



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F23R 3/14 (2017.02); F23R 3/286 (2017.02)

(21)(22) Заявка: 2013119487, 29.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
29.04.2013

Дата регистрации:  
06.02.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
30.04.2012 US 13/460,700

(43) Дата публикации заявки: 10.11.2014 Бюл. № 31

(45) Опубликовано: 06.02.2018 Бюл. № 4

Адрес для переписки:  
191036, Санкт-Петербург, а/я 24, "НЕВИНПАТ"

(72) Автор(ы):

ЦУО Байфан (US)

(73) Патентообладатель(и):

Дженерал Электрик Компани (US)

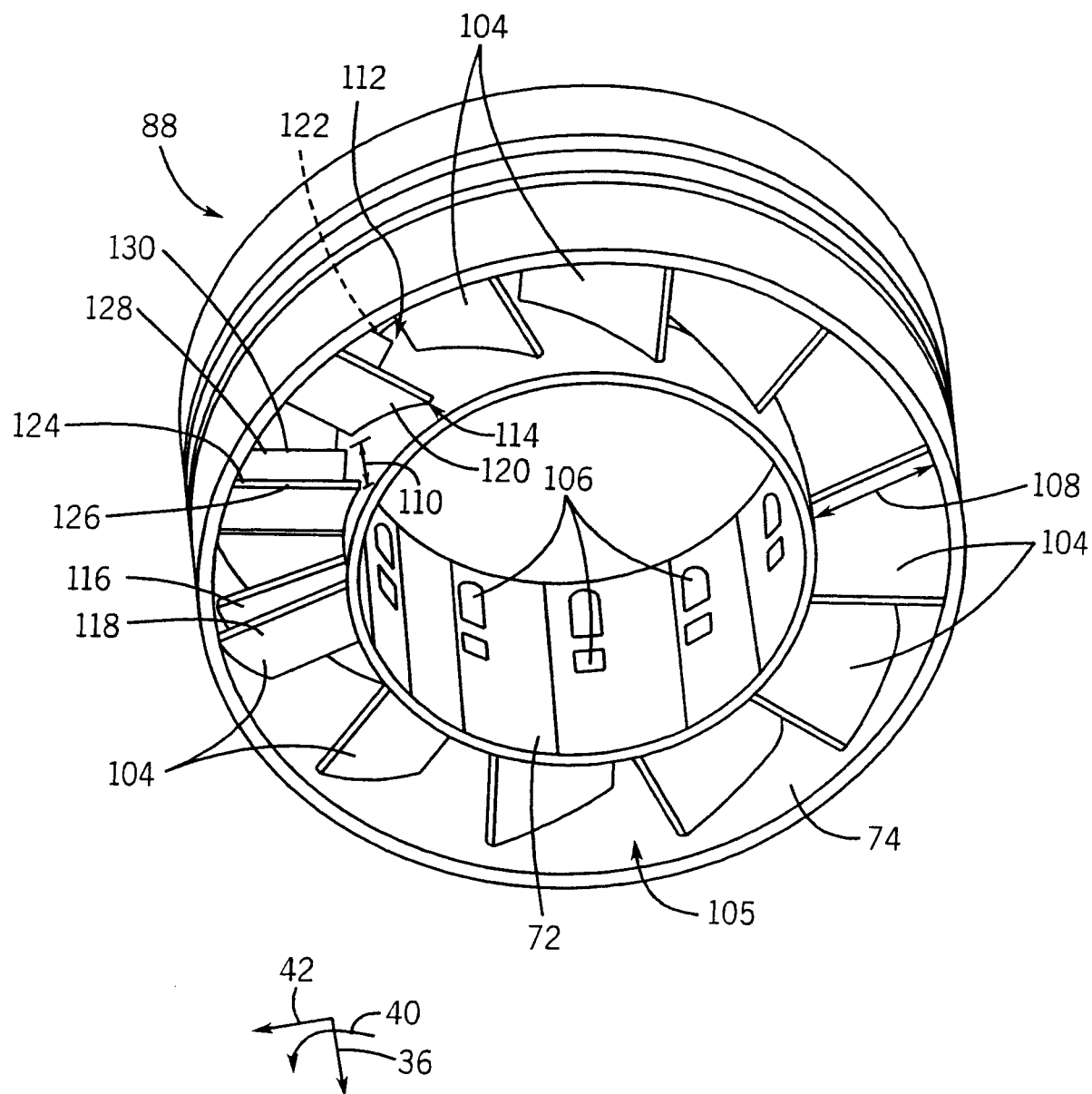
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 6141967 A, 07.11.2000. US  
2001052229 A1, 20.12.2001. RU 86280 U1,  
27.08.2009.

(54) Система предварительного смешивания топлива и воздуха (варианты) и способ смешивания

(57) Реферат:

Изобретение относится к турбинному двигателю и, в частности, к системе для повышения эксплуатационной пригодности топливной форсунки. Топливная форсунка содержит центральный корпус, выполненный с возможностью приема первой части воздуха и доставки этого воздуха в зону горения. Кроме того, топливная форсунка содержит завихритель, выполненный с возможностью приема второй части воздуха и доставки этого воздуха в зону горения. Завихритель содержит наружную окружную стенку, внутреннюю окружную стенку и завихряющую лопатку. Завихряющая лопатка содержит радиальный профиль завихрения, расположенный на ее нижней по потоку кромке.

Радиальный профиль завихрения содержит один участок, проходящий от наружной окружной стенки до первой точки перехода, и второй участок, проходящий от точки перехода до внутренней окружной стенки. По меньшей мере один участок, первый или второй, является, по существу, прямым, и по меньшей мере один участок, первый или второй, является дугообразным. Также представлены способ направления воздуха через топливную форсунку, а также завихритель топливной форсунки. Изобретение позволяет повысить эксплуатационную пригодность топливной форсунки. 3 н. и 20 з.п. ф-лы, 11 ил.



Фиг.5



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*F23R 3/14 (2017.02); F23R 3/286 (2017.02)*(21)(22) Application: **2013119487, 29.04.2013**(24) Effective date for property rights:  
**29.04.2013**Registration date:  
**06.02.2018**

Priority:

(30) Convention priority:  
**30.04.2012 US 13/460,700**(43) Application published: **10.11.2014** Bull. № 31(45) Date of publication: **06.02.2018** Bull. № 4

Mail address:

**191036, Sankt-Peterburg, a/ya 24, "NEVINPAT"**

(72) Inventor(s):

**ZUO Baifang (US)**

(73) Proprietor(s):

**General Electric Company (US)**(54) **SYSTEM OF PRELIMINARY MIXING FUEL AND AIR (VARIANTS) AND MIXING METHOD**

(57) Abstract:

