



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F23R 7/00 (2018.02); F02K 7/02 (2018.02)

(21)(22) Заявка: 2015120000, 07.11.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.11.2013

Дата регистрации:
09.07.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
07.11.2012 US 61/723,667

(43) Дата публикации заявки: 27.12.2016 Бюл. № 36

(45) Опубликовано: 09.07.2018 Бюл. № 19

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 08.06.2015

(86) Заявка РСТ:
СА 2013/050856 (07.11.2013)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2014/071525 (15.05.2014)

Адрес для переписки:
119019, Москва, Гоголевский б-р, 11, этаж 3,
Московское представительство фирмы
"Гоулингз Интернэшнл Инк.", Клюкин Вячеслав
Александрович

(72) Автор(ы):
ХУАН Алехандро (СА)

(73) Патентообладатель(и):
ЭКСПЭНЭНШЛ ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.
(СА)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 2012145836 A1, 01.11.2012. US
20070159099 A1, 18.01.2007. SU 66161 A1,
01.01.1946. SU 840441 A1, 23.06.1981. SU 459612
A2, 12.05.2002. US 20100050592 A1, 04.09.2010.

**(54) КАМЕРА СГОРАНИЯ С ПОВЫШЕНИЕМ ДАВЛЕНИЯ (ВАРИАНТЫ) И СПОСОБ ЕЁ
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

(57) Реферат:

Камера сгорания с повышением давления содержит детонационную камеру, камеру предварительного горения, вихревой генератор для закрутки окислителя на пути подачи окислителя, расширительно-отклоняющее сопло, между камерой предварительного горения и детонационной камерой, обеспечивающее диффузионный путь жидкости между ними и воспламеняющее устройство в контакте с низкоскоростной вихревой зоной камеры

предварительного горения. Детонационная камера имеет впускной патрубок и выпускной патрубок, и сконфигурирована для создания в ней явления сверхзвукового горения. Камера предварительного горения имеет выпускной патрубок, связанный по жидкой среде с впускным патрубком детонационной камеры, впускной патрубок, связанный с каналом подачи топлива, корпус, внутренняя поверхность которого определяет окружной периметр между впускным

и выпускным патрубками, и круглое отверстие, связанное с кольцевым каналом подачи окислителя. Вихревой генератор для закрутки окислителя на пути подачи окислителя содержит лопатки, преобразующие окислитель, текущий мимо лопаток в камеру предварительного горения в тангенциальный турбулентный поток, создавая, таким образом, высокоскоростную вихревую зону вокруг круглого отверстия и

низкоскоростную вихревую зону в центральной части камеры предварительного горения. Изобретение направлено на обеспечение камеры сгорания относительно низким полным разгоном потока в течение небольшого промежутка времени, обеспечивая, таким образом, высокие рабочие частоты и соответствующие высокие рабочие характеристики камеры сгорания. 5 н. и 23 з.п. ф-лы, 14 ил.

RU 2660734 C2

RU 2660734 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
F23R 7/00 (2006.01)
F02K 7/02 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
F23R 7/00 (2018.02); *F02K 7/02* (2018.02)

(21)(22) Application: **2015120000, 07.11.2013**

(24) Effective date for property rights:
07.11.2013

Registration date:
09.07.2018

Priority:

(30) Convention priority:
07.11.2012 US 61/723,667

(43) Application published: **27.12.2016** Bull. № 36

(45) Date of publication: **09.07.2018** Bull. № 19

(85) Commencement of national phase: **08.06.2015**

(86) PCT application:
CA 2013/050856 (07.11.2013)

(87) PCT publication:
WO 2014/071525 (15.05.2014)

Mail address:

**119019, Moskva, Gogolevskij b-r, 11, etazh 3,
Moskovskoe predstavitelstvo firmy "Goulingz
Interneshnl Ink.", Klyukin Vyacheslav
Aleksandrovich**

(72) Inventor(s):

KHUAN Alekhandro (CA)

(73) Proprietor(s):

**EKSPENENSHL TEKNOLODZHIZ, INK.
(CA)**

(54) **PRESSURE-GAIN COMBUSTION CHAMBER (VERSIONS) AND OPERATING METHOD THEREOF**

(57) Abstract:

FIELD: fuel combustion methods and devices.

SUBSTANCE: pressure gain combustor comprises a detonation chamber, a pre-combustion chamber, an oxidant swirl generator on the oxidant delivery pathway, an expansion-deflection nozzle, between the pre-combustion chamber and the detonation chamber, providing a liquid diffusion pathway therebetween and an igniting device in contact with the low-speed swirl zone of the pre-combustion chamber. Detonation chamber has an inlet and an outlet pipe, and is configured to create a supersonic combustion phenomenon therein. Pre-combustion chamber has an

outlet pipe connected via a liquid medium to the inlet pipe of the detonation chamber, an inlet pipe connected to the fuel supply channel, a housing whose inner surface defines a circumferential perimeter between the inlet and outlet pipes, and a circular hole connected to the annular oxidant supply channel. Swirl generator for swirling the oxidant in the oxidant delivery pathway comprises blades that convert the oxidant flowing past the blades into the pre-combustion chamber into a tangential turbulent flow, thus creating a high-speed swirl zone around the circular hole and a low-speed swirl zone in the central part of the pre-combustion

chamber.

EFFECT: invention is aimed at providing the combustion chamber with relatively low full acceleration of flow for a short period of time, thereby

providing high operating frequencies and corresponding high performance of the combustion chamber.

28 cl, 14 dwg

R U 2 6 6 0 7 3 4 C 2

R U 2 6 6 0 7 3 4 C 2

Область изобретения

Описанное изобретение, в основном, относится к горению топлива при повышенном давлении и, в частности, к устройству сгорания с повышением давления, такому как импульсный детонационный двигатель, и к способу для осуществления этого устройства.

5 Предпосылки создания изобретения

Горение с повышением давления в камере сгорания термодинамически аппроксимирует процесс постоянного объема, обеспечивая более высокую эффективность двигателя по сравнению с двигателями внутреннего сгорания с постоянным давлением. Один способ, позволяющий достичь сгорания с повышением 10 давления состоит в использовании устройства импульсного горения, такого как импульсный реактивный двигатель или импульсный детонационный двигатель (известные также как содержащие "камеры сгорания с детонационной волной"), в которых горение происходит с импульсной детонацией.

Импульсное детонационное горение - тип процесса сгорания с повышением давления, 15 в котором, двигатель работает с пульсирующим давлением при сгорании, чтобы обеспечить продувку и заполнение камеры сгорания горючей смеси между детонациями, вызванными воспламеняющим устройством. Детонация - явление сверхзвукового сгорания топлива, при котором фронт пламени связан с ударной волной и проходит через реактивную смесь при звуковых скоростях. Как следствие, его термодинамическое 20 поведение эффективно приближается к поведению процесса сгорания постоянного объема, который обеспечивает более высокое давление, более высокий тепловой КПД и низкий удельный расход топлива по сравнению с постоянным давлением или установившимися процессом дефлаграции (быстрого сгорания без детонации). Импульсно-детонационные камеры сгорания потенциально термодинамически более 25 эффективны, потому что они основаны на повышении давления от сверхзвукового, вызванного ударной волной сгорания, а не процессом дефлаграции при постоянном давлении в стандартной камере сгорания. Скорость пламени при импульсной детонации может достигать 6000 футов в секунду, по сравнению с 20-70 футов в секунду в обычной камере сгорания с постоянным давлением.

30 Стадия одного цикла детонации состоит из наполнения детонационной трубы горючей смесью топливом и окислителем, воспламенения смеси, распространения взрывной волны к выпускному концу трубы и удаления продуктов горения. В трубчатой камере сгорания продукты горения удаляются из открытого конца трубы волнами разрежения, созданными внезапным расширением до атмосферного давления, когда взрывная волна 35 выходит из открытого конца. Цикл может повторяться несколько раз в секунду.

Быстрый переход к детонации желателен для достижения высоких рабочих частот, приводящих к более высокой отдаваемой мощности. Переход от дефлаграции к детонации (DDT) состоит в том, что дозвуковая дефлаграция, созданная, используя 40 низкое энергетическое инициирование, переходит к сверхзвуковой детонации. Процесс может быть разделен на четыре фазы: (i) воспламенение смеси, (ii) ускорение волны горения, (iii) формирование центров взрыва и (iv) развитие фронта детонации. Расстояние и время, необходимое для перехода к детонации, называют расстоянием и временем разгона, соответственно. Стадии (i)-(iii) занимают большую часть полного расстояния разгона и времени DDT. Большую часть времени для DDT в значительной степени 45 занимает переход от ламинарного к турбулентному пламени. Расстояние для DDT более чувствительно к ускорению турбулентного пламени. Препятствия по пути потока, такие как спирали Шелкина, как известно, уменьшают DDT, сокращая расстояние и время для стадий (ii) и (iii). Таким образом, желательно использовать импульсно-

детонационную камеру сгорания, в которой достигаются высокие рабочие частоты для улучшения рабочих характеристик. В частности, желательна детонационная камера сгорания, которая имеет меньший полный разгон на расстояние DDT и малое время, обеспечивая, таким образом, высокие рабочие частоты и соответствующие улучшенные рабочие характеристики камеры сгорания при высокой плотности мощности.

Другим вызовом для эффективной работы импульсно-детонационных камер сгорания является управление противотоком продуктов сгорания и противодавлением, вызванным детонационными ударными волнами. Один известный подход к предотвращению противотока состоит в использовании механической клапанной системы. В импульсно-детонационных камерах сгорания с такими клапанной системой открывается механический клапан, чтобы наполнить детонационную камеру горючей смесью и затем закрывается во время стадий иницирования детонации и распространения пламени, так же как на стадиях продувки. Примерные клапанные механизмы описаны в патентах США №7 621 118 и №6 505 462. Эти клапанные механизмы имеют сложную механику и связаны с проблемами механической и тепловой усталости, которые приводят к ограниченному сроку службы и выдвигают дополнительные требования к обслуживанию. Рабочая частота устройства также может быть ограничена механической клапанной системой.

Краткое описание изобретения

Согласно одной цели изобретения предлагается камера сгорания с повышением давления, содержащая детонационную камеру, камеру предварительного горения, вихревой генератор, расширительное отклоняющее сопло (E-D) и воспламеняющее устройство. Детонационная камера имеет впускной патрубок и выпускной патрубок, и сконфигурирована для создания в ней явления сверхзвукового горения. Камера предварительного горения имеет выпускной патрубок, связанный по жидкой среде с впускным патрубком детонационной камеры, впускной патрубок, связанный с каналом подачи топлива, и окружной периметр между впускным и выпускным патрубками с кольцевым каналом для подачи окислителя. Вихревой генератор расположен в канале для подачи окислителя и содержит лопасти, сконфигурированные для подачи турбулентного потока окислителя в камеру предварительного горения, создавая, таким образом, высокоскоростную вихревую зону вокруг кольцевого канала и низкоскоростную вихревую зону в центральной части камеры предварительного горения. Сопло E-D расположено между камерой предварительного горения и детонационной камерой и обеспечивает диффузионный путь жидкости между ними. Воспламеняющее устройство связано с низкоскоростной вихревой зоной камеры предварительного горения и может быть выбрано из группы, состоящей из электрического источника искрового разряда, источника плазменных импульсов и источника лазерных импульсов. Предполагается, что такая конфигурация обеспечит камеру сгорания относительно низким общим разгоном на расстоянии DDT в короткое время, обеспечивая, таким образом, высокие рабочие частоты и соответствующие высокие рабочие характеристики камеры сгорания.

