спирального перепускного канала (38). Спиральная оконечная часть (44) составляет единое целое с прямолинейной (39). Спиральная оконечная часть (40) расположена над перепускным клапаном расширения (41). Спиральная оконечная часть (40) представляет собой воронку (44). Воронка (44) закручивается вокруг штока (42). Так же в изобретении представлен ДВС, содержащий два тангенциальных спиральных перепускных канала (78). Каналы (78) соединяют цилиндры

сжатия (66) и расширения (68). Каждый тангенциальный спиральный перепускной канал содержит перепускные клапана (84, 86), прямолинейную тангенциальную часть (100) и спиральную оконечную часть (102). Спиральные оконечные части (102) закручиваются в одном направлении. Технический результат заключается в быстром развитии движения горючей смеси, ее быстром смешивании и распределением перед началом сгорания. 2 н. и 14 з.п. ф-лы, 11 ил.



Фиг. 2

RU 2435047 C2

RU 2435047 C2

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к двигателям внутреннего сгорания. Более конкретно, настоящее изобретение относится к двигателям с разделенным циклом, в которых используется цилиндр сжатия и цилиндр расширения, соединенные друг с другом перепускными каналами с тангенциальными и спиральными частями.

## ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Для ясности, термин "обычный двигатель", используемый в настоящем описании, означает двигатель внутреннего сгорания, в котором все четыре такта хорошо известного цикла Отто, то есть впуск, сжатие, расширение (рабочий ход) и выпуск, выполняются каждой парой цилиндр/поршень двигателя. Также, для ясности, следующее определение предлагается для термина "двигатель с разделенным циклом", относящегося к уже известным двигателям, а также к двигателю, являющемуся объектом настоящего изобретения.

Двигатель с разделенным циклом, указываемый в настоящем описании, содержит: коленчатый вал, установленный с возможностью вращения вокруг оси коленчатого вала;

поршень сжатия, установленный в цилиндре сжатия с возможностью скольжения в нем и функционально соединенный с коленчатым валом, так что поршень сжатия совершает возвратно-поступательное движение, осуществляя такты впуска и сжатия за один оборот коленчатого вала;

поршень расширения (рабочего хода), установленный в цилиндре расширения с возможностью скольжения в нем и функционально соединенный с коленчатым валом, так что поршень расширения совершает возвратно-поступательное движение, осуществляя такты расширения и выпуска за один оборот коленчатого вала; и

перепускной канал (проход), который соединяет цилиндры сжатия и расширения и содержит перепускной клапан сжатия и перепускной клапан расширения с полостью высокого давления, сформированной между ними.

В патенте США №6543225, выданном 8.04.2003 Carmelo J. Scuderi, содержится подробное описание двигателей с разделенным циклом и аналогичных конструкций. Кроме того, в указанном патенте раскрываются подробности предыдущего варианта двигателя, дальнейшее улучшение которого предлагается в настоящем изобретении.

На фигуре 1 представленный вариант осуществления идеи двигателя с разделенным циклом, предложенным ранее и описанным в патенте США №6543225, обозначен в целом ссылочным номером 10. В двигателе 10 с разделенным циклом два соседних цилиндра обычного четырехтактного двигателя заменяются одним цилиндром 12 сжатия и одним цилиндром 14 расширения. Эти два цилиндра 12, 14 выполняют свои функции один раз за оборот коленчатого вала 16. Всасываемый воздух и топливо вводятся в цилиндр 12 сжатия через обычные впускные тарельчатые клапаны 18. Поршень 20 сжатия сжимает воздух с впрыснутым топливом и выталкивает горючую смесь через перепускной канал 22, который является входным каналом для цилиндра 14 расширения.

На входе перепускного канала установлен перепускной клапан 24 сжатия запорного типа, который предотвращает обратный поток из перепускного канала 22. В рассматриваемой конструкции используется перепускной клапан 26 расширения, предназначенный для управления потоком вводимой сжатой горючей смеси, так чтобы смесь полностью поступала в цилиндр 14 расширения сразу же после того, как поршень 30 расширения достигает положения своей верхней мертвой точки. Сразу же после того, как в цилиндр 14 расширения поступает вводимая горючая смесь, в

свече 28 зажигания инициируется искра, и в результате сгорания горючей смеси поршень 30 расширения будет перемещаться вниз. Отработавшие газы выталкиваются из цилиндра расширения через выпускные тарельчатые клапаны 32.

5 В концепции двигателя с разделенным циклом геометрические параметры, такие как, например, диаметр цилиндра, ход поршня, длина шатуна, степень сжатия и т.п., цилиндров сжатия и расширения в основном не зависят друг от друга. Например, радиусы 34, 36 кривошипов для каждого цилиндра могут быть разными, и  
10 разнесенными по углу таким образом, чтобы верхняя мертвая точка (ВМТ) достигалась поршнем 30 расширения перед достижением положения ВМТ поршнем 20 сжатия. Такая независимость создает потенциальную возможность для достижения в двигателе с разделенным циклом более высокого КПД и более высоких моментов вращения по сравнению с обычным четырехтактным двигателем.

15 Одно из отличий двигателя 10 с разделенным циклом от обычного двигателя внутреннего сгорания заключается в том, что подача горючей смеси должна начинаться после того, как поршень 30 расширения достигнет положения своей ВМТ в цилиндре 14 расширения, в то время как в обычном двигателе поступление горючей смеси начинается за 360 градусов угла вращения коленчатого вала до достижения  
20 ВМТ в такте расширения (то есть в начале такта впуска). В этом случае в обычном двигателе, в отличие от двигателя с разделенным циклом, будет больше времени на развитие соответствующего движения горючей смеси, которое способствует ее смешиванию и сгоранию.

25 Движение горючей смеси необходимо для ее эффективного сгорания при воспламенении смеси свечой зажигания. Соответственно, в двигателе с разделенным циклом существует необходимость в быстром развитии движения горючей смеси для ее быстрого смешивания и требуемого распределения перед началом сжигания, которое происходит приблизительно через 15-20° угла поворота коленчатого вала  
30 после ВМТ. Кроме того, необходимо, чтобы требуемое движение горючей смеси происходило в течение основной фазы горения, то есть в пределах 20-40° угла вращения коленчатого вала после ВМТ, в зависимости от режима работы.

#### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

35 Двигатель с разделенным циклом в соответствии с изобретением содержит: коленчатый вал, который может вращаться вокруг своей оси; поршень сжатия, установленный в цилиндре сжатия с возможностью скольжения в нем и соединенный с коленчатым валом, так что поршень сжатия совершает  
40 возвратно-поступательное движение, осуществляя такты впуска и сжатия за один оборот коленчатого вала;

поршень расширения, установленный в цилиндре расширения с возможностью скольжения в нем и соединенный с коленчатым валом, так что поршень расширения совершает возвратно-поступательное движение, осуществляя такты расширения и  
45 выпуска за один оборот коленчатого вала; и

спиральный перепускной канал, соединяющий цилиндры сжатия и расширения, который содержит:

перепускной клапан сжатия и перепускной клапан расширения с полостью высокого давления, сформированной между ними;

50 в целом прямолинейную часть в конечной секции спирального перепускного канала; и

спиральную оконечную часть, представляющую единое целое с прямолинейной частью и расположенную над перепускным клапаном расширения, который состоит

из штока и головки, причем спиральная оконечная часть представляет собой воронку, закручивающуюся вокруг штока клапана, которая заставляет входящий воздух вращаться вокруг штока клапана перед поступлением этого воздуха в цилиндр расширения для обеспечения развития турбулентной кинетической энергии и вихря в горючей смеси, подаваемой в цилиндр расширения.