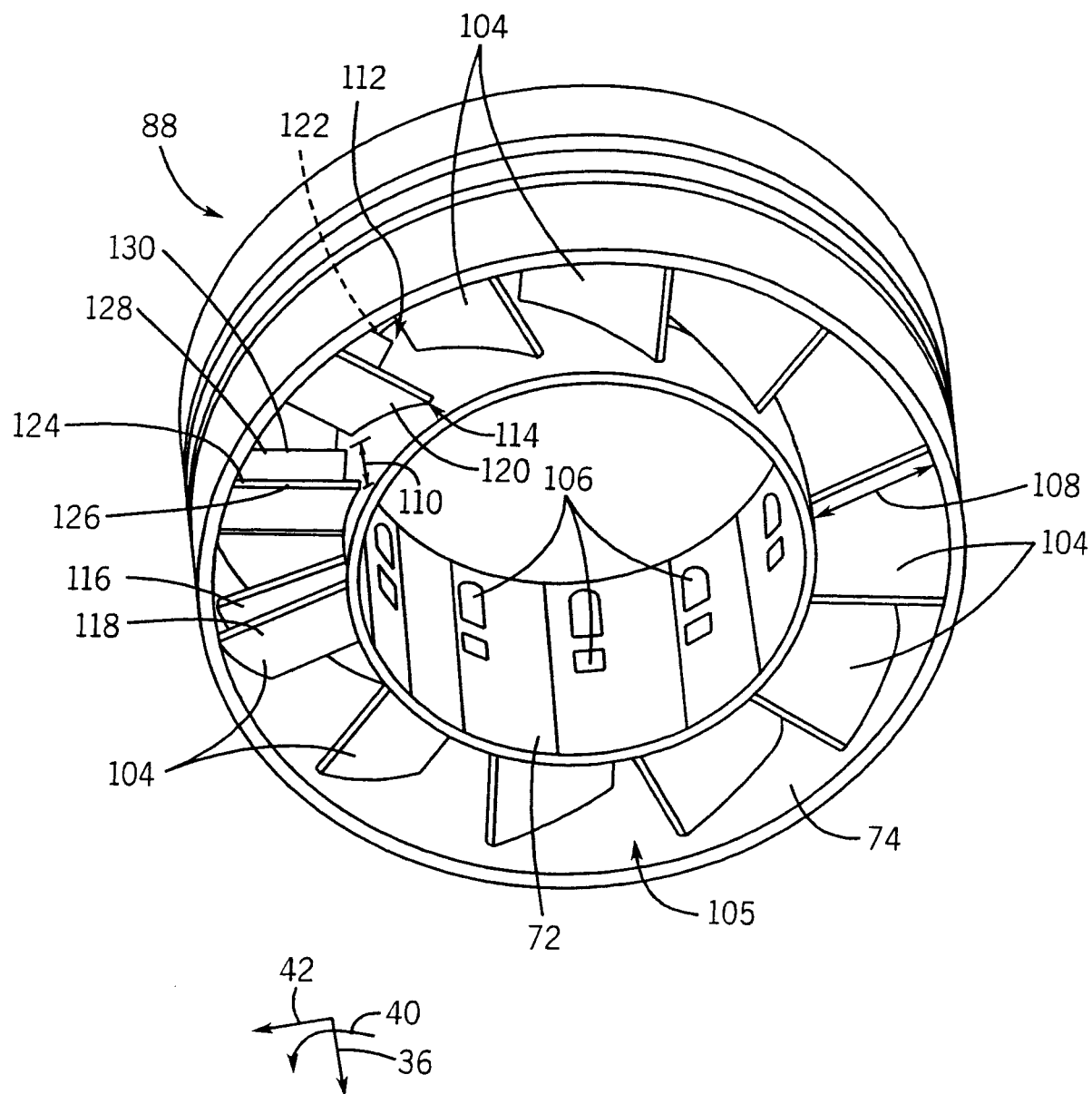
FIELD: engines and pumps.

SUBSTANCE: invention relates to a turbine engine and in particular to a system for improving the operational suitability of a fuel injector. Fuel injector comprises a central body configured to receive the first portion of the air and to deliver this air to the combustion zone. In addition, the fuel injector comprises a swirler configured to receive the second portion of the air and to deliver this air to the combustion zone. Swirler comprises an outer circumferential wall, an inner circumferential wall and a swirling blade. Swirling blade comprises a radial swirling profile located at its downstream edge. Radial

swirling profile comprises one section extending from the outer circumferential wall to the first transition point and the second section extending from the transition point to the inner circumferential wall. At least one section, either the first or the second one, is substantially straight, and at least one section, either the first or the second one, is arcuated. Method of directing the air through the fuel injector, as well as the swirler of the fuel injector, are also presented.

EFFECT: invention allows improving operational suitability of the fuel injector.

23 cl, 11 dwg



Фиг.5

## ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0001] Изобретение, описанное в данном документе, относится к турбинному двигателю и, в частности, к системе для повышения эксплуатационной пригодности топливной форсунки.

5 [0002] В газотурбинном двигателе сжигается смесь топлива и воздуха с целью образования горячих газообразных продуктов сгорания, которые, в свою очередь, вращают одну или несколько ступеней турбины. В частности, горячие газообразные продукты сгорания заставляют вращаться лопатки турбины, заставляя, тем самым, вал вращать одну или несколько нагрузок, например электрогенератор. Газотурбинный  
10 двигатель содержит топливную форсунку для направления воздуха и топлива в зону горения. Пламя развивается в зоне горения, содержащей горючую смесь из топлива и воздуха. К сожалению, пламя потенциально может распространяться вверх из зоны горения и проникать в топливную форсунку, что может сказаться на эксплуатационной пригодности топливной форсунки, вследствие теплоты сгорания. Это явление обычно  
15 называют проскоком пламени. Кроме того, иногда пламя может развиваться на поверхности или вблизи поверхности топливной форсунки. Это явление обычно называют стабилизацией горения. Например, стабилизация горения может происходить на топливной форсунке или вблизи нее в зоне малых скоростей.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

20 [0003] Ниже приведено краткое описание некоторых вариантов выполнения, соответствующих объему первоначально заявленного изобретения. Предполагается, что эти варианты выполнения не ограничивают объем заявленного изобретения, а лишь представляют возможные варианты данного изобретения в кратком изложении. Фактически изобретение может охватывать различные варианты, которые могут быть  
25 аналогичны нижеописанным вариантам выполнения или отличаться от них.

[0004] В соответствии с первым вариантом выполнения система содержит топливную форсунку. Топливная форсунка содержит центральный корпус, выполненный с  
возможностью приема первой части воздуха и доставки воздуха в зону горения. Кроме того, топливная форсунка содержит завихритель, выполненный с возможностью приема  
30 второй части воздуха и доставки воздуха в зону горения. Завихритель содержит наружную окружную стенку, внутреннюю окружную стенку и завихряющую лопатку. Завихряющая лопатка имеет радиальный профиль завихрения, расположенный на ее нижней по потоку кромке. Радиальный профиль завихрения содержит один участок, проходящий от наружной окружной стенки до точки перехода, и второй участок,  
35 проходящий от точки перехода до внутренней окружной стенки. По меньшей мере один участок, первый или второй, является, по существу, прямым, и по меньшей мере один участок, первый или второй, является дугообразным.