Сопло E-D может содержать, в основном, цилиндрический корпус с внутренним отверстием, имеющим выпускной патрубок, связанный по жидкой среде с детонационной камерой, и, по меньшей мере, один размещенный в корпусе кольцеобразный обод, который связан по жидкой среде с отверстием; кольцевой фланец, выступающий из корпуса, который входит в контакт с внешним ободом впускного патрубка детонационной камеры, в основном, цилиндрический обтекатель, который проходит

от кольцеобразного к впускному патрубку цилиндрического корпуса, так, что между обтекателем и цилиндрическим корпусом определяется кольцевой зазор, и торцевая пластина у впускного патрубка, имеющая, по меньшей мере, один диффузионный канал, проходящий через пластину и обеспечивающий жидкостную связь между отверстием и камерой предварительного горения. Диффузионный канал и отверстие обеспечивают диффузионный путь между камерой предварительного горения и детонационной камерой. Обтекатель может иметь рубашку частично тороидальной формы, которая проходит в камеру предварительного горения и в достаточной близости от кольцевого отверстия в ней, чтобы создать эффект Коанда, который отклоняет тангенциально текущий окислитель радиально внутрь к центру камеры предварительного горения. Торцевая пластина может иметь множество диффузионных каналов, каждый из которых проходит под углом наружу от отверстия, таким образом, что каждый канал направлен к внутренней поверхности обтекателя, а не к камере предварительного горения.

Согласно другой цели изобретения, предлагается способ эксплуатации камеры сгорания с повышением давления, содержащий: тангенциальную и турбулентную подачу окислителя в камеру предварительного горения, чтобы сформировать высокоскоростную вихревую зону во внешней части камеры предварительного горения и низкоскоростную вихревую зону во внутренней части камеры предварительного горения; впрыск топлива в высокоскоростную вихревую зону камеры предварительного горения; подачу смеси топлива и окислителя в детонационную камеру, связанную по жидкой среде с камерой предварительного горения; воспламенение топлива и окислителя в вихревой зоне камеры предварительного горения, чтобы сформировать ядро пламени после выбранного периода задержки и направление фронта пламени, сформированного из ядра пламени, через сопло E-D в детонационную камеру, так, чтобы окислитель и топливо в детонационной камере детонировали, вызывая явление сверхзвукового горения, в котором фронт пламени объединяется с ударной волной и распространяется через детонационную камеру на звуковых скоростях. Предполагается, что работа камеры в таком режиме обеспечит относительно низкий полный разгон на расстоянии DDT в течение небольшого промежутка времени, обеспечивая, таким образом, высокие рабочие частоты и соответствующие высокие рабочие характеристики камеры сгорания.

Согласно еще одной цели изобретения, предлагается камера сгорания с повышением давления, содержащая: детонационную камеру, имеющую впускной патрубок и выпускной патрубок, в которой детонационная камера сконфигурирована для создания в ней явления сверхзвукового горения; камеру предварительного горения, связанную по жидкой среде с впускным патрубком детонационной камеры и связанную по жидкой среде с каналом подачи топлива и с каналом подачи окислителя; воспламеняющее устройство, связанное с камерой предварительного горения и предназначенное для воспламенения смеси топлива и окислителя в этой камере; сопло E-D, установленное между камерой предварительного горения и детонационной камерой и включающее проход для диффузионной жидкости, создающий меньше ограничений для потока жидкости в направлении вниз по потоку, чем в направлении вверх по потоку. Предполагается, что эта конфигурация обеспечит эффективное управление противотоком продуктов горения и противодействием, вызванным ударными детонационными волнами в камере сгорания.

Сопло E-D может быть сконфигурировано, как описано выше. С этим соплом E-D восходящий поток жидкости более ограничен, чем нисходящий поток жидкости благодаря тому, что обтекатель направляет, по меньшей мере, часть восходящего потока жидкости из каналов в кольцевой зазор, ограничивая, таким образом,

восходящий поток жидкости, которая течет в кольцевой зазор через канал.

Согласно еще одной цели изобретения, предлагается камера сгорания с повышением давления, содержащая: детонационную камеру, имеющую впускной патрубок и выпускной патрубок, в которой детонационная камера сконфигурирована для создания в ней явления сверхзвукового горения; камеру предварительного горения, связанную по жидкой среде с впускным патрубком детонационной камеры и связанную по жидкой среде с каналом подачи топлива и с каналом подачи окислителя; воспламеняющее устройство, связанное с камерой предварительного горения и предназначенное для воспламенения смеси топлива и окислителя в этой камере; сопло E-D, установленное между камерой предварительного горения и детонационной камерой и включающее путь для диффузионной жидкости между ними; и расширительную камеру, связанную по жидкой среде с входом окислителя и камерой предварительного горения и имеющую объем, выбранный с расчетом снижения противодействия, вызванного детонацией в детонационной камере, до желательного статического давления в расширительной камере. Желательное статическое давление может быть давлением, которое меньше давления окислителя на входе окислителя. Предполагается, что эта конфигурация обеспечит эффективное управление противотоком продуктов горения и противодействием, вызванным ударными детонационными волнами.

Расширительная камера может включать камеру подогрева в тепловом контакте с детонационной камерой и может быть связана по жидкой среде с камерой предварительного горения и с нагнетательной камерой, которая связана по жидкой среде с камерой подогрева и с входом окислителя. Корпус дефлектора может иметь форму усеченного конуса и может быть установлен в нагнетательной камере, чтобы сформировать в нем путь турбулентного потока окислителя.

Согласно еще одной цели изобретения предлагается камера сгорания с повышением давления, содержащая: детонационную камеру, имеющую впускной патрубок и выпускной патрубок, в которой детонационная камера сконфигурирована для создания в ней явления сверхзвукового горения; камеру смешивания топливного окислителя, связанную по жидкой среде с впускным патрубком детонационной камеры и связанную по жидкой среде с каналом подачи топлива и с каналом подачи окислителя; воспламеняющее устройство, связанное с детонационной камерой и предназначенное для воспламенения смеси топлива и окислителя в этой камере; диффузор между смесительной камерой и детонационной камерой и включающий проход для диффузионной жидкости для распыления нисходящего потока жидкости по пути от смесительной камеры до детонационной камеры; и узел аэродинамического клапана на пути подачи окислителя, содержащий, по меньшей мере, один кольцевой сегмент, имеющий отверстие, сужающееся радиально внутрь, чтобы сформировать сопло, имеющее форму усеченного конуса и направленное вниз по потоку, определяя, таким образом, путь подачи окислителя, который создает меньше ограничений в направлении вниз по потоку, чем в направлении вверх по потоку. Камера сгорания с повышением давления может дополнительно содержать, по меньшей мере, один канал окислителя, связанный по жидкой среде с расширительной камерой и со смесительной камерой, когда узел аэродинамического клапана расположен в канале. Предполагается, что эта конфигурация обеспечит эффективное управление противотоком продуктов горения и противодействием, вызванным ударными детонационными волнами в камере сгорания.

Камера сгорания с повышением давления может дополнительно содержать расширительную камеру, связанную по жидкой среде с входом окислителя и со смесительной камерой; эта расширительная камера имеет объем, выбранный с расчетом

снижения противодействия, вызванного детонацией в детонационной камере, до желательного статического давления в расширительной камере. Расширительная камера может быть в тепловом контакте с детонационной камерой, являясь, таким образом, камерой подогрева окислителя, текущего через нее.

5 Описание чертежей

Фигура 1 - перспективный вид спереди импульсно-детонационной камеры сгорания согласно первому варианту воплощения изобретения.

Фигура 2 - перспективный вид сзади импульсно-детонационной камеры сгорания.

10 Фигуры 3(a)-3(c) - вертикальная проекция, частичный вид спереди и частичный вид сзади торцевого узла камеры сгорания.

Фигура 4 - вертикальный разрез части импульсно-детонационной камеры сгорания, содержащей камеру предварительного горения (огнеупорная амбразура).

Фигура 5 - вид спереди с частичным разрезом импульсно-детонационной камеры сгорания.

15 Фигура 6 - изображение в разобранном виде камеры сгорания с показом определенных компонентов торцевого узла камеры сгорания, включая напорный узел, узел камеры сгорания, и торцевой узел.

Фигура 7 - Частичный разрез напорного узла.

Фигура 8 - Частичный разрез узла камеры сгорания.

20 Фигура 9 - перспективный вид вихревого генератора узла камеры сгорания.

Фигуры 10(a) и 10(b) - перспективный вид и вид в разрезе расширительного и отклоняющего сопла (ED) для установки в узле камеры сгорания.

Фигура 11 - перспективный вид сзади импульсно-детонационной камеры сгорания согласно второму варианту воплощения.

25 Фигура 12 - перспективный вид сзади в разрезе второго варианта воплощения импульсно-детонационной камеры сгорания.

Фигура 13 - детализированное представление в разрезе смесительной камеры второго варианта воплощения камеры сгорания.

30 Фигура 14 - перспективный вид в разрезе аэродинамического клапана второго варианта воплощения камеры сгорания.

Подробное описание

Термины, указывающие на направления, такие как "вперед", "назад", "сзади", используются в настоящем описании только с целью указания относительного положения, и не предлагают какие-либо ограничения на то, как любое устройство должно быть установлено во время использования, или должно быть установлено при сборке или с учетом окружающей среды. Например, здесь описаны варианты воплощения импульсно-детонационной камеры сгорания, в которых упоминается "задний конец", где воспламеняется горючая смесь, и "передний конец", откуда выбрасываются продукты сгорания. Точно так же, термином "прямой поток" 35 определяется, что топливный окислитель и поток продуктов горения проходят от впускного патрубка до выходного сопла камеры сгорания, "обратный поток" определяется как поток, идущий в противоположном направлении, и "восходящий поток" и "нисходящий поток", являются терминами, определяющими относительное направление потока через камеру сгорания.

45 Первый вариант воплощения изобретения

Описанный здесь вариант устройства сгорания ("камера сгорания"), которое сконфигурировано для импульсной детонации с повышением давления для эффективного воспламенения смеси топлива и окислителя (например, воздуха), чтобы преобразовать

химическую энергию топлива в полезную тепловую энергию для использования в тепловых установках, или в кинетическую энергию в форме тяги, или для производства механической энергии в соединении с устройством расширения, таким как объемная турбина. Камера сгорания включает камеру подогрева, которая использует фугитивное тепло от сгорания, чтобы нагреть поступающий окислитель по мере того, как он проходит по длине детонационной трубы. Фугитивное тепло используется для нагрева; в противном случае оно было бы потеряно в результате теплопроводности или конвекции, и в данном случае оно используется для подогрева поступающего воздуха или другого окислителя. После подогрева окислитель проходит через вихревой генератор (вихревую форсунку), предназначенную для формирования тангенциального турбулентного потока окислителя, направляемого в камеру предварительного горения (огнеупорную амбразуру). Огнеупорная амбразура и вихревая форсунка создают высокоскоростную вихревую зону, которая усиливает смешивание топлива и окислителя, повышая, таким образом, интенсивность местного горения. Воспламеняющее устройство расположено в огнеупорной амбразуре горелки в области, имеющей, относительно низкоскоростное завихрение, чтобы обеспечить рост первоначально малого ядра пламени.

Огнеупорная амбразура обеспечивает средство начального создания турбулентного пламени, которое расширяется в детонационной камере путем внезапного расширения или прохождения через сужение в виде расширительного отклоняющего сопла (E-D). Эта камера предварительного горения быстро создает турбулентное пламя, которое может значительно уменьшить время, требуемое для DDT по сравнению с камерами сгорания, использующими запальные свечи, обеспечивая, таким образом, более высокую частоту операций и соответствующие улучшенные рабочие характеристики камеры сгорания. Кроме того, камера сгорания снабжена стационарным противодавлением и средством подавления противотока, которое ограничивает или предотвращает противоток продуктов горения через камеру сгорания и противодавление; в частности сопло E-D может быть сконфигурировано так, чтобы препятствовать противотоку и противодавлению, и может быть разработана только одна камера подогрева или в комбинации с камерой области повышенного давления окислителя, чтобы служить как расширительная камера, которая уменьшает противодавление до величины ниже давления подачи окислителя.