Могут использоваться также следующие дополнительные признаки:

ориентирование прямолинейных частей в тангенциальном или радиальном направлениях относительно окружности цилиндра расширения;

ориентирование оконечных частей перепускных каналов по часовой стрелке, против часовой стрелки и по прямой линии.

Эти и другие признаки и достоинства изобретения можно будет понять в полной степени из нижеприведенного описания некоторых предпочтительных вариантов вместе с прилагаемыми чертежами.

#### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ**

Фигура 1 - вид поперечного сечения известной конструкции двигателя с разделенным циклом, к которому относится настоящее изобретение;

фигура 2 - вид в перспективе прямолинейных частей и оконечных спиральных частей оконечной секции спирального канала, расположенной над тарельчатым клапаном (со стороны спиральной части канала);

фигура 3 - вид, аналогичный виду на фигуре 2, но со стороны прямолинейной части;

фигура 4 - вид поперечного сечения по линии 4-4 фигуры 5 одного из вариантов конструкции двигателя с разделенным циклом со спиральными перепускными каналами в соответствии с настоящим изобретением;

фигура 5 - вид сверху конструкции двигателя с разделенным циклом, изображенной на фигуре 4;

фигура 6 - вид в перспективе головки цилиндра расширения с внутренним выпускным отверстием и оконечными секциями и клапанами перепускных каналов;

фигуры 7-9 - виды сверху вариантов конструкций оконечных секций перепускных каналов на цилиндре расширения, в том числе с тангенциальными и радиальными прямолинейными частями вместе со спиральными оконечными частями, закручивающимися по часовой стрелке и против часовой стрелки, и с направленными оконечными секциями;

фигура 10 - график с пояснительной таблицей, на котором нанесены расчетные значения вихревого отношения и кинетической энергии турбулентности для 36 комбинаций двух перепускных каналов;

фигура 11 - вид сверху, аналогичный виду на фигуре 5, на котором изображен один из альтернативных вариантов конструкции перепускного канала.

#### **ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Ниже приведены расшифровки сокращений и определения терминов, используемых в описании.

Спиральный канал (или спиральный проход). Как можно видеть на фигурах 2 и 3, спиральный канал 38 является проходом, который обычно соединяет впускной патрубок впускного клапана в головке блока цилиндров обычного двигателя. Оконечная секция спирального канала 38 содержит в целом прямолинейную часть 39, составляющую единое целое с оконечной спиральной частью, которая расположена над впускным клапаном 41 со штоком 42 и головкой 43, открывающей проход в цилиндр (не показан). Пространство в спиральной оконечной части 40, в котором проходит поток, формируется кольцевой снижающейся воронкой 44,

закручивающейся вокруг штока 42 клапана, проходящего в отверстии 46 оконечной части 40. Величина воронки по углу составляет по меньшей мере  $1/3$  оборота и предпочтительно находится в интервале между  $1/2$  и  $3/4$  оборота вокруг штока 42 клапана, так чтобы заставляя поступающий воздух вращаться вокруг штока 42 клапана перед поступлением этого воздуха в цилиндр. Высота верхней поверхности 47 воронки 44 уменьшается, по мере того как воронка 44 закручивается вокруг штока 42 клапана.

Вихрь: организованное вращение воздуха или горючей смеси вокруг оси цилиндра. Более конкретно, "массовый" вихрь воздуха или горючей смеси в цилиндре двигателя является вращением основной массы воздуха или горючей смеси вокруг центральной линии цилиндра, измеренным в такте впуска (всасывания). Массовый вихрь является параметром, получаемым в результате усреднения действительного движения воздуха, которое происходит в цилиндре в такте впуска. В соответствии с понятием массового вихря можно определить вихрь как завихрение вокруг основной оси цилиндра с максимальной скоростью вихря на периферии цилиндра.

Вихревое отношение: принципиально это скорость вращения основной массы горючей смеси или воздуха вокруг центральной линии цилиндра, измеренная в такте впуска (всасывания) и отнесенная к вращательной скорости работы двигателя, а именно:

Вихревое отношение = частота вращения воздуха в цилиндре/скорость работы двигателя

Турбулентность и микротурбулентность: обычно это малоразмерные вихревые движения, связанные обычно с очень малыми частями воздуха. Частота турбулентных и микротурбулентных движений находится в диапазоне 10-10000 Гц и выше, в то время как диаметр областей микротурбулентностей будет изменяться обратно пропорционально частоте от нескольких миллиметров до нескольких микрон. В связи с вязким рассеиванием высокочастотные турбулентности обычно существуют в течение очень небольших отрезков времени, а именно, в пределах  $2-5^\circ$  угла вращения коленчатого вала.

Кинетическая энергия турбулентности (КЭТ): средняя кинетическая энергия на единицу воздушной массы, связанная с микровихрями в турбулентном воздушном потоке двигателя.

#### ОПИСАНИЕ

На фигурах 4 и 5 ссылочный номер 50 в целом обозначает вариант конструкции двигателя с разделенным циклом, в котором используются два перепускных канала 78 с тангенциальными и спиральными частями в соответствии с настоящим изобретением. Как далее будет рассмотрено более подробно, оконечные секции спиральных перепускных каналов 78 содержат тангенциальные части 100, составляющие единое целое с оконечными спиральными частями 102, которые обеспечивают быстрое перемешивание топлива с воздухом в такте расширения двигателя 50 с разделенным циклом.

Двигатель 50 содержит коленчатый вал 52, который может вращаться относительно оси 54 коленчатого вала по часовой стрелке, как показано на чертеже. Коленчатый вал 52 содержит расположенные рядом ведущий и ведомый кривошипы 56, 58, с которыми соединены шатуны 60, 62, соответственно.

Двигатель 50 также содержит блок 64 цилиндров, в котором сформированы два соседних цилиндра. В частности, двигатель 50 содержит цилиндр 66 сжатия и цилиндр 68 расширения, закрытые головкой 70 блока цилиндров на верхних концах

цилиндров, противолежащих коленчатому валу 52.

Поршень 72 сжатия установлен в цилиндре 66 сжатия и соединен с ведомым шатуном 62 для возвратно-поступательного движения поршня 72 между положениями верхней мертвой точки (ВМТ) и нижней мертвой точки (НМТ). Поршень 74  
5 расширения установлен в цилиндре 68 сжатия и соединен с ведущим шатуном 60 для аналогичного возвратно-поступательного движения между положениями ВМТ и НМТ.

В головке 70 блока цилиндров обеспечиваются проходы для всасываемых и  
10 отработавших газов и для сообщения между цилиндрами 66, 68. По ходу потока газа головка 70 цилиндров содержит впускной канал 76, через который засасываемый воздух поступает в цилиндр 66 сжатия, два перепускных канала 78 с тангенциальными и спиральными частями, через которые сжатый воздух передается из цилиндра 66  
15 сжатия в цилиндр 68 расширения, и выпускной канал 80, через который отработавшие газы выпускаются из цилиндра 68 расширения.