[0005] В соответствии со вторым вариантом выполнения способ включает направление первой части воздуха через центральную часть корпуса топливной  
40 форсунки. Первая часть воздуха выходит из центральной части корпуса возле внутренней стенки топливной форсунки под первым углом закручивания. Способ также включает направление второй части воздуха через завихритель топливной форсунки. Вторая часть воздуха выходит из завихрителя возле наружной стенки топливной форсунки под вторым углом закручивания. Вторая часть воздуха выходит из завихрителя возле  
45 внутренней стенки топливной форсунки под третьим углом закручивания. Вторым углом закручивания больше третьего угла закручивания.

[0006] В соответствии с третьим вариантом выполнения система содержит завихритель топливной форсунки. Завихритель топливной форсунки содержит наружную окружную

стенку, внутреннюю окружную стенку и завихряющую лопатку. Завихряющая лопатка имеет радиальный профиль завихрителя, расположенный на ее нижней по потоку кромке. Радиальный профиль завихрителя содержит первый участок, проходящий от наружной стенки до точки перехода, и второй участок, проходящий от точки перехода до внутренней окружной стенки. Первый участок имеет практически постоянный профиль, а второй участок, по существу, является, по существу, нисходящим в направлении к внутренней стенке.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0007] Эти и другие признаки, аспекты и преимущества данного изобретения станут более понятны после прочтения нижеследующего подробного описания, выполненного со ссылкой на сопроводительные чертежи, на которых одинаковые номера позиций обозначают одинаковые элементы и на которых:

[0008] Фиг.1 представляет собой блок-схему варианта выполнения газотурбинной установки, выполненной в соответствии с аспектами изобретения;

[0009] Фиг.2 представляет собой продольный разрез варианта выполнения газотурбинного двигателя, показанного на Фиг.1, в соответствии с аспектами изобретения;

[0010] Фиг.3 представляет собой вид в аксонометрии одного варианта выполнения головной части камеры сгорания, имеющей торцевую крышку с несколькими топливными форсунками, в соответствии с аспектами изобретения;

[0011] Фиг.4 представляет собой вид в аксонометрии в разрезе одного варианта выполнения топливной форсунки, показанной на Фиг.3, в который может использоваться завихритель для предварительного смешивания топлива и воздуха, в соответствии с аспектами изобретения;

[0012] Фиг.5 представляет собой вид в аксонометрии одного варианта выполнения завихрителя, в котором могут использоваться завихряющие лопатки, в соответствии с аспектами изобретения;

[0013] Фиг.6 представляет собой вид в аксонометрии варианта выполнения завихряющей лопатки, как показано на Фиг.5, в соответствии с аспектами изобретения;

[0014] Фиг.7 представляет собой вид в разрезе варианта выполнения завихряющей лопатки, показанной на Фиг.6, выполненном вдоль продольной оси на наружной стенке, в соответствии с аспектами изобретения;

[0015] Фиг.8 представляет собой вид в разрезе варианта выполнения завихряющей лопатки, показанной на Фиг.6, выполненном вдоль продольной оси на внутренней стенке, в соответствии с аспектами изобретения;

[0016] Фиг.9 представляет собой вид в разрезе завихряющей лопатки со стороны наружной стенки, показанной на Фиг.7, наложенный на вид в разрезе стороны со стороны внутренней стенки, показанной на Фиг.8, в соответствии с аспектами изобретения;

[0017] Фиг.10 представляет собой графическую иллюстрацию варианта выполнения радиального профиля закручивания нижней по потоку кромки завихряющей лопатки, в соответствии с аспектами изобретения; и

[0018] Фиг.11 представляет собой графическую иллюстрацию другого варианта выполнения радиального профиля закручивания нижней по потоку кромки завихряющей лопатки, в соответствии с аспектами изобретения.

#### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0019] Настоящее изобретение относится к системам предварительного смешивания топлива и воздуха, которые могут использоваться для улучшения смешивания

топливовоздушной смеси перед ее поступлением в зону горения. В соответствии с некоторыми вариантами выполнения, системы предварительного смешивания содержат завихритель с завихряющими лопатками, имеющими постоянный угол поворота и радиальный профиль индуцированного завихрения. Завихритель может поддерживать большой угол закручивания возле наружной стенки для улучшения смешивания и стабилизации пламени. Кроме того, завихритель может поддерживать пониженное вихревое движение и более высокую осевую скорость возле внутренней окружной стенки для того, чтобы снизить вероятность возникновения или воздействия проскока пламени или стабилизации горения. Кроме того, продувочный воздух для завихрителя может применяться для дополнительной стабилизации пламени ниже по потоку от центрального корпуса. Отношение воздуха, проходящего через завихритель, к воздуху, проходящему через центральный корпус, можно регулировать, чтобы обеспечить функционирование системы при меньшем расходе (например, при неполной загрузке).

[0020] Ниже приведено описание одного или нескольких конкретных вариантов выполнения. В попытке создания краткого описания этих вариантов выполнения в описании могут быть приведены не все признаки фактического варианта реализации. Следует понимать, что при разработке любого такого фактического варианта реализации, как и при любом инженерном или опытно-конструкторском проектировании, необходимо принять множество решений, определяемых конкретным вариантом реализации, для достижения конкретных целей разработчика, таких как соблюдение системных и деловых ограничений, которые могут меняться от одного варианта реализации к другому. Кроме того, следует понимать, что такая опытно-конструкторская работа может быть сложной и трудоемкой, но, тем не менее, является обычным процессом при проектировании, изготовлении и производстве для специалистов, использующих преимущество данного изобретения.

[0021] При введении элементов различных вариантов выполнения данного изобретения подразумевается, что использование их названий в единственном числе и термина «указанный» означает наличие одного или нескольких определяемых элементов. Подразумевается, что термины «содержащий», «включающий» и «имеющий» являются включающими и означают, что возможно наличие дополнительных элементов, отличающихся от перечисленных.

[0022] Обратимся теперь к чертежам. На Фиг.1 показана блок-схема варианта выполнения газотурбинной установки 10 (например, газотурбинного двигателя). Блок-схема содержит топливную форсунку 12, источник 14 топлива и камеру 16 сгорания. Как показано, источник 14 топлива содержит жидкое топливо или газообразное топливо, например природный газ, который направляется в газотурбинную установку 10 через топливную форсунку 12 в камеру 16 сгорания. После смешивания топлива со сжатым воздухом, показанным стрелкой 18, в камере 16 сгорания происходит воспламенение. Топливная форсунка 12 может содержать устройства, предназначенные для улучшения смешивания топлива и воздуха до воспламенения смеси. В частности, как описано ниже более подробно, топливная форсунка 12 может содержать завихритель, предназначенный для улучшения смешивания топлива и воздуха, стабилизации горения, снижения возможности возникновения проскока пламени или стабилизации пламени и обеспечивающий работу газотурбинной установки 10 при минимально допустимом расходе. Из камеры 16 сгорания отработавший газ, полученный при воспламенении, заставляет вращаться лопатки турбины 20. Взаимодействие между лопатками турбины 20 и валом 22 вызывает вращение вала 22, который также соединен с несколькими элементами всей газотурбинной установки 10, как показано на чертежах. Например,

показанный на чертеже вал 22 соединен с возможностью передачи приводного усилия с компрессором 24 и нагрузкой 26. Следует понимать, что нагрузкой 26 может быть любое подходящее устройство, вырабатывающее электроэнергию путем вращения газотурбинной установки 10, как, например, генератор или транспортное средство.