Обратимся теперь к фигурам 1-10, на которых, согласно первому варианту воплощения изобретения, импульсно-детонационная камера сгорания 1 (также известная как камера сгорания с повышением давления) содержит, в основном, цилиндрический внешний корпус 2, торцевую крышку 3, прикрепленную к заднему концу камеры сгорания 1, и выпускное сопло 15, расположенное дистально от торцевой крышки 3 и соединенное с передним концом камеры сгорания 1. Сопло 15 в этом варианте воплощения сконфигурировано для соединения с объемным устройством роторного типа (не показано), например, раскрытым в заявке РСТ WO 2010/031173; альтернативно, но не показано, передний выпускной конец камеры сгорания 1 может быть сконфигурирован для создания тяги, заменив сопло 15 реактивным движущим устройством (не показано). Окислитель, такой как воздух, под атмосферным или повышенным давлением вводится в камеру сгорания 1 через впускной патрубок 31, проходящий через внешний корпус камеры сгорания 2. Окислитель подается под давлением компрессором (не показан).

Торцевая крышка 3, показанная на фигурах 3(a)-3(c), содержит форсуночный узел 4, проходящий через торцевую крышку 3 и содержащий встроенный инжектор 24 (см.

фигуру 4), который впрыскивает топливо в камеру предварительного горения 13, определенную здесь как "огнеупорная амбразура" и расположенную в камере сгорания 1. Торцевая крышка 3 также содержит канал воспламенения 5, проходящий через торцевую крышку 3, и в нем установлено воспламеняющее устройство 25 (см. фигуру 4) для воспламенения горючей смеси топлива и окислителя в огнеупорной амбразуре 13. Воспламеняющее устройство 25 имеет достаточную мощность, чтобы воспламенить смесь топлива и окислителя в огнеупорной амбразуре 13 и может генерировать электрическую искру, плазменный импульс или сфокусированный лазерный луч высокой мощности. Загрузочное отверстие 6 снабжает форсуночный узел 4 газообразным или жидким топливом, которое циклически вводится в огнеупорную амбразуру 13 топливным инжектором 24. Порты датчиков 39 и 40 служат для размещения в них датчиков давления и температуры (не показаны) используемых системой управления камеры сгорания (не показана). Топливо, обычно при давлении выше атмосферного вводится в огнеупорную амбразуру 13 через систему подачи топлива, содержащую множество цилиндрических каналов 41 диаметром от 1 до 2 мм и связанных по жидкой среде с узлом 4 инжектора. Эти каналы имеют размер, обеспечивающий распыление топлива при его прохождении через огнеупорную амбразуру 13.

Торцевая крышка 3 прикреплена болтами к заднему концу камеры сгорания 1 у фланца 32, который непосредственно определяет заднее отверстие 12 в камере сгорания 1. Уплотнительный элемент 33, выполненный из термостойкого материала, формирует влагонепроницаемое уплотнение между торцевой крышкой 3 и фланцем 32. Торцы камеры сгорания 1 имеют эллипсоидальную форму и соединены с крепежными фланцами 32 и 30 через влагонепроницаемое уплотнение.

В частности, на фигурах 4 и 5 внутренняя часть камеры сгорания 1 содержит ряд, в основном, цилиндрических корпусов 2, 26, 27, 28, которые определяют ряд связанных по жидкой среде камер, а именно: кольцевую напорную камеру 7 для окислителя между внешним корпусом 2 и корпусом 27 камеры подогрева и связанную по жидкой среде с впускным патрубком 31, кольцевую камеру подогрева окислителя 8 внутри напорной камеры 7 между корпусом 27 камеры подогрева и корпусом 28 детонационной камеры, связанной по жидкой среде с напорной камерой 7, и, в основном, цилиндрическую детонационную камеру 10 внутри камеры подогрева 8 и корпус 28 детонационной камеры, связанной по жидкой среде с камерой подогрева 8. Огнеупорная амбразура 13 связана по жидкой среде с камерой подогрева 8 и расположена в корпусе 27 камеры подогрева между внутренней поверхностью торцевой крышки 3 и задней частью расширительного отклоняющего сопла (E-D) 14. Сопло E-D 14 расположено внутри и в заднем конце корпуса 28 детонационной камеры и, как отмечено выше, выпускное сопло 15 смонтировано на крепежном фланце 30 (см. фигуру 6), расположенном на переднем конце камеры сгорания 1, и связано по жидкой среде с детонационной камерой 10. Как будет обсуждено ниже более подробно, сопло E-D 14 выполнено как средство подавления противотока продуктов горения в направлении вверх по потоку, так же как противодействия детонации в направлении вверх по потоку.

Как наиболее ясно показано на фигуре 7, напорная камера 7 и камера подогрева 8 связаны друг с другом по жидкой среде рядом выполненных по окружности отверстий 29 в кольцевом корпусе 27 камеры подогрева. Усеченно-конический корпус 26 дефлектора расположен в напорной камере 7 и формирует сопло с его широким концом в заднем конце напорной камеры 7 и узким концом, заканчивающимся непосредственно позади отверстий 29 корпуса камеры подогрева и механически прикрепленным к корпусу 27 камеры подогрева. Корпус 26 дефлектора служит как средство затухания

детонационных волн сжатия, распространяющихся в обратном направлении, то есть в направлении потока, текущего из камеры подогрева 8 к напорной камере 7. Как будет
обсуждено ниже более подробно, объем напорной камеры и камеры подогрева 7, 8
выбран так, чтобы использовать эти камеры 7, 8, как расширительную камеру для
5 снижения противодействия до допустимого уровня, обеспечивая, таким образом,
средство снижения противодействия и средство подавления противотока.

Напорная камера 7 и камера подогрева 8, огнеупорная амбразура 13 и детонационная
камера 10 связаны по жидкой среде следующими патрубками и отверстиями: впускной
патрубок 31 открытый в передний конец напорной камеры 7; отверстия 29 в корпусе
10 камеры подогрева, расположенной вблизи переднего конца кольцевой корпуса 27,
обеспечивают жидкостную связь между напорной камерой 7 и камерой подогрева 8;
круглое отверстие 12, выполненное между кольцевыми корпусами 27 и 28 в заднем
конце детонационной камеры 10, обеспечивает жидкостную связь между камерой
подогрева 8 и огнеупорной амбразурой 13, и сопло E-D 14, расположенное между
15 огнеупорной амбразурой 13 и задним концом детонационной камеры 10, обеспечивает
жидкостную связь между этими двумя камерами 10 и 13. Задний конец детонационного
корпуса 28 изогнута внутрь, чтобы определить носовой обтекатель 9, имеющий
полутороидальную форму и определяющий вход в сопло E-D 14.

Кольцевые усеченно-конические корпуса 2, 27, 28 и сопло 26 в камере сгорания 1
20 определяют путь непрерывного турбулентного потока (путь подачи окислителя) из
впускного патрубка 31 к огнеупорной амбразуре 13; более конкретно, окислитель течет
через впускной патрубок 31, через нагнетательную камеру 7, через камеру подогрева
8, через отверстия 29 корпуса подогрева, через вихревую форсунку 11 в камере подогрева
8 и в огнеупорную амбразуру 13 через круглое отверстие 12. Горение начинается в
25 огнеупорной амбразуре 13, где происходит воспламенение топлива и окислителя, и
продолжается в детонационной камере 10, в которой происходит детонация, и затем
выходит из передней части камеры сгорания 1 из которой продукты сгорания
выбрасываются через выпускное сопло 15. Детонационная камера 10 находится в
тепловом контакте с камерой подогрева 8 и сконфигурирована для передачи тепла от
30 камеры сгорания до корпуса 28 детонационной камеры и в камеру подогрева 8, чтобы
нагреть окислитель, поступающий в камеру подогрева 8.

Напорная камера 7 сформирована как замкнутый объем между внешним корпусом
2 и корпусом 27 камеры подогрева. Напорная камера 7, действующая как приемник,
облегчает подачу окислителя (например, воздуха) при давлении выше атмосферного
35 от вентилятора или компрессора (не показан). В соединении с усеченно-коническим
корпусом 26 дефлектора напорная камера 7 также служит для поглощения волн сжатия
от импульсных детонаций, идущих в обратном направлении. Дефлектор усеченно-
конической корпуса 26 имеет свою усеченную часть меньшего диаметра ("передний
конец"), связанную с передним концом корпуса 27 камеры подогрева через
40 влагонепроницаемое уплотнение. Противоположный задний конец корпуса дефлектора
26, расположен между внутренней стенкой внешнего кольцевого корпуса 2 и корпусом
27 камеры подогрева, и заканчивается непосредственно перед задним концом внешнего
корпуса 2, оставляя достаточный промежуток для не ограниченного потока жидкости.
Задний конец усеченно-конического корпуса 26 закреплен на месте перфорированным
45 демпфирующим кольцом 22, установленным на внутренней поверхности внешнего
корпуса 2; перфорация в демпфирующем кольце 22 пропускает поток жидкости через
демпфирующее кольцо 22. Как можно видеть на фигуре 5, детонационные волны сжатия,
идущие в обратном направлении, следовали бы по пути турбулентного потока от

детонационной камеры 10 через огнеупорную амбразуру 13, мимо вихревой форсунки 11, через камеру подогрева 8 и через усеченно-коническую оболочку 26 в напорную камеру 7; все эти факторы вносят свой вклад в подавление или, по меньшей мере, значительное затухание волн сжатия высокой мощности, которые являются результатом импульсной детонации. На практике напорная камера 7 действует как средство подавления противодействия или как "гаситель колебаний", чтобы значительно уменьшить любое воздействия противодействия на компоненты восходящего потока, такие как вентилятор или компрессор, присоединенный к впускному патрубку 31.

Целью средств подавления противодействия, таких как напорная камера 7, усеченно-конический корпус 26 и пути турбулентного потока является значительное снижение интенсивности ударных волн, идущих в направлении вверх по потоку. Повышение давления от детонации может быть не снижено средствами подавления противодействия, но, как предполагается, они будут до некоторой степени задерживать восходящий поток. Детонационные волны сжатия, идущие в направлении восходящего потока, дополнительно сжимают жидкость, уже имеющуюся во входных камерах, что является желательным. Волны давления в направлении потока от детонации будут препятствовать прямоотуку в камеру сгорания, подобно действию механического клапана.

Камера подогрева 8 формируется кольцевым пространством, созданным между корпусом 27 камеры подогрева и корпусом 28 детонационной камеры; передний конец камеры подогрева 8 заглушен и уплотнен по жидкости фланцевой частью сопла 15.

Напорная камера 7 и камера подогрева 8 вместе являются расширительной камерой, которая имеет достаточный объем, чтобы снизить противодействие от детонационной камеры 10. Более конкретно, общий объем напорной камеры 7 и камеры подогрева 8 больше объема детонационной камеры 10 так, что статическое давление в напорной камере 7 снижено до выбранной степени давления детонации в детонационной камере 10. Расширение (противодействие) газа может быть аппроксимировано как адиабатический процесс, поскольку расширение происходит за очень короткий промежуток времени. Взаимосвязь давления и объема для адиабатического процесса выражается отношением:

$$P \cdot V^\gamma = \text{константа}$$

Следовательно, объем камеры расширения V_e может быть получен с помощью уравнения

$$P_d V_d^\gamma = P_e V_e^\gamma$$

где P и V являются давлением и объемом камер, соответственно, а нижний индекс "d" представляет детонационную камеру и индекс "e" представляет расширительную

камеру. Коэффициент " γ " называют адиабатическим индексом, который является

свойством газа. Объем и давление детонационной камеры в виде величин V_d , P_d обычно диктуются рабочими условиями камеры сгорания, и давление P_e расширительной камеры может быть продиктовано определенными конструктивными ограничениями, такими как предел напряжения стенок расширительной камеры. Если расширительная камера имеет обратный клапан (не показан), давление P_e расширительной камеры может быть выбрано по уровню регулирования давления обратным клапаном.

Альтернативно, напорная камера 7 и камера подогрева могут иметь объемом,

который позволяет только одной камере служить расширительной камерой.