Впуском газа в цилиндр 66 сжатия управляет открывающийся внутрь впускной тарельчатый клапан 82. Впуском и выпуском газа в каждом спиральном перепускном канале 78 могут управлять два открывающихся наружу тарельчатых клапана, а  
20 именно, перепускные клапаны 84 сжатия на впускных концах спиральных перепускных каналов и перепускные клапаны 86 расширения на выпускных концах спиральных перепускных каналов. Каждая пара перепускных клапанов 84, 86 формирует полость 87 высокого давления, расположенную между ними в перепускных  
25 каналах. Поток отработавших газов, выходящих через выпускной канал 80, управляет открывающийся внутрь выпускной тарельчатый клапан 88. Эти клапаны 82, 84, 86 и 88 могут приводиться в действие любым подходящим способом, например, с помощью механических кулачков, с помощью техники привода регулируемых клапанов и т.п.

Каждый спиральный перепускной канал 78 снабжен по меньшей мере одним  
30 расположенным в нем топливным инжектором 90 высокого давления. Топливные инжекторы 90 предназначены для впрыскивания топлива в сжатый воздух, находящийся внутри полостей 87 высокого давления спиральных перепускных каналов 78.

Двигатель 50 также снабжен одной или несколькими свечами 92 зажигания или  
35 другими устройствами воспламенения горючей смеси. Свечи 90 зажигания расположены в подходящих местах цилиндра 68 расширения, где горючая смесь может воспламениться и сгорать в такте расширения.

На фигуре 6 показан увеличенный вид внутренней части головки 70 блока  
40 цилиндров и каналов, в том числе канала 80 выпуска отработавших газов и концевых секций перепускных каналов 78 с тангенциальными и спиральными частями. Как уже указывалось, горючая смесь должна поступать из перепускных каналов 78 в цилиндр 68 расширения, где она сгорает в такте расширения и затем выбрасывается  
45 через канал 80 выпуска отработавших газов в такте выпуска. Перед сжиганием горючая смесь должна быть быстро перемешана и хорошо распределена в цилиндре 68 расширения.

Каждый перепускной канал 78 содержит проходящую тангенциально в целом  
50 прямолинейную часть 100, составляющую единое целое со спиральной оконечной частью 102, закручивающейся против часовой стрелки, которая расположена над открывающимся наружу перепускным тарельчатым клапаном 86 расширения. В других вариантах каждая прямолинейная часть 100 может быть ориентирована



тангенциально или радиально относительно окружности цилиндра 68 расширения, и такая ориентация определяет направление основной массы горючей смеси, когда она поступает в цилиндр 68. В других вариантах каждая спиральная оконечная часть 102 может закручиваться спиралью по часовой стрелке или против часовой стрелки, и такое направление вращения будет иметь горючая смесь, когда она поступает в цилиндр 68.

В альтернативном варианте, если оконечная секция перепускного канала 78 не содержит спираль, то он является направленным каналом, который определяет направление основной массы горючей смеси, причем смесь, поступающая в цилиндр 68 расширения, не имеет определенного вращения.

В варианте осуществления изобретения, представленном на фигуре 6, каждая оконечная спиральная часть 102 содержит воронку, закручивающуюся против часовой стрелки вокруг штока 106 клапана, установленного в проходе 108, через который проходит шток каждого открывающегося наружу перепускного клапана 86 расширения.

Спиральная воронка 104 заставляет поступающий воздух вращаться вокруг штока 106 клапана перед его поступлением в цилиндр 68 расширения. На конце штока имеется головка 109 клапана, открывающаяся наружу, которая находится в закрытом положении, частично за счет давления, имеющегося в полости 87 высокого давления, когда клапан зафиксирован в седле.

Каждая прямолинейная часть 100 проходит тангенциально относительно окружности цилиндра 68 расширения. Таким образом, каждая прямолинейная часть 100 направляет поток воздуха в воронку 104 примерно параллельно (предпочтительное отклонение от параллельности составляет плюс/минус 20°, более предпочтительно - плюс/минус 10° и еще более предпочтительно - плюс/минус 5°) линии, проходящей в тангенциальном направлении через ближайшую к штоку клапана точку окружности цилиндра 68. На конце штока 106 имеется головка 109 клапана, открывающаяся наружу, которая находится в закрытом положении, частично за счет давления, имеющегося в полости 87 высокого давления, когда клапан зафиксирован в седле. Было установлено, что сочетание двух перепускных канала 78, содержащих спиральные и тангенциальные части, с оконечными спиральными частями 102, закручивающимися в одном и том же направлении, очень хорошо способствует быстрому перемешиванию горючей смеси в двигателе 50 с разделенным циклом.

На фигурах 7-9 иллюстрируются шесть возможных сочетаний прямолинейных частей перепускных каналов, направленных тангенциально или радиально, и оконечных спиральных частей, закручивающихся по часовой стрелке или против часовой стрелки. На фигуре 7 перепускной канал 110 содержит прямолинейную часть 112, проходящую тангенциально, и спиральную часть 114, закручивающуюся против часовой стрелки, как уже было показано на фигуре 6, а перепускной канал 116 содержит прямолинейную часть 118, проходящую тангенциально, и спиральную часть 120, закручивающуюся по часовой стрелке.

На фигуре 8 перепускной канал 122 содержит прямолинейную часть 124, проходящую радиально, и спиральную часть 126, закручивающуюся против часовой стрелки, а перепускной канал 128 содержит прямолинейную часть 130, проходящую радиально, и спиральную часть 132, закручивающуюся по часовой стрелке. Прямолинейные части 124 и 130, проходящие радиально, направляют поток воздуха в воронки спиральных частей 126 и 132, соответственно, примерно в радиальном

направлении (предпочтительное отклонение от радиального направления составляет плюс/минус  $20^\circ$ , более предпочтительно - плюс/минус  $10^\circ$  и еще более предпочтительно - плюс/минус  $5^\circ$ ) к центру цилиндра 68 расширения.

5 На фигуре 9 перепускной канал 134 содержит прямолинейную часть 136, проходящую радиально, и направленную оконечную часть 138, а перепускной канал 140 содержит прямолинейную часть 142, проходящую тангенциально, и направленную оконечную часть 144. Направленные оконечные части 138 и 144 не  
10 придают какого-либо вращения горючей смеси, когда она подается в цилиндр 68 расширения. Однако направление потока основной массы горючей смеси в этом случае будет определяться ориентацией прямолинейных частей 136 и 142, а именно в направлении центра цилиндра 68 расширения для радиальной прямолинейной части 136 и в тангенциальном направлении относительно окружности цилиндра 68 для тангенциальной прямолинейной части 142.