5 [0023] Источник 28 воздуха подает воздух в воздухозаборник 30, который затем направляет воздух в компрессор 24. Компрессор 24 содержит несколько лопаток, соединенных с валом 22 с возможностью передачи мощности, при этом компрессор сжимает воздух, поступающий из воздухозаборника 30, и направляет его в топливные форсунки 12 и в камеру 16 сгорания, как показано стрелками 18. Топливные форсунки 10 12 могут затем смешивать сжатый воздух и топливо в оптимальном соотношении для сжигания, например для полного сжигания топлива, чтобы не расходовать топливо или не приводить к сверхнормативным выбросам. После прохождения через турбину 20 горячие отработавшие газы выходят из газотурбинной установки 10 через выпускное отверстие 34. Газотурбинная установка 10 содержит ряд элементов, которые 15 перемещаются и/или вращаются, например вал 22, относительно других элементов, остающихся неподвижными при работе газотурбинной установки 10.

[0024] Фиг.2 представляет собой вид сбоку в разрезе в осевом направлении 36 варианта выполнения газотурбинной установки 10, как показано на Фиг.1. При работе воздух поступает в газотурбинную установку 10 через воздухозаборник 30 и в 20 компрессор 24. Компрессор 24 содержит несколько лопаток 38, выполненных с возможностью вращения в окружном направлении 40 вокруг вала 22 для сжатия воздуха. Лопатки 38 направляют воздух в топливные форсунки 12, расположенные в камере 16 сгорания. Камера 16 сгорания расположена в радиальном направлении 42 снаружи компрессора 24. Камера 16 сгорания может содержать головную часть 44, на которой 25 установлены топливные форсунки 12. Сжатый воздух предварительно смешивается с топливом в топливных форсунках 12, а затем смесь воспламеняется в камере 16 сгорания. При сгорании образуются горячие отработавшие газы, которые направляются в турбину 20. В турбине 20 отработавшие газы приводят в действие лопатки 46, а затем отработавшие газы направляются в выпускное отверстие 34. Следует отметить, что в 30 газотурбинной установке 10, кроме воздуха, могут использоваться подходящие рабочие текучие среды, например смесь двуокиси углерода и кислорода.

[0025] Фиг.3 представляет собой вид в аксонометрии одного варианта выполнения головной части 44 камеры сгорания, имеющей торцевую крышку 54 с несколькими топливными форсунками 12, прикрепленными к поверхности 56 основания торцевой 35 крышки с помощью уплотнительных соединений 58. Как показано на чертеже, головная часть 44 камеры сгорания имеет шесть топливных форсунок 12. В некоторых вариантах выполнения количество топливных форсунок 12 может меняться (например, приблизительно от 1 до 100 топливных форсунок 12). Головная часть 44 направляет сжатый воздух из компрессора 24, а топливо через торцевую крышку 54 к каждой из 40 топливных форсунок 12, которые, по меньшей мере частично, предварительно смешивают сжатый воздух и топливо в топливовоздушную смесь перед входом в зону горения в камере 16 сгорания. Как описано более подробно ниже, топливные форсунки 12 могут содержать одну или несколько завихряющих лопаток, создающих закручивание в проточном тракте воздуха (например, скорость в окружном направлении 40), при 45 этом каждая завихряющая лопатка содержит отверстия для впрыска топлива, предназначенные для впрыска топлива в проточный тракт воздуха.

[0026] Фиг.4 представляет собой вид в аксонометрии в разрезе одного варианта выполнения топливной форсунки 12, содержащей одну или несколько завихряющих



лопаток, которые могут вызывать вихревое движение в проточном тракте воздуха и впрыскивать топливо в проточный тракт воздуха. Топливная форсунка 12 соединена с камерой 16 сгорания с помощью установочного фланца 68. Топливная форсунка 12 содержит топливный трубопровод 70, окруженный внутренней окружной стенкой 72.

5 Топливный трубопровод 70 расположен по центру внутри топливной форсунки 12. Топливный трубопровод 70 обычно имеет цилиндрическую форму. Стенка 72 охватывает ряд каналов, по которым воздух и/или топливо направляются к различным внутренним элементам топливной форсунки 12. Наружная окружная стенка 74 окружает стенку 72 и содержит дополнительные каналы для направления воздуха и/или топлива через  
10 топливную форсунку 12. Стенка 74 и стенка 72 имеют аналогичную конфигурацию и, как показано, обычно могут быть цилиндрической формы. Формирователь 76 входного потока соединен со стенкой 74 и расположен возле стенки 72. Формирователь 76 входного потока содержит первый перфорированный лист 77, проходящий в осевом направлении 36, и второй перфорированный лист 78, проходящий в радиальном  
15 направлении 42. В соответствии с одним вариантом выполнения, перфорированные листы 77, 78 могут быть выполнены в виде цельной конструкции. Перфорированные листы 77, 78 могут быть предназначены для измерения и рассеивания воздуха, поступающего в топливную форсунку 12.

[0027] Воздух входит в топливную форсунку 12 через формирователь 76. Часть  
20 воздуха (например, диффузионный воздух) может протекать по диффузионному воздушному каналу 80 в осевом направлении 36. Диффузионный воздух движется в направлении к центральному корпусу 82 и может направляться радиально в корпус 82 через диффузионные газовые отверстия 83. Внутри центрального корпуса 82 диффузионный воздух может смешиваться с топливом из трубопровода 70. Смесь может  
25 выходить из центрального корпуса 82 и протекать в зону 84 горения ниже по потоку от топливной форсунки 12. В соответствии с некоторыми вариантами выполнения, смесь топлива и диффузионного воздуха может иметь сравнительно высокую скорость в осевом направлении 36, чтобы снизить вероятность возникновения или воздействия проскока пламени или стабилизации пламени возле стенки 74. Часть диффузионного  
30 воздуха (например, продувочный воздух завихрителя) может проходить через диффузионный воздушный канал 80 к диффузионному завихрителю 86, который может быть частью центрального корпуса 82 и может размещаться около нижнего конца центрального корпуса 82. В некоторых вариантах выполнения диффузионный завихритель 86 может содержать ряд завихряющих лопаток, расположенных  
35 кольцеобразно, как частично показано на Фиг.4. Диффузионный завихритель 86 может придавать вихревое движение продувочному воздуху завихрителя по часовой стрелке или против часовой стрелки в окружном направлении 40. Угол закручивания, придающий движение продувочному воздуху, может составлять приблизительно от 10 до 80, приблизительно от 20 до 70 или приблизительно от 30 до 50 градусов. В  
40 соответствии с некоторыми вариантами выполнения, продувочный воздух завихрителя может способствовать стабилизации горения на выходе из центрального корпуса 82, снижать вероятность отделения потока от центрального корпуса 82, а также улучшать динамические свойства.