Чтобы облегчить производство и облегчить доступ при обслуживании, камера сгорания 1 разделена на три узла, как показано на фигуре 6; а именно узел торцевой крышки 3, напорной узел 35 и узел 36 камеры сгорания. Уплотнительные элементы 33 и 34 являются металлическими герметизирующими элементами, разработанными для поддержания положительного давления в камере сгорания.

На фигуре 7 напорной узел 35 состоит из внешнего корпуса 2, корпуса 27 камеры подогрева, усеченно-конического корпуса 26 дефлектора, отражательной пластины 22, впускного патрубка 31, монтажного фланца 30, к которому сопло 15 крепится болтами, и монтажного фланца 30, который соединен с торцевой крышкой 3.

На фигуре 8, узел камеры сгорания 36 включает корпус 28 детонационной камеры, сопло 15, установленное на переднем конце корпуса 28 детонационной камеры, вихревую форсунку 11, установленную на внешней поверхности корпуса 28 детонационной камеры вблизи ее заднего конца, ряд спиралей Шелкина 82, установленных на внутренней поверхности корпуса 28 детонационной камеры, и сопло E-D 14, расположенное в заднем конце корпуса 28 детонационной камеры в носовом обтекателе 9 перед спиралью Шелкина 82. Носовой обтекатель 9 служит для подачи потока окислителя радиально внутрь в огнеупорную амбразуру 13. Вихревая форсунка 11 насажена на носовой обтекатель 9 и на сопло E-D 14 и механически соединена с корпусом детонационной камеры 28.

Спирали Шелкина 82 размещены на внутренней поверхности корпуса 28 детонационной камеры, могут быть винтообразного типа и в одном виде могут быть вставкой типа вставного спирального элемента, жестко закрепленного на корпусе 28 детонационной камеры. Расстояние между поворотами спиральной части спиралей Шелкина может увеличиться по частоте или, иными словами, шаг между спиралью может быть уменьшен (или в некоторых случаях увеличен в зависимости от степени расширения газа) в соответствии с рабочими параметрами камеры сгорания.

Вихревая форсунка 11 является вихревым генератором для предварительного перемешивания и расположена в заднем конце камеры подогрева 8, которая направлена к отверстию 12 и вставлена в огнеупорную амбразуру 13. Как показано на фигуре 9, вихревая форсунка 11 создает турбулентность в потоке окислителя, чтобы обеспечить быстрое смешивание топлива и окислителя в огнеупорной амбразуре 13. Вихревая форсунка 11 состоит из нескольких спиральных лопаток, расположенных вокруг полой трубки или втулки. Лопатки имеют скрученную конфигурацию, и поверхность лопастей отходит от направления по оси с увеличением радиуса. Параметр закрутки вихревой форсунки 11 зависит от определения соответствующих вихревых скоростей для оптимизации смешивания окислителя и топлива. Параметр закрутки может быть вычислен, используя то же самое уравнение, которое используется для расчета прямых лопастей. В книге "Combustion Aerodynamics" by J.M. Beer and N.A. Chigier, R.E. Krieger Publishing Company, 1983. Параметр закрутки S осевой лопастной вихревой форсунки определяется формулой

$$S = \frac{2}{3} \left[\frac{1 - \left(\frac{d_k}{d_o}\right)^3}{1 - \left(\frac{d_k}{d_o}\right)^2} \right] \tan \theta$$

Где:

d_o = внешний диаметр лопатки

d_h = ступица или внутренний диаметр лопатки

Q = угол отклонения между осевым направлением лопатки и тангенциальным направлением лопатки.

5 Подходящий параметр закрутки лежит между 0,3 и 0,6. Вихревая форсунка 11 в одном варианте воплощения имеет угол отклонения 30° , который соответствует параметру закрутки 0,51. Вихревая форсунка 11 передает тангенциальную область потока окислителя в огнеупорную амбразуру 13. Вихревая форсунка 11 рассчитана на падение давления и на создание достаточной турбулентности потока, чтобы облегчить
10 быстрое смешивание топлива в огнеупорной амбразуре 13.

Турбулентность имеет эффект значительного улучшения качества топлива и окислителя, смешанного таким образом, и повышение локальной мощности сгорания. На фигуре 4, отверстие 12 цилиндрически граничит с носовым обтекателем 9 и с внутренней поверхностью торцевого фланца 32; носовой обтекатель 9 формирует
15 оболочку, которая изгибается внутрь и назад в огнеупорную амбразуру 13. Присутствие носового обтекателя 9 дополнительно преломляет область тангенциального потока радиально внутрь к центру огнеупорной амбразуры 13 благодаря эффекту Коанда. Предполагается, что распределенный впрыск топлива в вихревой воздушный поток благодаря эффекту Коанда и вихревой форсунки 11, будет быстро и эффективно
20 смешивать топливо и воздух в огнеупорной амбразуре 13.

Объем огнеупорной амбразуры 13 определяется внутренней поверхностью торцевой крышки 3, которая определяет выпускной патрубок в огнеупорной амбразуре, концевой пластиной сопла E-D 14, которая определяет выпускной патрубок в огнеупорной амбразуре 13, и внутренней поверхностью корпуса 27 камеры подогрева, которая
25 определяет окружной периметр огнеупорной амбразуры 13. Пересечение носового обтекателя 9 и внутренней поверхности корпуса 27 камеры подогрева определяет круглое отверстие 12, которое сообщается с кольцевым выпускным патрубком камеры подогрева 8. Как отмечено выше, комбинация круглого отверстия, корпуса носового обтекателя и вихревой форсунки 11 заставляет окислитель, текущий в огнеупорную
30 амбразуру, течь в виде тангенциального турбулентного потока, создавая, таким образом, внешнюю зону в камере предварительного горения, которая имеет относительно более высокую скорость жидкости (высокоскоростную вихревую зону), чем в центральной зоне камеры предварительного горения (низкоскоростная вихревая зона). Отметим, что выпускные отверстия 41 на пути подачи топлива расположены в высокоскоростной
35 вихревой зоне, чтобы обеспечить эффективное смешивание топлива с окислителем в этой высокоскоростной вихревой зоне, а воспламеняющее устройство расположено в низкоскоростной вихревой зоне, чтобы обеспечить эффективное воспламенение смеси топлива и окислителя в этой зоне.

Топливо циклически впрыскивается в огнеупорную амбразуру 13 и поскольку поток окислителя обладает высокой турбулентностью, входящее в огнеупорную амбразуру
40 13 топливо, быстро смешивается с окислителем прежде, чем оно поступит в детонационную камеру 10. Турбулентный поток в огнеупорной амбразуре 13 направлен через отверстия 20 и каналы 21, сформированные в сопле E-D 14, чтобы заполнить детонационную камеру 10 горючей смесью (см. фигуру 10).

45 Сопло E-D 14 является диффузором, который служит для расслоения топлива/воздушной смеси по мере ее поступления в детонационную камеру 10. Кроме того, сопло E-D 14 само по себе и в комбинации с носовым обтекателем 9 в этом варианте воплощения служит средством подавления противотока, которое будет препятствовать

возникновению противотока, а также будет подавлять ударные волны. Чтобы достичь этих целей, сопло E-D 14 имеет, в основном, цилиндрический корпус с проходящим через него отверстием, кольцевой фланец, выходящий за пределы корпуса и входящий в контакт с внешним фланцем корпуса 28 детонационной камеры, и концевую пластину у впускного патрубка цилиндрического корпуса. Сопло E-D 14 снабжено многочисленными отверстиями, а именно, имеет окружные отверстия 20 в цилиндрическом корпусе и каналы 21 в концевой пластине; эти отверстия служат для прохода потока жидкости к детонационной камере 10 с относительно небольшим сопротивлением, но которые сами по себе и в соединении с носовым обтекателем 9, показанным на фигуре 4, значительно ограничивают противоток и подавляют ударные волны детонации, идущие в обратном направлении к огнеупорной амбразуре 13. Более конкретно, корпус сопла E-D отделен от корпуса детонационной камеры так, что определяется кольцевое пространство и окружные отверстия 20 открытые в это кольцевое пространство; таким образом, поток жидкости мог бы свободно течь в направлении вниз через главное отверстие, так же как через окружные отверстия 20.

Каналы 21 расположены под углом к оси отверстия и ориентированы по направлению к носовому обтекателю 9, чтобы реверсировать или создать противоток невоспламененного топлива и окислителя и продуктов горения (все вместе "выхлопные газы") от детонационной камеры 10 в выхлопной противоток, выходящий из отверстий 20 в кольцевое пространство, препятствуя, таким образом, прохождению значительной части выхлопа в огнеупорную амбразуру 13 и дополнительно ограничивая противоток к камере подогрева 8. Иными словами, эти особенности обуславливают поворот части выхлопных газов на 180 градусов и их движение в противоположном направлении остальной части выхлопного противотока; для этого используется динамическое давление газов, чтобы они работали против обратного давления и удерживали поток выхлопных газов от дальнейшего движения к камере подогрева 8.

Как описано выше, камера сгорания 1, сопло E-D 14, расширительная камера 7, 8 и усеченно-конический корпус дефлектора 26 каждый функционирует, как стационарный ограничитель противотока, и компоненты подавления противодавления в камере сгорания 1 действуют вместе, чтобы подавить или захватить противоток, вызванный противодавлением от реакции сгорания. При этом камера сгорания 1 не имеет размещенных на входе механических клапанов, чтобы предотвратить противоток. Поскольку входные клапаны имеют тенденцию быстро выходить из строя в обычных импульсно-детонационных камерах сгорания, ожидается, что стационарные компоненты подавления противотока 7, 8, 14 и 26 будут более надежными и, таким образом, будут более эффективными, чем входные клапаны и другие подвижные средства подавления противотока.

Работа

Работа камеры сгорания 1 будет теперь обсуждена на примере одного цикла детонации. Камера сгорания 1 может генерировать десятки и сотни циклов детонации в секунду, чтобы генерировать фактически непрерывно отдаваемую мощность. Сначала окислитель, например, воздух подается через впускной патрубок 31 через внешнюю напорную камеру 7 в камеру подогрева 8, где он подогревается теплом от прежних детонаций в детонационной камере 10; затем горячий воздух проходит через круглое отверстие 12 в огнеупорную амбразуру 13. Во время стадии заполнения подогретый окислитель проходит через вихревую форсунку 11, которая создает турбулентную зону потока, когда он входит в огнеупорную амбразуру 13. Затем топливо всprysкивается в огнеупорную амбразуру 13 топливным инжектором через множество отверстий 41 в

торцевой крышке 3 в направлении высокоскоростной вихревой зоны камеры предварительного горения. Топливо подается под давлением через небольшие отверстия в огнеупорную амбразуру 13 в виде распыленной жидкости. Распыленное топливо затем входит в контакт с турбулентным потоком окислителя в огнеупорной амбразуре 13, что обеспечивает эффективное смешивание топлива и окислителя. Температура в 5 огнеупорной амбразуре 13 достаточна для испарения до возникновения события горения, что дает камере сгорания возможность использования многих видов топлива.

Заряд топлива и окислителя затем проходит через отверстия 20, 21, и через сопло E-D 14 в детонационную камеру 10. Вспрыск топлива продолжается в течение 10 выбранного промежутка времени, определяемого блоком управления (не показан).

Предусмотрен период задержки между временем, когда топливный инжектор 24 закрыт и воспламеняющее устройство 25 включено, и пуском процесса горения. После того, как детонационная камера 10 полностью заполнена смесью топлива и окислителя, детонация инициируется воспламеняющим устройством 25, которое может создавать 15 электрический искровой разряд, плазменный импульс или лазерный импульс. Процесс начинается с воспламенения горючей смеси топлива и окислителя в огнеупорной амбразуре 13, в котором присутствует область тангенциального потока, имеющего самую высокую скорость вдоль внешних областей камеры (где имеется распыленное топливо), и самую низкую вихревую скорость в ее центре. Поскольку воспламеняющее 20 устройство 25 расположено в центральной части огнеупорной амбразуре 13, где вихревая скорость является относительно низкой, может быть создано относительно малое ядро пламени, которое затем может быть увеличено.