15 В обычном двигателе общепринятый способ получения требуемого движения воздуха для обеспечения сгорания в значительной степени определяется двумя отдельными явлениями, вихрем и турбулентностью. Вихрь - это вращательное движение в цилиндре основной части воздуха, например, большой вращающийся  
20 вихрь, внешний диаметр которого ограничен диаметром цилиндра, так что воздушный вихрь содержит значительную кинетическую энергию. Это вихревое движение основной части газа преобразуется в турбулентность на более поздних стадиях сжатия. Более конкретно, вихревое движение преобразуется в микротурбулентности, имеющие малые размеры, то есть во множество микровихрей,  
25 размеры которых составляют от  $1/100000$  до  $1/100$  диаметра цилиндра. Эти микротурбулентности идеальны в зоне горения в нужный момент, поскольку они могут "сминать" фронт пламени, создавая увеличенную зону для распространения пламени, то есть доступ к несгоревшей смеси.

30 В обычных двигателях впускные каналы должны обеспечивать создание одного вихря основной массы газа на такте впуска, и при приближении днища поршня к головке цилиндров в зоне ВМТ вихрь преобразуется в турбулентность. Поэтому впускные каналы конструируются таким образом, чтобы были способны создавать вихрь, и эта способность оценивается вихревым отношением, которое соотносит  
35 скорость вращения вихря со скоростью работы двигателя. Вихревое отношение может быть измерено с помощью специального стенда или рассчитано с помощью разработанной сравнительно недавно методики, использующей средства вычислительной гидродинамики. С использованием средств вычислительной  
40 гидродинамики также можно смоделировать последующее преобразование вихря в турбулентность, на которое в значительной степени влияют характеристики головки и/или поршня, формирующих камеру сгорания. Одним из параметров, используемых для оценки степени турбулентности, является кинетическая энергия турбулентности (КЭТ), которая является мерой суммарного момента вращения всех вихрей, больших и  
45 малых.

Для обычных двигателей развитие этих двух процессов рассматривается большей частью по отдельности, поскольку они происходят в разные моменты рабочего цикла двигателя, то есть вихрь в такте впуска и турбулентность в такте сжатия. Однако в  
50 двигателе 50 с разделенным циклом поступление воздуха из перепускных каналов 78 в цилиндр 68 расширения происходит близко к ВМТ, и поэтому сами перепускные каналы должны обеспечивать формирование как вихря, так и турбулентностей.

Конструкции каналов, которые подходят для формирования вихря, достаточно

хорошо отработаны для обычных двигателей, однако не было известно, будут ли такие же устройства также эффективны при использовании в двигателе 50 с разделенным циклом. Кроме того, степень неопределенности в действии конструкций перепускных каналов по формированию вихря в двигателе 50 с разделенным циклом увеличивается, поскольку в двигателе 50 используются открывающиеся наружу тарельчатые клапаны 86, которые отходят от цилиндра 68 расширения, в то время как в обычных двигателях почти всегда используются открывающиеся внутрь тарельчатые клапаны, которые входят внутрь цилиндра расширения. Кроме того, заранее не было известно, как формирование вихря связано с КЭТ.

Более того, не было известно заранее влияние каждой из шести конфигураций перепускного канала 78, показанных на фигурах 7-9, на формирование вихря и турбулентности в двигателе 50 с разделенным циклом. Кроме того, поскольку используются два независимых перепускных канала 78, то существует в общей сложности по меньшей мере 36 комбинаций возможных конфигураций перепускных каналов для каждого цилиндра 68 расширения, и также не было известно, как каждая такая конфигурация двух перепускных каналов будет влиять на вихрь и турбулентность.

На фигуре 10 представлены результаты всестороннего анализа с использованием методов вычислительной гидродинамики, в котором сравнивались 36 конфигураций перепускных каналов для определения оптимального движения горючей смеси в двигателе 50 с разделенным циклом. Полученные результаты представлены на графике 150. В таблице 166, которая приведена в нижней части графика 150 и содержит 36 колонок и 5 рядов, представлены 36 возможных комбинаций параметров для двух перепускных каналов 78. Шкала относительной кинетической энергии турбулентностей проходит вертикально с левой стороны графика 150, а шкала относительного вихревого отношения проходит вертикально с правой стороны графика 150.

В таблице 166 ряд 156 представляет тангенциальную (tan) или радиальную (rad) ориентацию прямолинейной части 100 первого из двух перепускных каналов 78, а ряд 158 представляет конфигурацию оконечной части 102 первого из двух перепускных каналов 78: спиральная, по часовой стрелке (cw); спиральная, против часовой стрелки (ccw); или направленная (dir). В таблице 166 ряд 160 представляет тангенциальную (tan) или радиальную (rad) ориентацию прямолинейной части 100 второго из двух перепускных каналов 78, а ряд 162 представляет конфигурацию оконечной части 102 второго из двух перепускных каналов 78: спиральная, по часовой стрелке (cw); спиральная, против часовой стрелки (ccw); или направленная (dir). В ряду 164 указаны номера 1-36 различных комбинаций параметров для упрощения ссылок. Величины вихревого отношения и кинетической энергии турбулентности (КЭТ) для каждой из 36 комбинаций соединены линиями 152 и 154, соответственно.

Сразу же можно отметить общую тенденцию: более высоким значениям вихревого отношения также соответствуют более высокие уровни КЭТ. Перепускные каналы с тангенциальными прямолинейными частями и спиральными оконечными частями, закручивающимися в одном направлении, то есть комбинации 1 и 2 параметров в ряду 164, дают наивысший уровень вихревого движения и наибольшую величину КЭТ.

Результаты расчетов показали, что наиболее эффективным для средством для формирования движения горючей смеси в цилиндре 68 расширения двигателя 50 с разделенным циклом являются два перепускных канала 78 (показаны на фигуре 6) с прямолинейными частями 100, проходящими тангенциально относительно

окружности цилиндра 68 расширения, и спиральными оконечными частями, закручивающимися в одном направлении, оба по часовой стрелке или оба против часовой стрелки. Соответственно, направление вращения воздуха, выходящего из каждого из каналов, будет одинаковым. В этом случае кинетические энергии воздуха, выходящего из каждого канала, будут складываться, в результате чего в цилиндре формируется вихревое движение основной массы воздуха, имеющее наибольший уровень, и в то же время обеспечивается наиболее высокое значение КЭТ.

Хотя фигуры 4-6 иллюстрируют один из вариантов осуществления изобретения, и на фигурах 7-10, отображены результаты анализа эффективности, позволяющие определить, какая из рассмотренных конфигураций перепускных каналов дает наиболее высокое вихревое отношение и наибольшую величину кинетической энергии турбулентности, однако следует иметь в виду, что могут использоваться и другие альтернативные конфигурации перепускных каналов, имеющие признаки, охватываемые объемом настоящего изобретения.

На фигуре 11 иллюстрируется один из примеров такого альтернативного варианта, причем для указания таких же компонентов или признаков, как и на фигурах 4-6, используются одинаковые ссылочные номера. На фигуре 11 показан вид конструкции двигателя 170, которая в целом аналогична конструкции, представленной на фигурах 4 и 5. Блок цилиндров, поршни и кривошипно-шатунный механизм не показаны, но они могут быть точно такими же, что и в двигателе 50. Цилиндры сжатия и расширения показаны на фигуре 11 пунктирными линиями 66, 68.