[0028] Вторая часть воздуха, поступающего в формирователь 76 входного потока  
45 (например, первичный воздух), может протекать в завихритель 88, который может содержать несколько завихряющих лопаток, как описано более подробно ниже. Завихритель 88 может придавать вихревое движение первичному отработанному воздуху по часовой стрелке или против часовой стрелки в окружном направлении 40. В

некоторых вариантах выполнения завихритель 88 может создавать вихревое движение в направлении, противоположном вихревому движению, вызываемому диффузионным завихрителем 86 в центральном корпусе 82. Например, завихритель 88 может создавать вихревое движение по часовой стрелке, а завихритель 86 может создавать вихревое движение против часовой стрелки. В других вариантах выполнения завихрителя 86, 88 могут создавать вихревое движение в одном и том же направлении. Например, завихритель 88 может придавать более высокую скорость вращения части воздуха возле стенки 74 и более низкую скорость вращения другой части воздуха возле стенки 72. Диффузионный завихритель 86 может придавать более высокую скорость вращения возле стенки 72, чтобы компенсировать более низкую скорость вращения завихрителя 88. Возросшая осевая скорость возле стенки 72 может снизить возможность стабилизации горения или проскока пламени, а возросшая скорость вращения, вызванная диффузионным завихрителем 86, может способствовать стабилизации пламени.

[0029] Часть топлива в трубопроводе 70 (например, предварительно смешанное топливо) может протекать в осевом направлении 36 к завихрителю 88 через каналы 90 для предварительного смешивания топлива. Предварительно смешанное топливо проходит в радиальном направлении через завихритель 88, через отверстия для впрыска топлива, как описывается более подробно ниже. Предварительно смешанное топливо и первичный воздух смешиваются в завихрителе 88. Через кольцевое пространство 92 для предварительного смешивания смесь направляется к зоне 84 горения. В соответствии с некоторыми вариантами выполнения, завихритель 88 может придавать большой угол закручивания потоку первичного воздуха и потоку топлива возле стенки 74. Большой угол закручивания может усиливать смешивание и способствовать стабилизации пламени возле стенки 74.

[0030] Процентное соотношение количества первичного воздуха, проходящего через завихритель 88, и общего количества воздуха, поступающего в формирователь входного потока, может варьироваться. В некоторых вариантах выполнения процентное отношение может изменяться в пределах приблизительно от 50% до приблизительно 99%, в частности приблизительно от 70% до приблизительно 95% или даже приблизительно от 80% до приблизительно 95%. Оставшийся воздух (диффузионный воздух) проходит через центральный корпус 82. Таким образом, количество первичного воздуха может быть больше, чем количество диффузионного воздуха, а отношение количества первичного воздуха к количеству диффузионного воздуха может меняться. В соответствии с упомянутым процентным отношением, соотношение может изменяться приблизительно от 0,01 до приблизительно 1, в частности приблизительно от 0,05 до приблизительно 0,43 или даже приблизительно от 0,05 до приблизительно 0,25. Кроме того, соотношение количества воздуха и топлива в кольцевом пространстве 92 для предварительного смешивания может отличаться от соотношения воздуха и топлива в центральном корпусе 82. Например, смесь, находящаяся в кольцевом пространстве 92, может иметь более высокое соотношение количества воздуха и топлива, а смесь в центральном корпусе 82 может иметь более низкое соотношение количества воздуха и топлива. Кроме того, упомянутые показатели могут быть разными, в зависимости от режима работы. Например, при неполной загрузке необходимо более высокое соотношение количества воздуха и топлива возле центрального корпуса 82 по сравнению с нормальным режимом работы.

[0031] Фиг.5 представляет собой вид в аксонометрии одного варианта выполнения завихрителя 88, содержащего несколько завихряющих лопаток 104, предназначенных для улучшения смешивания топлива и воздуха и стабилизации пламени. Воздух проходит

через кольцевое пространство 105, расположенное между стенкой 74 и стенкой 72, в котором воздух сталкивается с лопатками 104. Лопатки 104 могут вызывать вихревое движение воздуха по часовой стрелке или против часовой стрелки в окружном направлении 40. Лопатки 104 расположены в радиальном направлении между стенкой 74 и стенкой 72. Как показано, завихритель 88 содержит двенадцать лопаток 104. В некоторых вариантах выполнения количество лопаток 104 может варьироваться. Завихритель 88 содержит несколько отверстий 106 для впрыска топлива, расположенных в стенке 72. Отверстия 106 для впрыска топлива могут направлять топливо в радиальном направлении в топливные камеры завихрителя 88 (например, из каналов 90 для предварительного смешения топлива, описанных выше). Топливо может направляться через топливные отверстия, расположенные на лопатках 104, в пространство 105, в котором топливо соединяется и смешивается с воздухом. Лопатки 104 могут придавать вихревое движение смеси топлива и воздуха.

[0032] Завихряющие лопатки 104 имеют радиус 108, проходящий между стенкой 74 и стенкой 72. Лопатки 104 имеют также длину 110, проходящую от верхнего по потоку конца 112 до нижнего по потоку конца 114 лопатки 104. Обычно воздух движется от верхнего по потоку конца 112 до нижнего по потоку конца 114. Отверстия 106 для впрыска топлива могут направлять топливо через отверстия, расположенные на лопатках 104, в поток воздуха между верхним по потоку концом 112 и нижним по потоку концом 114. Лопатки 104 имеют сторону 116 повышенного давления и сторону 118 пониженного давления. Сторона 116 повышенного давления проходит от верхнего по потоку конца 112 до нижнего по потоку конца 114 и образует, по существу, дугообразную поверхность 120. Как правило, воздух движется от стороны 116 повышенного давления и может проходить путь, соответствующий поверхности 120. Сторона 118 пониженного давления также проходит от верхнего по потоку конца 112 до нижнего по потоку конца 114 и также образует, по существу, дугообразную поверхность 122. Поверхность 120 стороны 116 повышенного давления может быть отличной от поверхности 122 стороны 118 пониженного давления. Таким образом, поверхности 120, 122 могут отличаться по радиусу 108 лопатки 104 для формирования различных углов закручивания воздуха ниже по потоку от завихрителя 88.