Воспламенение в огнеупорной амбразуре 13 приводит к дефлаграции и последующему повышению давления в огнеупорной амбразуре 13, фронт пламени расширяется и 25 проходит через сопло E-D 14 в детонационную камеру 10, где он воспламеняет оставшуюся горючую смесь. Турбулентное расширение передней части пламени и объединенная волна сжатия, когда она выходит из сопла E-D 14 в детонационную камеру 10, вызывает квазидетонации, которые инициируют детонацию горючей смеси в детонационной камере 10. Разница в плотности горящего газа и холодного негорящего 30 газа приводит к расширению потока перед пламенем. Этот расширенный поток становится турбулентным, поскольку он взаимодействует с препятствиями. Генераторы турбулентности, такие как спирали Шелкина 82 на выходе потока E-D 14 из сопла, увеличивают турбулентность, которая ускоряет фронт пламени, пока оно не достигает условия Чапмана-Джокета (Chapman-Jouguet), известного как идеальная скорость 35 детонации, при которой фронт пламени присоединяется к ударным волнам, когда он проходит через оставшуюся горючую смесь в детонационной камере 10 и к выпускному соплу 15.

Большие вихри имеют тенденцию увеличивать эффективную поверхность пламени, что приводит к ускорению пламени. Вихри меньшего масштаба увеличивают 40 теплопередачу и массообмен в зоне подогрева пламени, что приводит к уплотнению реакционной зоны и увеличению скорости реакции.

Камера предварительного горения, в частности огнеупорная амбразура 13 используется в камере сгорания 1 как средство начального создания высоко турбулентного пламени, которое может увеличиться в детонационной камере путем 45 внезапного расширения или путем прохождения через сужение в виде сопла E-D. Эта камера предварительного горения быстро создает турбулентное пламя, которое может уменьшить время, требуемое для процесса DDT по сравнению с камерами сгорания, использующими воспламенение запальными свечами.

Второй вариант воплощения

Обратимся теперь к фигурам 11-14 на которых, согласно второму варианту воплощения изобретения, показана камера сгорания 101 с повышением давления, конструктивно подобная камере сгорания 1 первого варианта воплощения, и имеет камеру подогрева 121, детонационную камеру 110, содержащую трубчатую камеру сгорания 119 со спиралью Шелкина 132 внутри и выходным соплом 120, удаленным от центра смесительной камеры 113 и присоединенным к переднему концу камеры сгорания 101. Сопло 120 камеры сгорания 101 в этом варианте воплощения предназначено для использования в объемном устройстве роторного типа (не показано); или альтернативно, выпускной конец сопла может быть средством тяги, заменив сопло 120 сужающимся-расширяющимся соплом (не показано).

В отличие от первого варианта воплощения, эта вторая камера сгорания с повышением давления варианта воплощения 101 не имеет камеры предварительного горения 13, где топливо и окислитель смешиваются и воспламеняются, и не имеет сопла E-D 14. Вместо этого во втором варианте воплощения используется камера 113 для смешивания топлива с окислителем, где окислитель и топливо смешиваются турбулентно, диффузор 114 для успокоения и расслоения смеси топлива и окислителя, вытекающего из смесительной камеры 113 в детонационную камеру 110, и воспламеняющее устройство 125, которое расположено под диффузором 114. Другими словами, воспламенение смеси топлива и окислителя происходит в детонационной камере 110, а не в камере предварительного горения 10, как в первом варианте воплощения. Отклоняющееся сопло 115 соединяет камеру смешивания 113 меньшего диаметра с детонационной камерой 110 большего диаметра; диффузор 114 расположен непосредственно под этим отклоняющим соплом 115.

Как показано на фигуре 12, окислитель подается в камеру смешивания 113 через путь подачи окислителя, определенный как впускной патрубок 106, через камеру подогрева 121, через каналы подачи окислителя 122 и затем в камеру смешивания 113. Поток окислителя в камеру смешивания является турбулентным. Каналы подачи окислителя 122 содержат узел 139, содержащий ряд аэродинамических клапанов, которые используются для подавления противотока через путь подачи окислителя, как будет обсуждено ниже.

Топливо из патрубка 135 подачи топлива впрыскивается в камеру смешивания 113 топливным инжектором 124, и смешивается с окислителем в камере смешивания 113, чтобы получить смесь топлива и окислителя. Эта смесь топлива и окислителя затем проходит через диффузор 114 в детонационную камеру 110. Воспламеняющее устройство 125 инициирует процесс дефлаграции заряда топлива и окислителя, который переходит непосредственно в стадию детонации, по мере движения фронта пламени вперед к переднему концу камеры сгорания 101, где выхлопные газы выбрасываются через сопло 120.

После воспламенения заряда дефлаграция быстро преобразуется в детонацию после того, как фронт пламени пройдет по длине детонационной камеры 110. Расстояние разгона (называемое как "переход от дефлаграции к детонации" (DDT) зоны в трубе детонации 119) находится между точкой, где воспламеняется заряд, и точкой входа в напорное сопло 120. Спираль Шелкина 132 поддерживает и ускоряет указанный переход, увеличивая турбулентность пламени, вызванную спиральными змеевиками по пути детонации. Альтернативно, вместо спирали Шелкина 132 могут быть использованы другие компоненты, такие как канавки или препятствия, размещенные вдоль пути детонации. Длина спирали Шелкина 132 или препятствия, размещенного по пути DDT,

должна быть, по меньшей мере, в 10 раз больше внутреннего диаметра детонационной трубы 119 и иметь коэффициент загрузки рабочего сечения больше 33%, но меньше 65% для оптимальной эффективности.

5 Воспламеняющее устройство 125 содержит множество воспламенителей, радиально установленных в детонационной камере 110 несколько ниже диффузора 114. Каналы воспламенителей снабжены охлаждающими ребрами 134, которые отводят тепло при горении. Воспламенители могут быть включены параллельно или последовательно в каждом цикле. Каналы воспламенителей составляют, по меньшей мере, половину, но не больше половины и одной четверти внутреннего диаметра детонационной трубы 10 119, при измерении от центра передней поверхности диффузора 114 до центра воспламеняющих устройств 125. Воспламенители должны обладать достаточной мощностью, чтобы воспламенить горючую смесь, и могут быть типа автомобильной запальной свечи или, альтернативно, могут быть импульсной лазерной системой воспламенения или высокоэнергетическим источником плазмы.

15 Камера подогрева 121 во втором варианте воплощения конструктивно подобна первому варианту воплощения, в котором тепловая связь детонационной трубы 119 с камерой подогрева 121 позволяет передавать тепло от реакции детонации до окислителя, подаваемого в камеру подогрева 121. Эффективность теплопередачи дополнительно 20 увеличена наличием множества дефлекторов 118, которые равномерно расположены в пределах камеры подогрева 121; в каждом дефлекторе 118 имеются отверстия, позволяющие окислителю проходить через дефлектор. Как и в первом варианте воплощения, камера подогрева 121 также может служить расширительной камерой с выбранным объемом, чтобы уменьшить статическое давление до требуемого значения, которое может быть меньше, чем давление на входе, чтобы предотвратить противоток 25 из впускного устройства.

После каждого цикла детонации волны противодействия гасятся, во-первых, столкновением со средствами подавления противодействия, такими как диффузор 114, которые устраняют большую часть ударных волн; гашение этих ударных волн также имеет эффект снижения противотока. Поток в обратном направлении дополнительно 30 подавляется узлом 139 с аэродинамическими клапанами в каждом канале подачи окислителя 122. Узел 139 с аэродинамическими клапанами является стационарным компонентом подавления противотока без движущихся частей. Как показано на фигуре 13, форма аэродинамического узла 139 сконфигурирована так, чтобы препятствовать движению газа в обратном направлении, направляя часть противотока в прямоток 35 окислителя.

Узел 139 с аэродинамическими клапанами, показанный на фигуре 14, выполнен из нескольких частей, включающих дополнительный компонент, которая соединяет узел 139 с каналом 122, и множество кольцевых сегментов 138, которые свинчены вместе, чтобы сформировать узел 139 с последним сегментом, ввинченным во впускной патрубок 40 116 корпуса смесительной камеры. Каждый кольцевой сегмент 138 имеет внутреннюю резьбу на одном конце (проксимальный конец), согласованную с внешней резьбой на дистальном конце смежного сегмента кольца 138. Каждый кольцевой сегмент также имеет внутреннее отверстие, которое сужено радиально внутрь и формирует сопло, имеющее форму усеченного конуса, направленного торцевой частью вниз. Множество 45 перепускных отверстий, просверленных во внутреннем выступе сопла, помогают перенаправить часть потока назад в основной поток (не показано).

Любой обратный поток, которое проходит через узел 139 аэродинамических клапанов 138, будет затем течь в камеру подогрева 121; если камера подогрева также служит как

расширительная камера, обратный поток расширяется и давление падает до желательного статического давления. Как и в первом варианте воплощения, объем расширительной камеры может быть выбран с целью уменьшить статическое давление до требуемого значения, которое может быть меньше давления на входе, чтобы
5 предотвратить противоток из входа.

Дополнительно (не показано на чертежах), камера подогрева/напорная камера 121 может также включать усеченно-конический дефлектор, аналогичный дефлектору в первом варианте воплощения. Такой дефлектор создает более турбулентный путь окислителя и, таким образом, увеличивает эффект подавления противотока и
10 противодавления в камере 121. Конструкция дефлекторов 118 может быть изменена, чтобы обеспечить их сопряжение с ответным элементом.

Хотя выше были описаны и показанные на чертежах конкретные варианты воплощения изобретения, следует понимать, что возможны и другие варианты воплощения. Специалистам понятно, что могут иметь место изменения и модификации
15 описанных выше вариантов воплощения, не выходя из объема изобретения возможны.

(57) Формула изобретения

1. Камера сгорания с повышением давления, содержащая:

детонационную камеру, имеющую впускной патрубок и выпускной патрубок, при
20 этом детонационная камера сконфигурирована для создания в ней явления сверхзвукового горения;

камеру предварительного горения, имеющую выпускной патрубок, связанный по жидкой среде с впускным патрубком детонационной камеры, впускной патрубок, связанный с каналом подачи топлива, корпус, внутренняя поверхность которого
25 определяет окружной периметр между впускным и выпускным патрубками, и круглое отверстие, связанное с кольцевым каналом подачи окислителя;

вихревой генератор для закрутки окислителя на пути подачи окислителя, содержащий лопатки, преобразующие окислитель, текущий мимо лопаток в камеру предварительного горения в тангенциальный турбулентный поток, создавая, таким образом,
30 высокоскоростную вихревую зону вокруг круглого отверстия и низкоскоростную вихревую зону в центральной части камеры предварительного горения;

расширительно-отклоняющее сопло (E-D) между камерой предварительного горения и детонационной камерой, обеспечивающее диффузионный путь жидкости между ними;
и

35 воспламеняющее устройство в контакте с низкоскоростной вихревой зоной камеры предварительного горения.

2. Камера сгорания по п. 1, в которой путь подачи топлива имеет отверстие, размер которого позволяет распылять топливо, всprysкиваемое в камеру предварительного горения.

40 3. Камера сгорания по п. 2, в которой отверстие на пути подачи топлива сообщается с высокоскоростной вихревой зоной камеры предварительного горения.

4. Камера сгорания по п. 1, в которой лопатки вихревого генератора выполнены в виде спирали на кольцевом пути подачи окислителя.

5. Камера сгорания по п. 1, в которой сопло E-D содержит:

45 в основном, цилиндрический корпус с внутренним отверстием, имеющий выпускной патрубок, связанный по жидкой среде с детонационной камерой; входной патрубок и, по меньшей мере, один расположенный по окружности канал в корпусе, связанный по жидкой среде с центральным отверстием;

кольцевой обод, выступающий из корпуса и входящий в контакт с внешним ободом впускного патрубка детонационной камеры;

в основном, цилиндрический обтекатель, который проходит от кольцеобразного обода мимо впускного патрубка цилиндрического корпуса так, что между обтекателем и цилиндрическим корпусом определяется кольцевое пространство; и

концевая пластина у впускного патрубка центрального отверстия, имеющая, по меньшей мере, один диффузионный канал, проходящий через пластину и обеспечивающий жидкостную связь между отверстием и камерой предварительного горения;

в котором диффузионный канал и отверстие обеспечивают диффузионный путь между камерой предварительного горения и детонационной камерой.