Двигатель 170, конструкция которого представлена на фигуре 11, так же, как и двигатель 50, содержит головку 70 блока цилиндров, в которой имеется впускной канал 76 и впускной клапан 82, канал 80 выпуска отработавших газов и выпускной клапан 88, а также свеча 92 зажигания. Два клапана 84 сжатия и два клапана 86 расширения располагаются так же, как и в двигателе 50.

Двигатель 170 отличается тем, что пары клапанов перепускных каналов соединяются модифицированным перепускным каналом 172, формирующим общую полость 174 высокого давления между клапанами 84, 86. Перепускной канал 172 содержит общую часть 176 канала, которая сообщается последовательно с обоими перепускными клапанами 84 сжатия. Затем эта часть 176 перепускного канала разделяется по меньшей мере на первое ответвление 178 и второе ответвление 180, каждое из которых соединяется с клапаном 86 расширения через тангенциальные прямолинейные части 182. Каждая из прямолинейных частей 182 соединяется со спиральной оконечной частью 184 аналогично тому, как прямолинейные части 100 соединяются с оконечными спиральными частями 102 двигателя 50. Топливные инжекторы 90 установлены с возможностью впрыскивания топлива в отдельные ответвления перепускного канала 172 возле оконечных спиральных частей 184, как в двигателе 50.

Однако возможны также и альтернативные варианты осуществления изобретения. В не ограничивающих вариантах клапаны сжатия перепускных каналов могут быть соединены с отдельными ответвлениями перепускного канала, имеющего форму Y или X, причем ответвления соединяются между собой центральной или оконечной частью канала. Перепускной коллектор, соединяющий вместе различное количество перепускных клапанов пары цилиндров сжатия и расширения, может обеспечивать соединение одного или нескольких перепускных клапанов сжатия с одним или несколькими перепускными клапанами расширения. Могут быть также рассмотрены варианты коллекторов, соединяющих более одной пары цилиндров. Кроме того, при

необходимости топливные инжекторы могут быть установлены с возможностью впрыскивания топлива не в перепускные каналы, а непосредственно в цилиндры расширения двигателя с разделенным циклом. Объем настоящего изобретения охватывает также непосредственный впрыск топлива в двигатель с разделенным циклом с воспламенением от сжатия.

Хотя настоящее изобретение описано со ссылками на предпочтительные варианты его осуществления, должно быть ясно, что возможны различные изменения в пределах сущности и объема раскрытой идеи изобретения. Соответственно, необходимо понимать, что изобретение не ограничивается описанными вариантами, и его полный объем определяется прилагаемой формулой.

#### Формула изобретения

1. Двигатель с разделенным циклом, содержащий:

коленчатый вал, установленный с возможностью вращения вокруг своей оси; поршень сжатия, установленный в цилиндре сжатия с возможностью скольжения в нем и соединенный с коленчатым валом, так что поршень сжатия совершает возвратно-поступательное движение, осуществляя такты впуска и сжатия за один оборот коленчатого вала;

поршень расширения, установленный в цилиндре расширения с возможностью скольжения в нем и соединенный с коленчатым валом, так что поршень расширения совершает возвратно-поступательное движение, осуществляя такты расширения и выпуска за один оборот коленчатого вала; и

спиральный перепускной канал, соединяющий цилиндры сжатия и расширения, который содержит:

перепускной клапан сжатия и перепускной клапан расширения с полостью высокого давления, сформированной между ними;

в целом прямолинейную часть в оконечной секции спирального перепускного канала; и

спиральную оконечную часть, представляющую единое целое с прямолинейной частью и расположенную над перепускным клапаном расширения, который состоит из штока и головки, причем спиральная оконечная часть представляет собой воронку, закручивающуюся вокруг штока клапана,

причем воронка заставляет входящий воздух вращаться вокруг штока клапана перед поступлением этого воздуха в цилиндр расширения.

2. Двигатель с разделенным циклом по п.1, в котором спиральный перепускной канал содержит два спиральных перепускных канала, спиральные оконечные части которых закручиваются в одном направлении.

3. Двигатель с разделенным циклом по п.1, в котором прямолинейная часть является тангенциальной частью, которая направляет поток воздуха в воронку спиральной оконечной части в направлении, отклонение которого от линии, параллельной тангенциальной линии, проходящей через точку на окружности цилиндра расширения, находящуюся ближе всего к штоку клапана, находится в диапазоне плюс/минус 20°.

4. Двигатель с разделенным циклом по п.2, в котором два спиральных перепускных канала содержат дополнительно две тангенциальные прямолинейные части, каждая из которых направляет поток воздуха в воронку спиральной оконечной части в направлении, отклонение которого от линии, параллельной тангенциальной линии, проходящей через точку на окружности цилиндра расширения, находящуюся ближе

всего к штоку клапана, находится в диапазоне плюс/минус 20°.

5. Двигатель с разделенным циклом по п.4, в котором каждая спиральная оконечная часть закручивается по часовой стрелке.

5 6. Двигатель с разделенным циклом по п.4, в котором каждая спиральная оконечная часть закручивается против часовой стрелки.

7. Двигатель с разделенным циклом по п.1, в котором перепускной клапан расширения представляет собой открывающийся наружу тарельчатый клапан.

10 8. Двигатель с разделенным циклом по п.1, содержащий дополнительно топливный инжектор, расположенный в перепускном канале.

9. Двигатель с разделенным циклом по п.1, в котором перепускной канал содержит дополнительно по меньшей мере первое ответвление и второе ответвление, отделяющиеся от одной, общей, части перепускного канала;

15 причём первое ответвление содержит прямолинейную часть и спиральную оконечную часть, расположенную над перепускным клапаном расширения; и второе ответвление содержит вторую прямолинейную часть, составляющую единое целое со второй оконечной частью, расположенной над вторым перепускным клапаном расширения.

20 10. Двигатель с разделенным циклом по п.9, в котором вторая оконечная часть второго ответвления содержит дополнительно вторую спиральную оконечную часть, закручивающуюся в том же направлении, что и спиральная оконечная часть первого ответвления.

25 11. Двигатель с разделенным циклом по п.10, в котором прямолинейная часть первого ответвления и вторая прямолинейная часть второго ответвления представляют собой две тангенциальные прямолинейные части.

12. Двигатель с разделенным циклом, содержащий:

30 коленчатый вал, установленный с возможностью вращения вокруг своей оси; поршень сжатия, установленный в цилиндре сжатия с возможностью скольжения в нем и соединенный с коленчатым валом, так что поршень сжатия совершает возвратно-поступательное движение, осуществляя такты впуска и сжатия за один оборот коленчатого вала;

35 поршень расширения, установленный в цилиндре расширения с возможностью скольжения в нем и соединенный с коленчатым валом, так что поршень расширения совершает возвратно-поступательное движение, осуществляя такты расширения и выпуска за один оборот коленчатого вала; и

40 два тангенциальных спиральных перепускных канала, соединяющих цилиндры сжатия и расширения, причём каждый тангенциальный спиральный перепускной канал содержит:

перепускной клапан сжатия и перепускной клапан расширения с камерой высокого давления, сформированной между ними;

45 спиральную оконечную часть, расположенную над каждым перепускным клапаном расширения, имеющим шток и головку, причём каждая спиральная оконечная часть представляет собой воронку, закручивающуюся вокруг штока перепускного клапана расширения, которая заставляет поступающий воздух вращаться вокруг штока клапана перед поступлением этого воздуха в цилиндр расширения, и спиральные оконечные части спиральных перепускных каналов закручиваются в одном  
50 направлении, и

тангенциальную прямолинейную часть, составляющую единое целое с каждой спиральной оконечной частью, причём тангенциальная прямолинейная часть

направляет поток воздуха в воронку спиральной оконечной части в направлении, отклонение которого от линии, параллельной тангенциальной линии, проходящей через точку на окружности цилиндра расширения, находящуюся ближе всего к штоку клапана, находится в диапазоне плюс/минус 20°.