[0033] Сторона 116 повышенного давления и сторона 118 пониженного давления сходятся на верхнем по потоку конце 112 для формирования верхней по потоку кромки 124. Верхняя по потоку кромка 124 имеет радиальный профиль 126, выполненный таким образом, чтобы иметь приблизительно нулевой угол атаки с поступающим потоком воздуха для уменьшения разделения потока как на стороне 116 повышенного давления, так и на стороне 118 пониженного давления. Стороны 116 и 118 сходятся на нижнем по потоку конце 114 для формирования нижней по потоку кромки 128. Нижняя по потоку кромка 128 имеет радиальный профиль 130, который может включать комбинацию, по существу, прямого и дугообразного участков. Упомянутые участки могут управлять углом закручивания смеси топлива и воздуха вдоль нижней по потоку кромки 128. Радиальный профиль 126 верхней по потоку кромки 124 может отличаться от радиального профиля 130 нижней по потоку кромки 128. Формы поверхности стороны 116 повышенного давления и стороны 118 пониженного давления завихрителя могут изменяться по длине 110 лопатки 104, с тем чтобы обеспечивать плавный переход от верхнего по потоку профиля 126 кромки к нижнему по потоку профилю 130 кромки при любых радиальных положениях. Радиальный профиль 130 нижней по потоку кромки 128 может быть выполнен таким образом, чтобы придавать большой угол закручивания возле стенки 74, для усиления смешения топлива и воздуха. Кроме того, радиальный

профиль 130 также может быть выполнен таким образом, чтобы придавать малый угол закручивания возле стенки 72 для снижения вероятности возникновения или воздействия проскока пламени, или стабилизации пламени.

[0034] Фиг.6 представляет собой вид в аксонометрии варианта выполнения завихряющей лопатки 104, предназначенной для усиления смешивания топлива и воздуха и стабилизации пламени. Лопатка 104 содержит сторону 142 со стороны внутренней окружной стенки, расположенную у стенки 72. Сторона 142 образует кромку 150 пониженного давления со стороной 116 повышенного давления и кромку 152 пониженного давления со стороной 118 пониженного давления. Лопатка 104 также содержит сторону 148, расположенную со стороны стенки 74. Сторона 148 образует кромку 144 пониженного давления со стороной 116 повышенного давления и кромку 146 пониженного давления со стороной 118 пониженного давления. Форма боковой стороны 142 может отличаться от формы стороны 148, причем указанные формы могут меняться вдоль радиуса 108 лопатки 104.

[0035] В некоторых вариантах выполнения завихряющая лопатка 104 содержит одну или несколько полых топливных камер 154, проходящих через боковую сторону 142 к корпусу лопатки 104. В соответствии с некоторыми вариантами выполнения, камеры 154 могут иметь цилиндрическую, многоугольную или иную подходящую форму. Топливные камеры 154 могут получать топливо через стенку 72 из отверстий 106 для впрыска топлива. Лопатка 104 может также содержать несколько отверстий для выпуска топлива (например, отверстий для впрыска топлива) 156, которые направляют топливо из топливных камер 154 в кольцевое пространство 105. Кроме того, в некоторых вариантах выполнения ряд отверстий 156 для выпуска топлива могут направлять топливо к стороне 116 повышенного давления, а другой ряд отверстий 156 для выпуска топлива может направлять топливо к стороне 118 пониженного давления. В некоторых вариантах выполнения лопатка 104 может быть выполнена таким образом, чтобы индуцировать высокую осевую скорость возле стенки 72 для снижения вероятности возникновения или воздействия проскока пламени, или стабилизации пламени. С учетом этого, в некоторых вариантах выполнения отверстия 156 для выпуска топлива могут быть расположены около стенки 72 для того, чтобы направлять большую часть топлива к стенке 72. Например, расстояние между стенкой 72 и отверстиями 156 для выпуска топлива может иметь значение в промежутке приблизительно от 5 до 95, приблизительно от 15 до 85 или приблизительно от 30 до 70 процентов от радиуса 108.

[0036] В некоторых вариантах выполнения лопатка 104 содержит несколько отверстий 106 для впрыска топлива и соответствующие топливные камеры 154. Каждая топливная камера 154 может иметь ряд отверстий 156 для выпуска топлива (например, отверстий для впрыска топлива), которые направляют топливо из топливной камеры 154 в кольцевое пространство 105. Как проиллюстрировано на чертежах, отверстия для выпуска топлива могут быть расположены отстоящими друг от друга на некоторое расстояние по периферии топливной камеры таким образом, что часть топлива впрыскивается в направлении стороны 116 повышенного давления, а вторая часть топлива впрыскивается в направлении стороны 118 пониженного давления. В некоторых вариантах выполнения отверстия 156 для выпуска топлива могут быть расположены на поверхности лопатки в радиальном направлении 42 и/или на поверхности лопатки в осевом направлении 36 потока.

[0037] Фиг.7 представляет собой вид в разрезе варианта выполнения стороны 148 лопатки 104. Как проиллюстрировано на чертеже, топливная камера 154 и отверстия 156 для выпуска топлива могут направлять топливо к стороне 116 повышенного

давления и к стороне 118 пониженного давления. Боковая сторона 148 имеет, по существу, дугообразную форму 160, проходящую от верхнего по потоку конца 112 к нижнему по потоку концу 114. Форма 160 может задаваться кромкой 148 стороны пониженного давления, кромкой 144 стороны повышенного давления, верхней по потоку кромкой 124 и нижней по потоку кромкой 128. Фиг.8 представляет собой вид в разрезе варианта выполнения боковой стороны 142 лопатки 104 со стороны внутренней стенки. Боковая сторона 142 имеет, по существу, дугообразную форму 162, проходящую от верхнего по потоку конца 112 к нижнему по потоку концу 114. Форма 162 может задаваться кромкой 152 стороны пониженного давления, кромкой 150 стороны повышенного давления, верхней по потоку кромкой 124 и нижней по потоку кромкой 128. Как показано на Фиг.9, форма 160 боковой стороны 148 завихряющей лопатки 104, показанной на Фиг.7, существенно отличается от формы 162 боковой стороны 142 лопатки 104, показанной на Фиг.8. Кроме того, формы 160, 162 могут соответствовать торцевой стороне со стороны наружной стенки и торцевой стороне со стороны внутренней стенки радиального профиля 126 верхней по потоку кромки 124 и радиального профиля 130 нижней по потоку кромки 128. Кроме того, форма завихряющей лопатки 104 в любом радиальном поперечном сечении может быть выполнен таким образом, чтобы иметь определенный диапазон угла закручивания смеси топлива и воздуха, выходящей из завихрителя 88.

[0038] Фиг.9 представляет собой вид в разрезе боковой стороны 148 лопатки 104, показанной на Фиг.7, наложенный на вид в разрезе боковой стороны 142, показанной на Фиг.8. Как показано на чертежах, формы 160, 162 боковой стороны 148 и боковой стороны 142 изменяются по длине 110 лопатки 104. Изменение формы 160, 162 может соответствовать радиальным профилям 126, 130, как обсуждалось выше. В частности, изменение формы 160, 162 и соответствующих радиальных профилей 126, 130 может быть предназначено для стабилизации пламени ниже по потоку от лопатки 104 и с целью улучшения динамических характеристик потока.