6. Камера сгорания по п. 5, в которой обтекатель имеет оболочку частично тороидальной формы и проходит в камеру предварительного горения в достаточной близости от круглого отверстия в ней, чтобы создать эффект Коанда, который отклоняет текущий окислитель тангенциально и радиально внутрь к центру камеры предварительного горения.

7. Камера сгорания по пункту 6, в которой концевая пластина содержит множество диффузионных каналов, каждый из которых проходит под углом наружу от отверстия, так, что каждый канал направлен к внутренней поверхности обтекателя, а не к камере предварительного горения.

8. Камера сгорания по п. 7, дополнительно содержащая торцевую крышку, определяющую впускной патрубок камеры предварительного горения и содержащую путь подачи топлива и канал воспламенения, открывающийся в центральную часть камеры предварительного горения и связанный с воспламеняющим устройством.

9. Камера сгорания по п. 1, в которой воспламеняющее устройство выбрано из группы, состоящей из электрического источника искрового разряда, источника плазменных импульсов и источника лазерных импульсов.

10. Камера сгорания по п. 1, дополнительно содержащая расширительную камеру, связанную по жидкой среде с каналом подачи окислителя между огнеупорной амбразурой и входом окислителя, в которой расширительная камера имеет объем, рассчитанный на снижение противодавления обратного потока в расширительную камеру до желательного статического давления, которое меньше давления окислителя на входе окислителя.

11. Камера сгорания по п. 10 дополнительно содержащая камеру подогрева, термически связанную с детонационной камерой, и напорную камеру окислителя, связанную по жидкой среде с камерой подогрева и входом окислителя.

12. Камера сгорания по п. 11, в которой напорная камера окислителя содержит усеченно-конический корпус дефлектора, который определяет путь подачи турбулентного потока окислителя в напорной камере окислителя, и который служит как препятствие противотоку продуктов горения и снижает противодавление, вызванное ударными детонационными волнами.

13. Способ эксплуатации камеры сгорания с повышением давления, содержащий стадии:

тангенциальную и турбулентную подачу окислителя в камеру предварительного горения, чтобы сформировать высокоскоростную вихревую зону во внешней части камеры предварительного горения и низкоскоростную вихревую зону во внутренней части камеры предварительного горения;

впрыск топлива в высокоскоростную вихревую зону камеры предварительного

горения;

подачу смеси топлива и окислителя в детонационную камеру, связанную по жидкой среде с камерой предварительного горения;

после выбранного периода задержки происходит воспламенение топлива и окислителя в низкоскоростной вихревой зоне камеры предварительного горения, чтобы сформировать ядро пламени, и

направление передней части пламени, сформированной из ядра пламени, через расширительное отклоняющее сопло (E-D) в детонационную камеру так, чтобы окислитель и топливо в детонационной камере детонировали, вызывая явление сверхзвукового горения, в котором фронт пламени становится связанным с ударной волной и распространяется через детонационную камеру на звуковых скоростях.

14. Камера сгорания с повышением давления, содержащая:

детонационную камеру, имеющую впускной патрубков и выпускной патрубков, при этом детонационная камера сконфигурирована для создания в ней явления сверхзвукового горения;

камеру предварительного горения, связанную по жидкой среде с впускным патрубком детонационной камеры и связанную по жидкой среде с каналом подачи топлива и с каналом подачи окислителя;

воспламеняющее устройство, связанное с камерой предварительного горения и предназначенное для воспламенения смеси топлива и окислителя в этой камере;

расширительное отклоняющее сопло (E-D) между камерой предварительного горения и детонационной камерой, включающей проход для диффузионной жидкости, создающей меньше ограничений для потока жидкости в направлении вниз по потоку, чем в направлении вверх по потоку.

15. Камера сгорания по п. 14, в которой сопло E-D, содержит:

в основном, цилиндрический корпус с внутренним отверстием, имеющий выпускной патрубок, связанный по жидкой среде с детонационной камерой, впускной патрубков и, по меньшей мере, один размещенный по окружности канал в корпусе, который связан по жидкой среде с отверстием;

кольцевой обод, выступающий из корпуса и входящий в контакт с внешним ободом впускного патрубка детонационной камеры;

в основном, цилиндрический обтекатель, размещенный с интервалом от корпуса, который отходит от кольцеобразного обода и проходит рядом с впускным патрубком цилиндрического корпуса и заканчивается радиальной, изогнутой внутрь оболочкой так, что между обтекателем и цилиндрическим корпусом образуется кольцевое пространство; и

концевую пластину у впускного патрубка, имеющую, по меньшей мере, один диффузионный канал, проходящий через пластину, в которой, по меньшей мере, один диффузионный канал проходит под углом таким образом, что канал соединен с отверстием и направлен на обтекатель;

в котором восходящий поток жидкости более ограничен, чем нисходящий поток жидкости благодаря тому, что обтекатель направляет, по меньшей мере, часть восходящего потока жидкости из каналов в кольцевое пространство, ограничивая, таким образом, восходящий поток жидкости, которая течет в кольцевое пространство через каналы.

16. Камера сгорания по п. 14, в которой корпус имеет частично тороидальную форму и проходит в камеру предварительного горения в достаточной близости от канала подачи окислителя, чтобы создать эффект Коанда, который отклоняет тангенциально

текущий окислитель во внешней области камеры предварительного горения радиально внутрь к центральной области камеры предварительного горения.

17. Камера сгорания с повышением давления, содержащая:

детонационную камеру, имеющую впускной патрубков и выпускной патрубков, причем
5 детонационная камера формируется с учетом создания в ней явления сверхзвукового горения;

камеру предварительного горения, связанную по жидкой среде с впускным патрубком детонационной камеры и связанную по жидкой среде с системой подачи топлива и с каналом подачи окислителя;

10 воспламеняющее устройство, связанное с камерой предварительного горения и предназначенное для воспламенения смеси топлива и окислителя в этой камере;

расширительное отклоняющее сопло (E-D), расположенное между камерой предварительного горения и детонационной камерой и содержащее диффузионный канал для прохода жидкости между ними;

15 расширительную камеру, связанную по жидкой среде с входом окислителя и с камерой предварительного горения и имеющую объем, выбранный с расчетом снижения противодействия, вызванного детонацией в детонационной камере, до желательного статического давления в расширительной камере.

18. Камера сгорания по п. 17, в которой выбранный объем расширительной камеры
20 зависит от выбранного давления в расширительной камере, объема детонационной камеры и давления детонации в детонационной камере.

19. Камера сгорания по п. 18, в которой расширительная камера содержит обратный клапан, имеющий настройку разгрузки давления, и выбранное давление в расширительной камере регулируется настройкой разгрузки давления.

20. Камера сгорания по п. 18, в которой расширительная камера содержит камеру
25 подогрева в тепловом контакте с детонационной камерой, связанную по жидкой среде с камерой предварительного горения, и напорную камеру, связанную по жидкой среде с камерой подогрева и с входом окислителя.

21. Камера сгорания по п. 1, дополнительно содержащая корпус дефлектора,
30 установленный в напорной камере и служащий для формирования пути турбулентного потока окислителя в ней.

22. Камера сгорания по п. 21, в которой корпус дефлектора имеет усеченно-коническую форму.

23. Камера сгорания по п. 18, в которой расширительная камера содержит камеру
35 подогрева в тепловом контакте с детонационной камерой.

24. Камера сгорания по п. 18, в которой расширительная камера содержит напорную камеру, связанную по жидкой среде с камерой подогрева и с входом окислителя.

25. Камера сгорания с повышением давления, содержащая:

детонационную камеру, имеющую впускной патрубков и выпускной патрубков, при
40 этом детонационная камера формируется с расчетом создания в ней явления сверхзвукового горения;

камеру смешивания топлива и окислителя, связанную по жидкой среде с впускным патрубком детонационной камеры и связанную по жидкой среде с каналом подачи топлива и с каналом подачи окислителя;

45 воспламеняющее устройство, связанное с детонационной камерой и предназначенное для воспламенения смеси топлива и окислителя в этой камере;

диффузор между смесительной камерой и детонационной камерой, включающий проход для диффузионной жидкости для распыления нисходящего потока жидкости

по пути от смесительной камеры до детонационной камеры;

узел аэродинамического клапана на пути подачи окислителя, содержащий, по меньшей мере, один кольцевой сегмент, имеющий отверстие, сужающееся радиально внутрь, чтобы сформировать сопло, имеющее форму усеченного конуса и направленное вниз по потоку, определяя, таким образом, путь подачи окислителя, который создает меньше ограничений в направлении вниз по потоку, чем в направлении вверх по потоку.

26. Камера сгорания по п. 25, дополнительно содержащая расширительную камеру, связанную по жидкой среде с входом окислителя и со смесительной камерой и имеющую объем, выбранный с расчетом снижения противодавления, вызванного детонацией в детонационной камере, до желательного статического давления в расширительной камере.

27. Камера сгорания по п. 26, дополнительно содержащая, по меньшей мере, один канал окислителя, связанный по жидкой среде с расширительной камерой и со смесительной камерой, когда узел аэродинамического клапана расположен в указанном канале.

28. Камера сгорания по п. 26, в которой расширительная камера, находится в тепловом контакте с детонационной камерой, которая, таким образом, служит камерой подогрева для нагрева текущего через нее окислителя.