5

13. Двигатель с разделенным циклом по п.12, в котором каждая спиральная оконечная часть закручивается по часовой стрелке.

14. Двигатель с разделенным циклом по п.12, в котором каждая спиральная оконечная часть закручивается против часовой стрелки.

10

15. Двигатель с разделенным циклом по п.12, в котором каждый перепускной клапан расширения представляет собой открывающийся наружу тарельчатый клапан.

16. Двигатель с разделенным циклом по п.12, содержащий дополнительно топливный инжектор, расположенный в каждом перепускном канале.

15

20

25

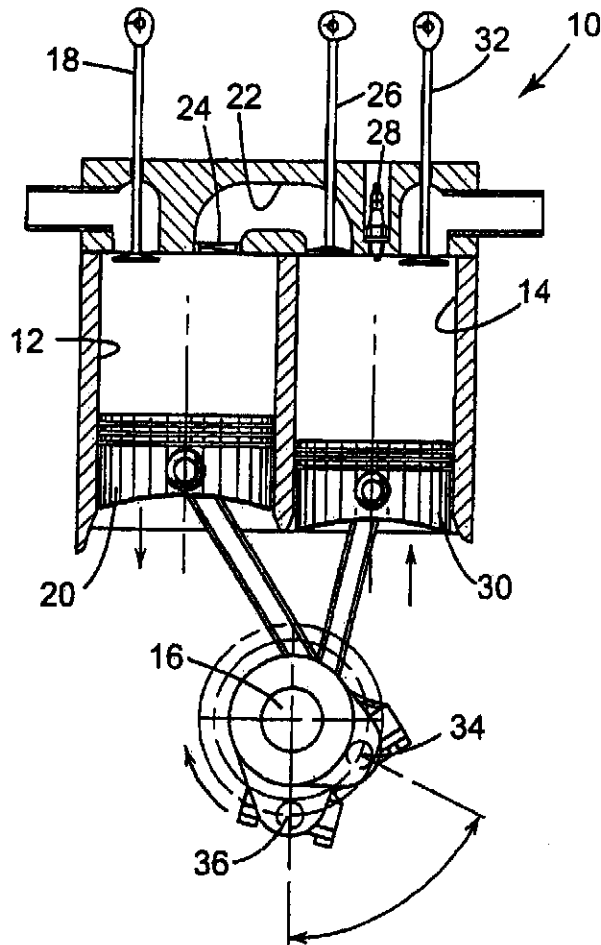
30

35

40

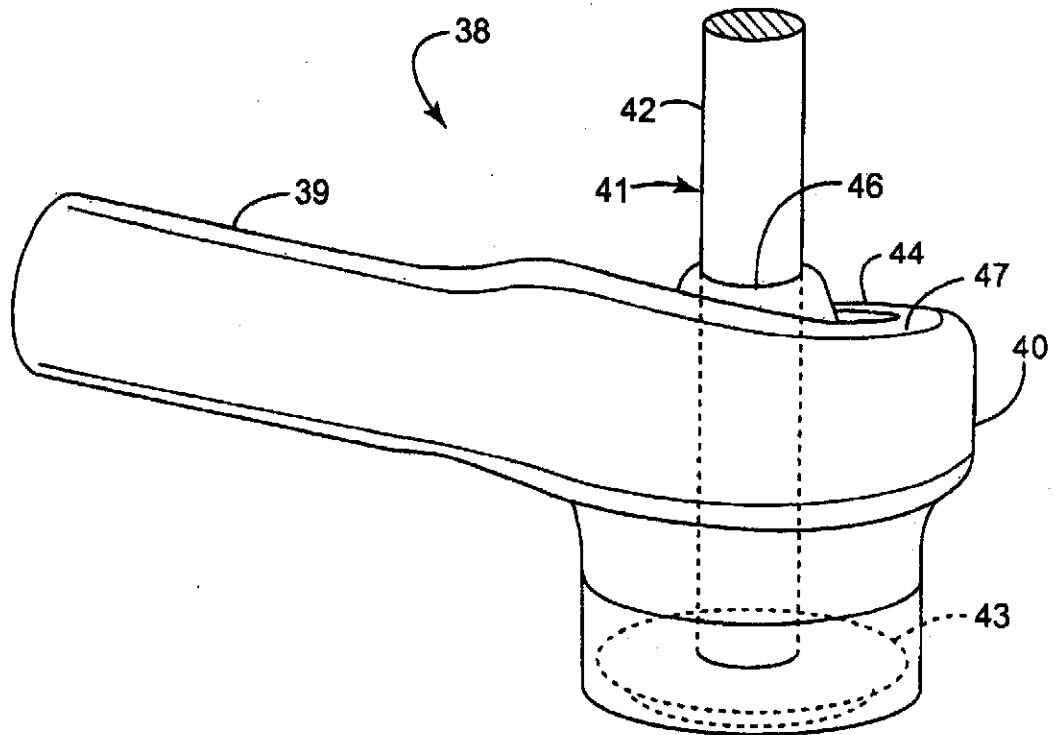
45

50



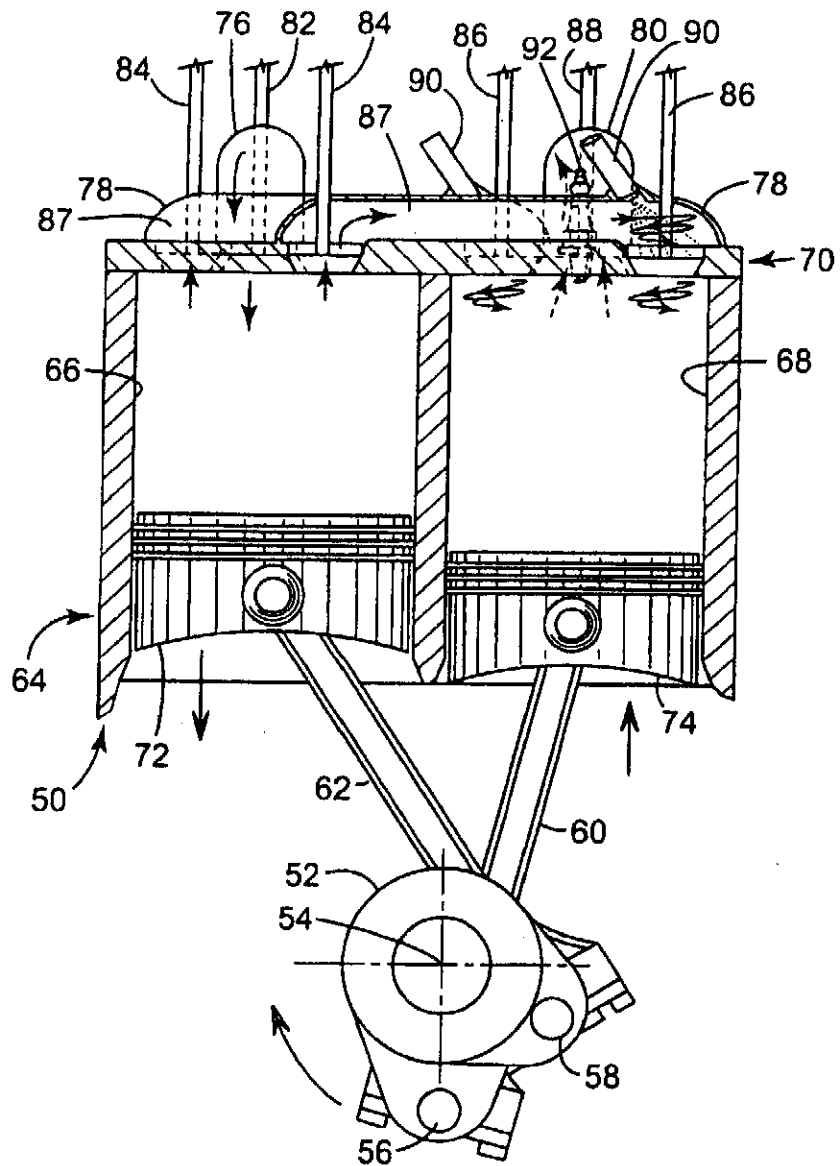
Известный уровень техники

Фиг. 1