[0039] Фиг.10 представляет собой графическую иллюстрацию варианта выполнения радиального профиля 131 завихрения (например, профиля угла закручивания) нижней по потоку кромки 128, показывающего угол закручивания завихряющей лопатки 104 от стенки 74 до стенки 72. Радиальный профиль 131 завихрения, по существу, имеет дугообразную форму. В некоторых вариантах выполнения радиальный профиль 131 завихрения может быть прямым (например, постоянным), дугообразным или иметь сочетание прямой и дугообразной формы. Завихряющие лопатки 104 выполнены таким образом, чтобы придавать большой угол закручивания вблизи стенки 74 и меньший угол закручивания вблизи стенки 72. Большой угол закручивания вблизи стенки 74 может усиливать смешивание топлива и воздуха и повышать предел стабилизации пламени возле стенки 74. Меньший угол закручивания вблизи стенки 72 может снизить вероятность возникновения или влияния проскока пламени от стенки 72. В таком варианте выполнения радиальный профиль 131 завихрения может содержать поворотный участок 180 постоянного профиля, являющийся, по существу, прямым, и индуцированный вихревой участок 182, являющийся дугообразным. В других вариантах выполнения радиальный профиль 131 завихрения может содержать несколько участков, которые могут быть, по существу, прямыми (например, постоянными) или дугообразными. Например, радиальный профиль 131 завихрения может содержать 0, 1, 2, 3, 4, 5 или большее количество в целом прямых участков (например, поворотных участков постоянного профиля) и 0, 1, 2, 3, 4, 5 или большее количество дугообразных участков.

[0040] Радиальный профиль 131 завихрения содержит поворотный участок 180 постоянного профиля, проходящий на расстояние 184 от стенки 74 до точки 186 перехода. Радиальный профиль 131 завихрения также содержит индуцированный вихревой участок 182, проходящий на расстояние 188 от точки 186 перехода до стенки 72. В некоторых вариантах выполнения лопатка 104 может содержать более одного поворотного участка 180 постоянного профиля и/или более одного индуцированного вихревого участка 182. В таком варианте выполнения выбранная точка перехода будет расположена между каждым из участков. Например, лопатка 104 может содержать первый поворотный участок постоянного профиля, индуцированный вихревой участок и второй поворотный участок постоянного профиля. Первая точка перехода будет расположена между первым поворотным участком постоянного профиля и индуцированным вихревым участком. Вторая точка перехода будет расположена между вторым поворотным участком постоянного профиля и индуцированным вихревым участком.

[0041] Как показано на Фиг.10, точка 186 перехода расположена между стенкой 74 и стенкой 72. Точка 186 перехода расположена вблизи центра 189 нижней по потоку кромки 128. Соответственно, длина 184 поворотного участка 180 постоянного профиля приблизительно равна длине 188 индуцированного вихревого участка 182. В других вариантах выполнения точка 186 перехода может быть расположена в других местах вдоль нижней по потоку кромки 128. Например, точка 186 перехода может быть расположена вблизи стенки 74, вблизи стенки 72 или в промежутке между ними. Соответственно, длина 184 поворотного участка 180 постоянного профиля может быть больше или меньше, чем длина 188 индуцированного вихревого участка 182, в зависимости от положения точки 186 перехода. Каждое из расстояний 184, 188 может составлять приблизительно от 5 до 95, приблизительно от 15 до 85 или приблизительно от 30 до 70 процентов от радиуса 108.

[0042] Поворотный участок 180 постоянного профиля имеет, по существу, прямую форму 190. Однако в других вариантах выполнения форма 190 может иметь небольшую кривизну. Поворотный участок 180 постоянного профиля у стенки 74 имеет угол 192 закручивания. Обычно угол 192 закручивания острый. В некоторых вариантах выполнения величина угла 192 закручивания у наружной стенки (например, в пределах приблизительно 10, 20 или 30 процентов от радиуса 108) может изменяться в пределах приблизительно от 0° до приблизительно 80° и в пределах всех поддиапазонов между ними, например, приблизительно от 20° до приблизительно 70°, от приблизительно 30° до приблизительно 65°, от приблизительно 40° до приблизительно 60°, и так далее. Периферийная ось 194 проходит через точку 186 перехода в окружном направлении 40. Периферийная ось 194 обычно проходит параллельно стенке 74 и стенке 72. Поворотный участок 180 постоянного профиля в точке перехода 186 имеет угол 196 закручивания (например, угол перехода) с периферийной осью 194. Угол 192 закручивания и угол 196 перехода могут быть приблизительно равными. Однако величины углов 192, 196 могут в незначительной степени отличаться друг от друга, например, менее чем на 1°, 2°, 3°, 4° или на 5°. Таким образом, поворотный участок 180 постоянного профиля может иметь небольшую кривизну, однако он является, по существу, прямым. В других вариантах выполнения поворотный участок 180 постоянного профиля может быть дугообразным, а углы 192, 196, могут отличаться друг от друга приблизительно от 0° до приблизительно 80° и в пределах всех поддиапазонов между ними, например, приблизительно от 20° до приблизительно 60°, от приблизительно 30° до приблизительно 55°, от приблизительно 40° до приблизительно

50°, и так далее.

[0043] Индуцированный вихревой участок 182 имеет дугообразную форму 197.

Индуцированный вихревой участок 182 в точке перехода 186 имеет угол 198

закручивания (например, угол перехода). Величины углов 196, 198 перехода могут быть

5 приблизительно одинаковыми, так что радиальный профиль 130 лопатки 104 является

относительно ровным. В других вариантах выполнения углы 196, 198 перехода могут

отличаться друг от друга, так что лопатка 104 не является ровной. Индуцированный

вихревой участок 182 возле стенки 72 имеет угол 200 закручивания. В соответствии с

10 некоторыми вариантам выполнения, угол 200 закручивания возле стенки 72 (например,

в пределах приблизительно 10, 20 или 30 процентов от радиуса 108) может быть острым

и может быть приблизительно менее 40° или в частности приблизительно менее 30°,

приблизительно менее 20°. Таким образом, величина угла закручивания

индуцированного вихревого участка 182 уменьшается от точки перехода 186 к стенке

72. Как показано, угол 200 закручивания меньше, чем угол перехода 198. Как показано,

15 величина угла закручивания лопатки 104, по существу, уменьшается от стенки 74 к

стенке 72. В некоторых вариантах выполнения величина угла закручивания может

монотонно уменьшаться от стенки 74 к стенке 72. В других вариантах выполнения

величина угла может уменьшаться вдоль участка радиального профиля 131 завихрения

и увеличиваться вдоль другого участка радиального профиля 131 завихрения.