20

25

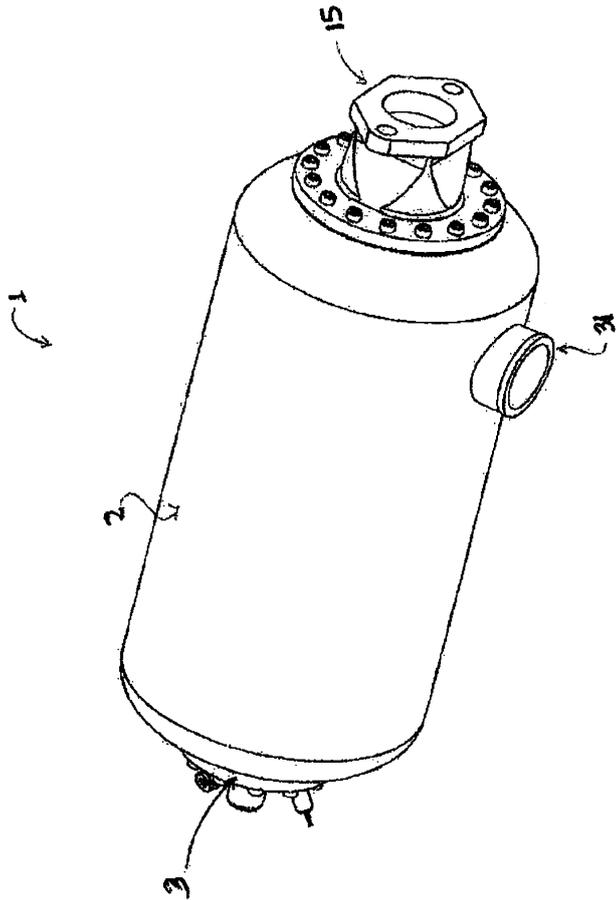
30

35

40

45

1

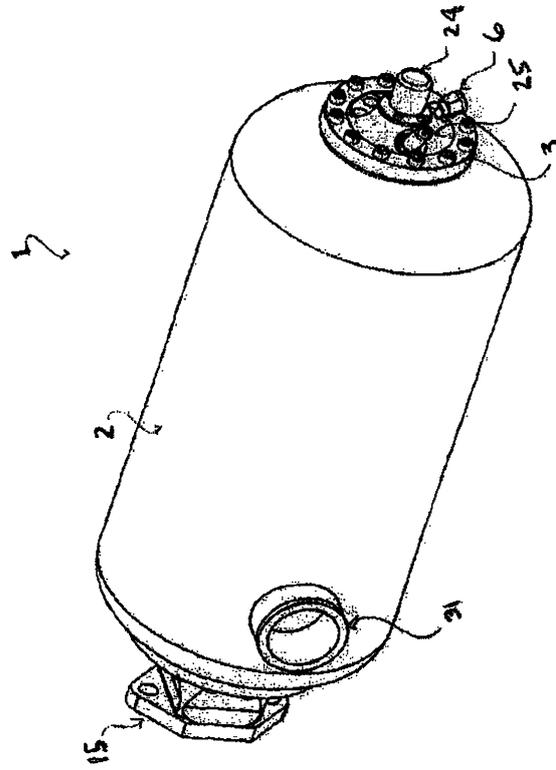


Фигура 1

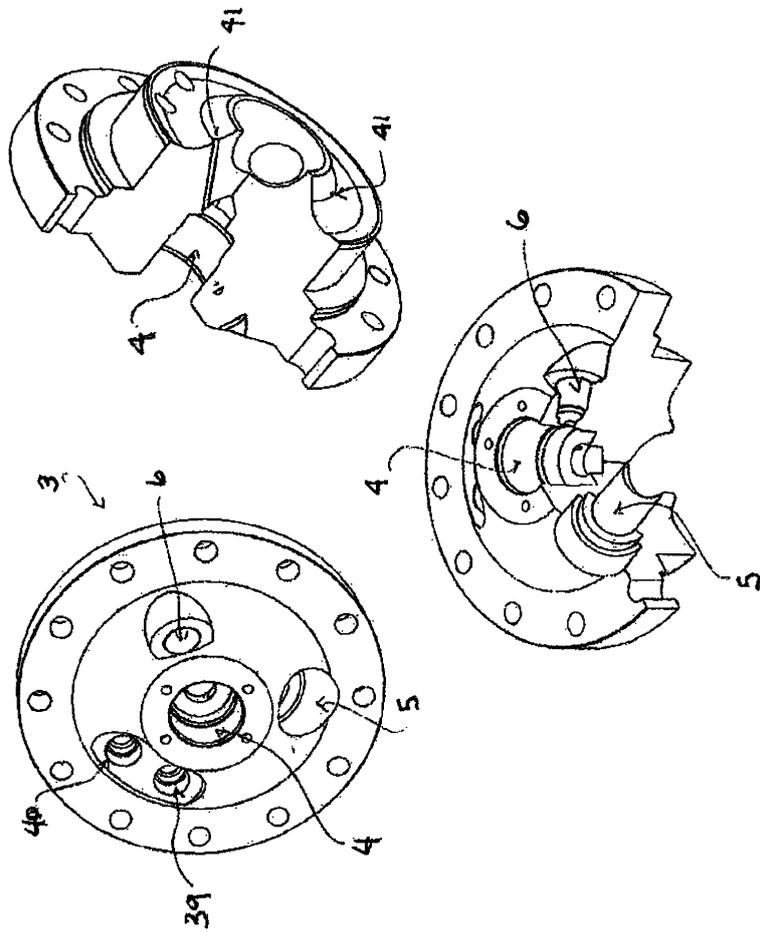
5

34

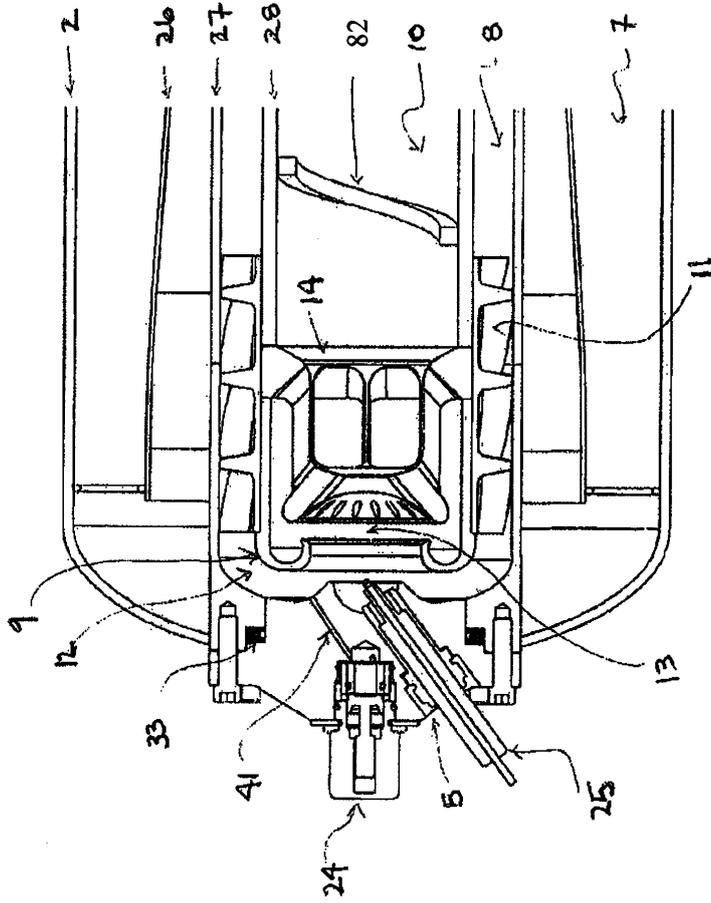
2



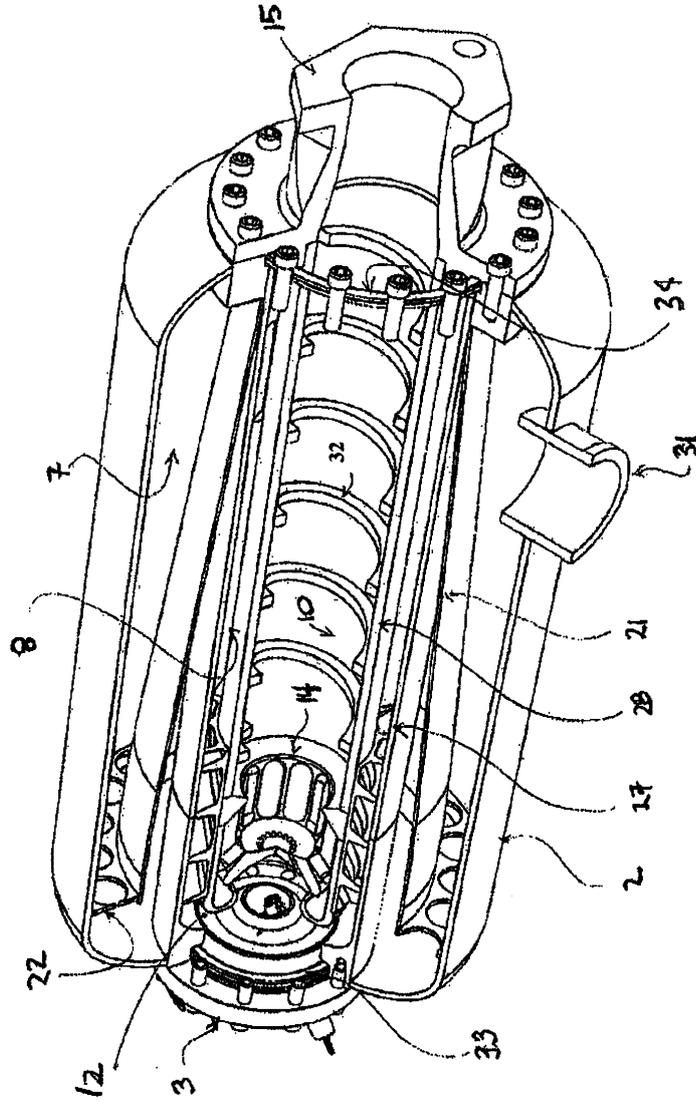
Фигура 2



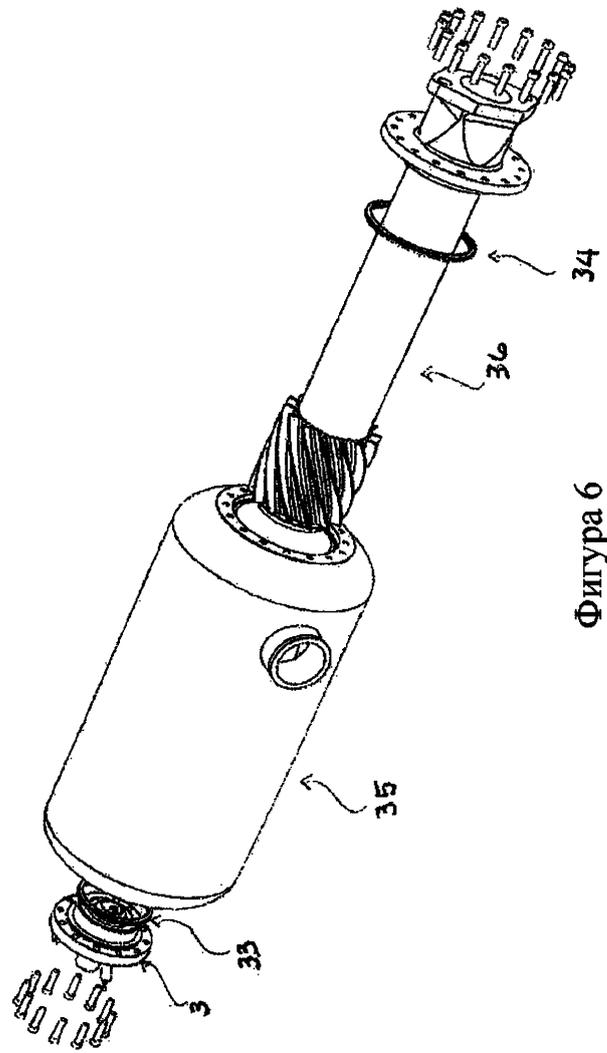
Фигура 3



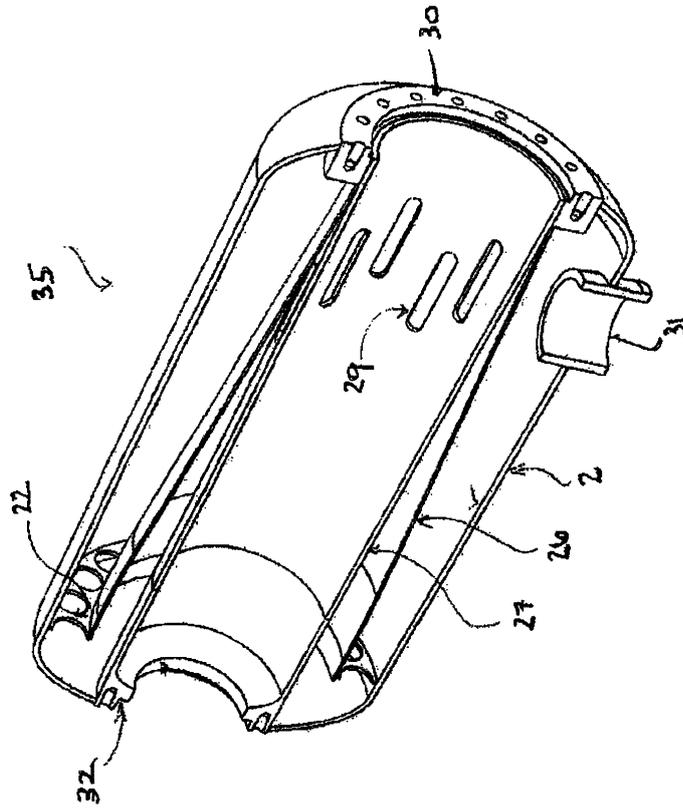
Фигура 4