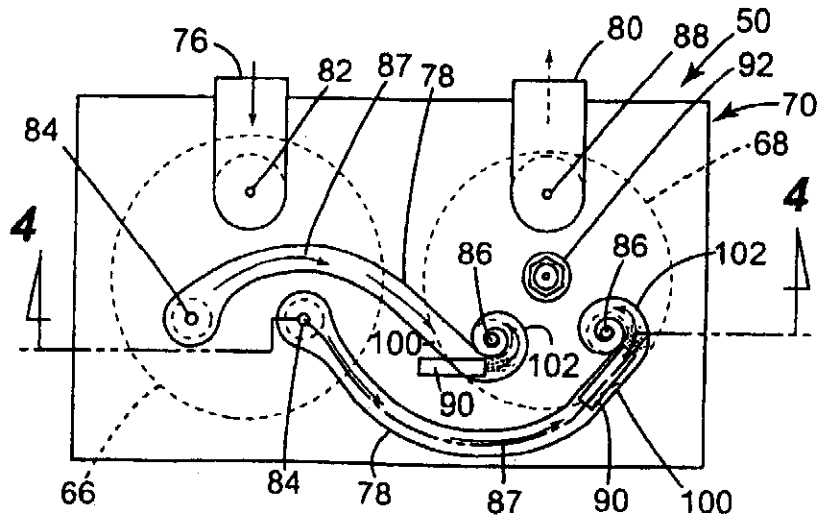


Фиг. 3

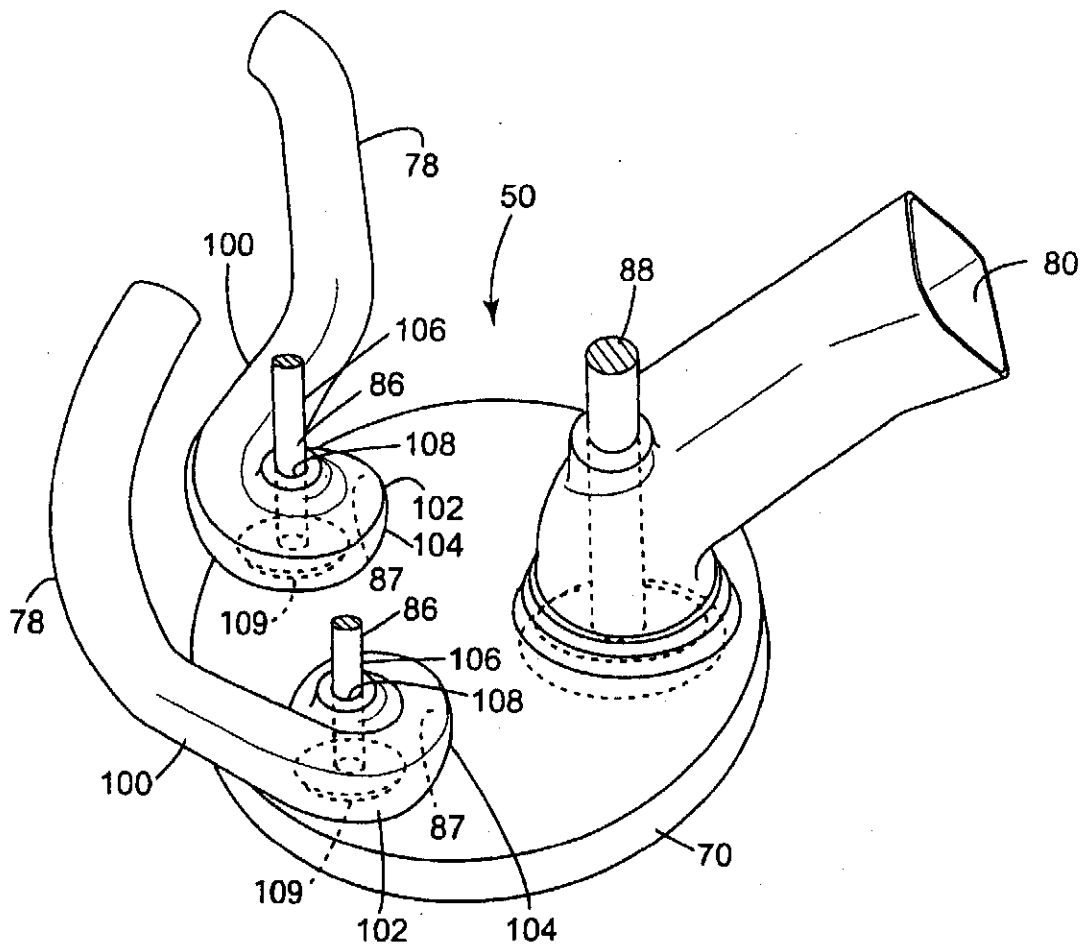




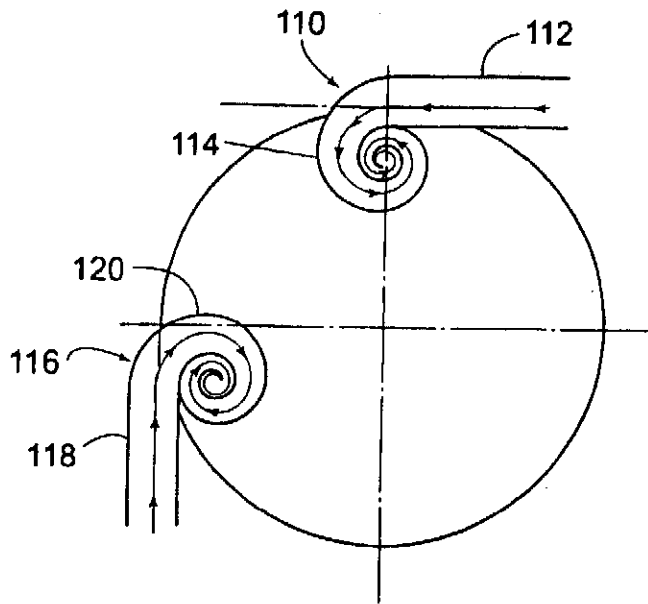
Фиг. 4



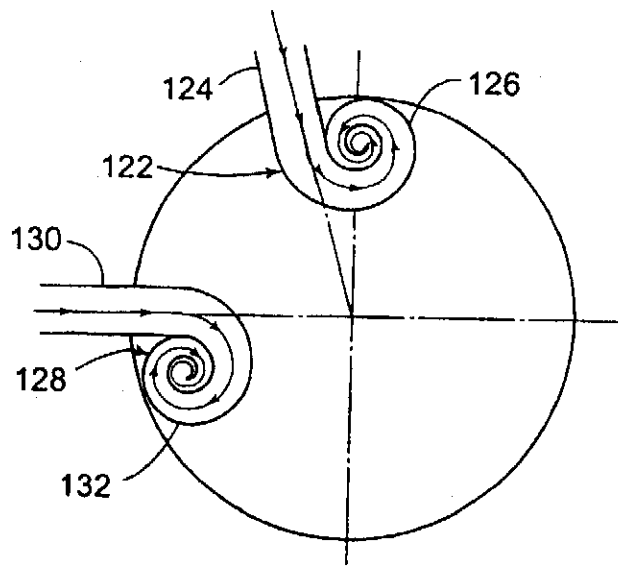
Фиг. 5



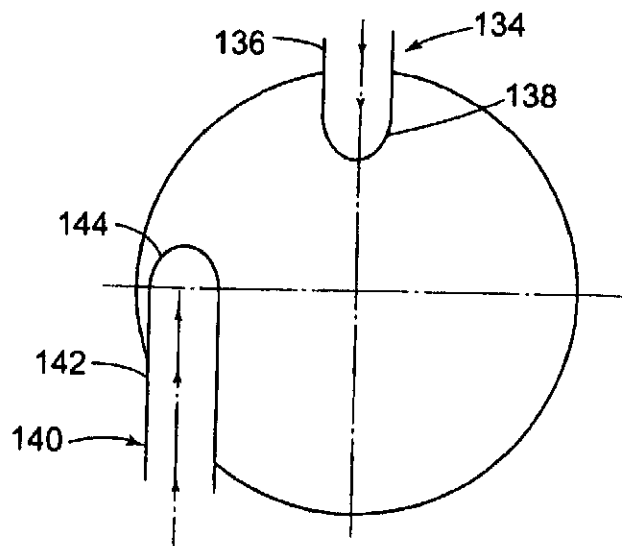
Фиг. 6



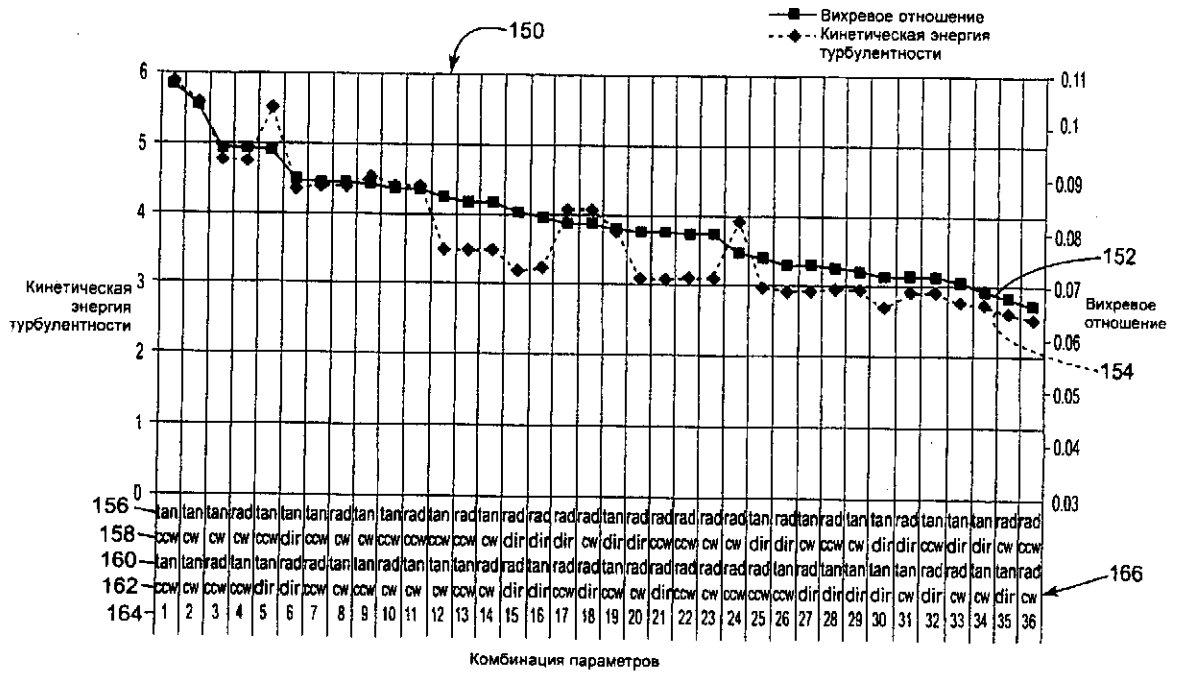
Фиг. 7



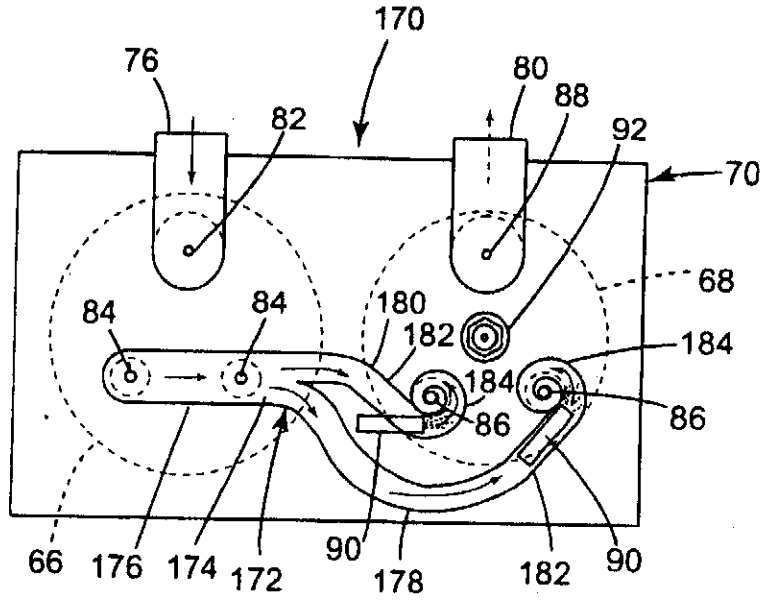
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11