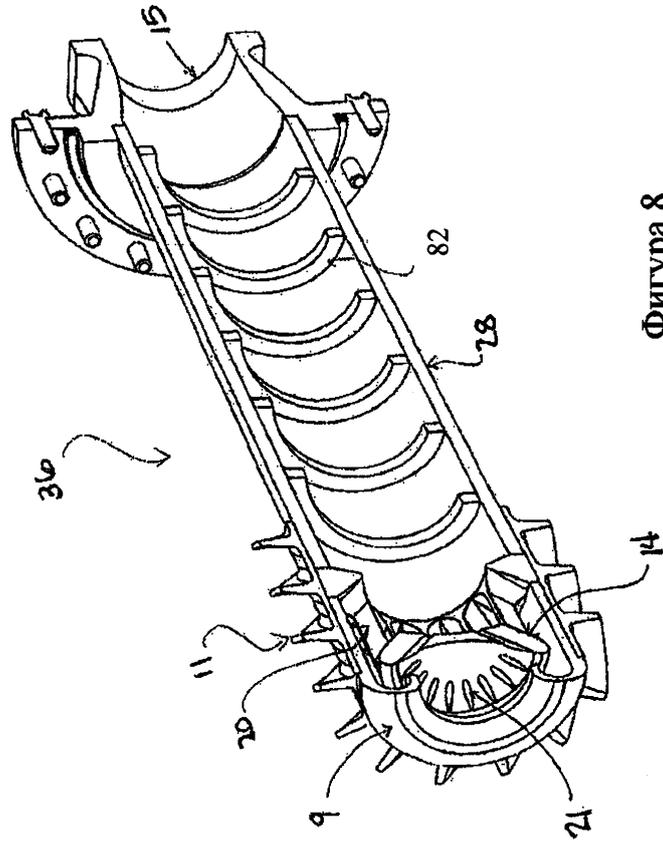
Фигура 5



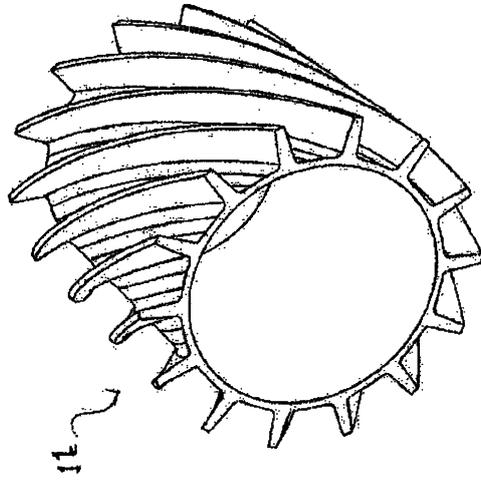
Фигура 6



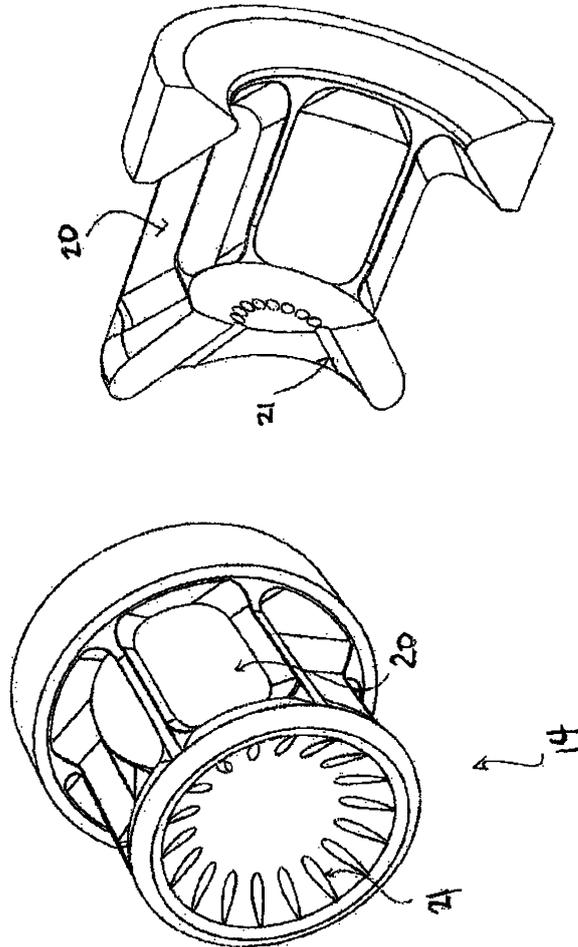
Фигура 7



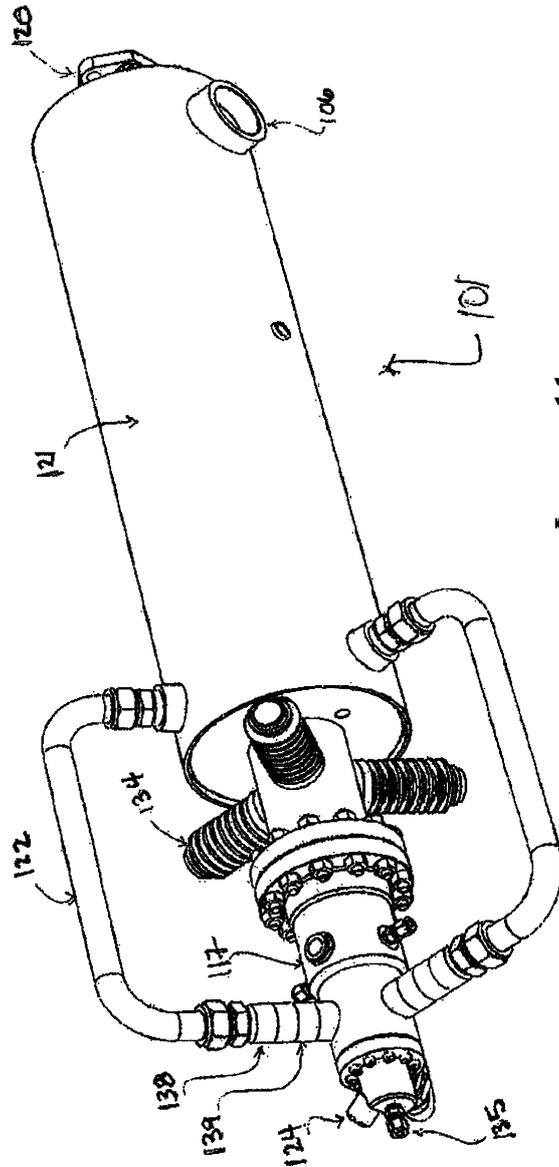
Фигура 8



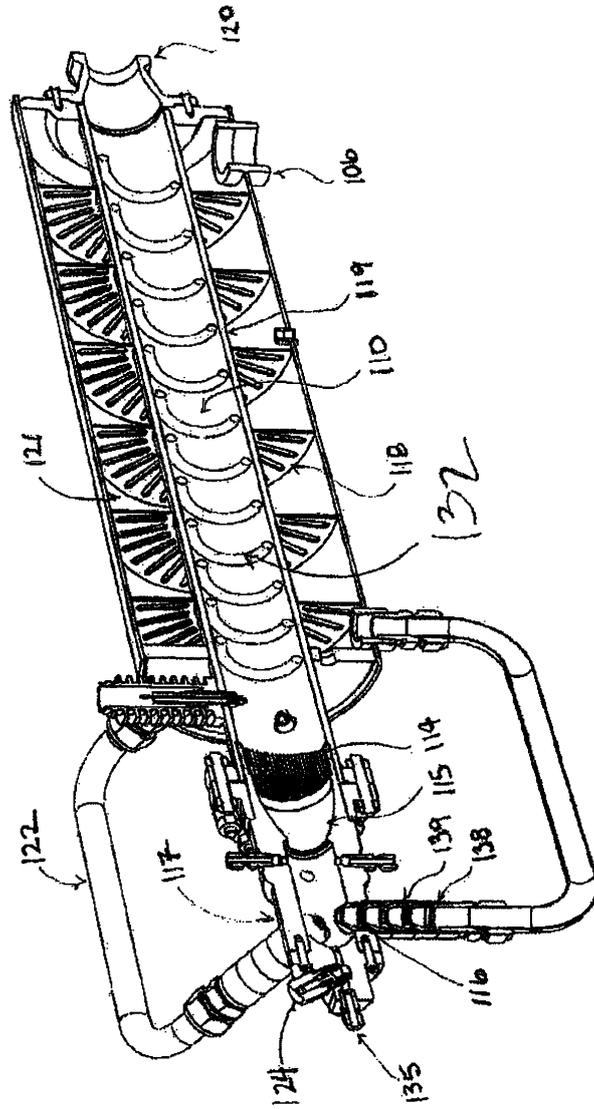
Фигура 9



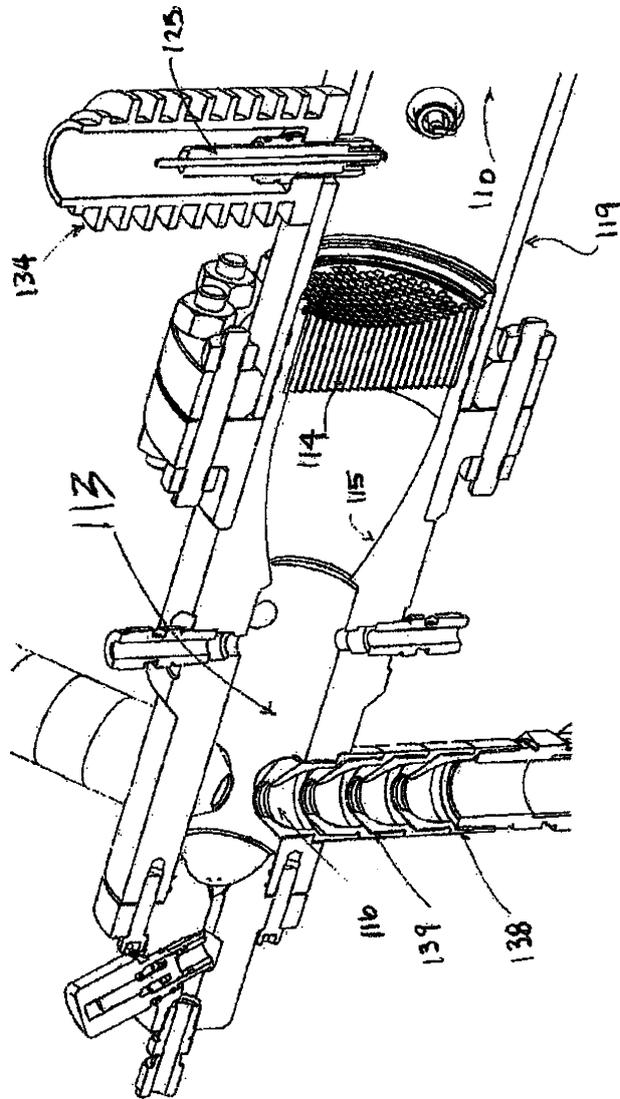
Фигура 10



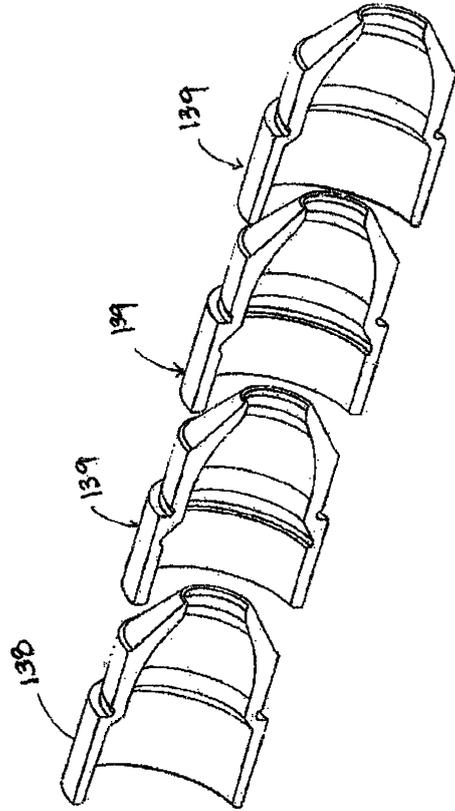
Фигура 11



Фигура 12



Фигура 13



Фигура 14