20 [0044] Радиальный профиль 127 завихрения верхней по потоку кромки 124 (не

показана) может иметь приблизительно нулевой угол атаки с поступающим потоком

воздуха для уменьшения разделения потока как на стороне 116 повышенного давления,

так и на стороне 118 пониженного давления. Радиальные профили 127, 131 завихрения

могут быть одинаковыми или могут отличаться друг от друга. Отличие между

25 указанными двумя радиальными профилями 127 и 131 завихрения может образовывать

радиальный профиль угла закручивания завихрителя 88. В таком варианте выполнения

формы контура стороны повышенного давления лопатки и контура стороны

пониженного давления лопатки могут постепенно изменяться по длине 110.

[0045] Фиг.11 представляет собой графическую иллюстрацию другого варианта

30 выполнения радиального профиля 131 завихрения нижней по потоку кромки 128.

Радиальный профиль 131 завихрения содержит безвихревой дугообразный участок 210,

поворотный участок 212 постоянного профиля, линейно понижающийся участок 214

и индуцированный вихревой дугообразный участок 216. Безвихревой участок 210

проходит на расстояние 218 от стенки 74 до первой точки 220 перехода. Поворотный

35 участок 212 постоянного профиля проходит на расстояние 222 от первой точки 220

перехода до второй точки 224 перехода. Линейно понижающийся участок 214 проходит

на расстояние 226 от второй точки 224 перехода до третьей точки 228 перехода. Наконец,

индуцированный вихревой участок 216 проходит на расстояние 230 от третьей точки

228 перехода до стенки 72. Как показано на чертеже, угол закручивания линейно

40 понижающегося участка 214 снижается по направлению к точке 228 перехода. Как

показано, длины 218, 222, 226 и 230 могут меняться. В частности, каждая длина 218,

222, 226, 230 может составлять приблизительно от 5 до 95, приблизительно от 15 до 85

или приблизительно от 30 до 70 процентов от радиуса 108. Безвихревой дугообразный

участок 210 возле стенки 74 образует угол 232 закручивания. Аналогичным образом,

45 индуцированный вихревой участок 216 возле стенки 72 образует угол 234 закручивания.

В показанном варианте выполнения угол закручивания увеличивается вдоль длины

безвихревого дугообразного участка 210, является постоянным вдоль длины

поворотного участка 212 постоянного профиля, уменьшается линейно вдоль длины

линейно понижающегося участка 214 и уменьшается вдоль длины индуцированного вихревого участка 216.

[0046] В предложенном описании примеры, в том числе предпочтительный вариант выполнения, используются для раскрытия данного изобретения, а также для обеспечения возможности реализации изобретения на практике, включая изготовление и использование любых устройств и установок и осуществление любых соответствующих или предусмотренных способов, любым специалистом. Объем правовой охраны изобретения определен формулой изобретения и может охватывать другие примеры, очевидные специалистам. Подразумевается, что такие другие примеры находятся в рамках объема формулы изобретения, если они содержат конструктивные элементы, не отличающиеся от описанных в дословном тексте формулы, или конструктивные элементы, незначительно отличающиеся от описанных в дословном тексте формулы.

#### (57) Формула изобретения

1. Топливная форсунка, содержащая  
 центральный корпус, выполненный с возможностью приема первой части воздуха и доставки этого воздуха в зону горения, и  
 завихритель, выполненный с возможностью приема второй части воздуха и доставки этого воздуха в зону горения, при этом завихритель содержит  
 наружную окружную стенку,  
 внутреннюю окружную стенку и  
 завихряющую лопатку, имеющую радиальный профиль завихрения на ее нижней по потоку кромке, причем радиальный профиль завихрения содержит первый участок, проходящий от наружной окружной стенки до точки перехода, и второй участок, проходящий от точки перехода до внутренней окружной стенки, при этом по меньшей мере один участок, первый или второй, является, по существу, прямым, и по меньшей мере один участок, первый или второй, является дугообразным.

2. Топливная форсунка по п. 1, в которой центральный корпус содержит диффузионный завихритель, выполненный с возможностью придания вихревого движения порции первой части воздуха.

3. Топливная форсунка по п. 1, в которой радиальный профиль завихрения возле наружной окружной стенки образует первый угол закручивания, а возле внутренней окружной стенки образует второй угол закручивания, при этом первый угол закручивания больше, чем второй угол закручивания.

4. Топливная форсунка по п. 3, в которой первый угол закручивания имеет значение в пределах между приблизительно 40 градусами и приблизительно 60 градусами.

5. Топливная форсунка по п. 3, в которой второй угол закручивания составляет менее приблизительно 20 градусов.

6. Топливная форсунка по п. 1, в которой соотношение первой части воздуха и второй части воздуха составляет от приблизительно 0,05 до приблизительно 0,25.

7. Топливная форсунка по п. 1, в которой точка перехода расположена возле центра радиального профиля завихрения.

8. Топливная форсунка по п. 1, причем зона горения находится в камере сгорания газовой турбины.

9. Топливная форсунка по п. 1, в которой центральный корпус содержит ряд завихряющих лопаток, выполненных с возможностью обеспечения угла завихрения первой части воздуха, выходящей из центрального корпуса, причем указанный угол завихрения находится в диапазоне между приблизительно 30 градусами и



приблизительно 50 градусами.

10. Топливная форсунка по п. 1, в которой внутренняя окружная стенка содержит отверстие для впрыска топлива и завихряющая лопатка содержит отверстие для выпуска топлива, связанное по текучей среде с указанным отверстием для впрыска топлива.

11. Способ направления воздуха через топливную форсунку, включающий направление первой части воздуха через центральную часть корпуса топливной форсунки, причем первая часть воздуха выходит из центральной части корпуса возле внутренней стенки топливной форсунки под первым углом закручивания, и

направление второй части воздуха через завихритель топливной форсунки, причем вторая часть воздуха выходит из завихрителя возле наружной стенки топливной форсунки под вторым углом закручивания, при этом вторая часть воздуха выходит из завихрителя возле внутренней стенки топливной форсунки под третьим углом закручивания, причем второй угол закручивания больше третьего угла закручивания,

причем завихритель топливной форсунки содержит завихряющую лопатку, имеющую радиальный профиль завихрения на ее нижней по потоку кромке, причем радиальный

профиль завихрения содержит первый участок, проходящий от наружной окружной стенки до точки перехода, и второй участок, проходящий от точки перехода до внутренней окружной стенки, при этом по меньшей мере один участок, первый или второй, является, по существу, прямым, и по меньшей мере один участок, первый или

второй, является дугообразным.

12. Способ по п. 11, в котором соотношение первой части воздуха и второй части воздуха составляет от приблизительно 0,05 до приблизительно 0,25.

13. Способ по п. 11, в котором завихряют первую часть воздуха, выходящую из центрального корпуса, под углом закручивания, который составляет между

приблизительно 30 градусами и приблизительно 50 градусами.

14. Способ по п. 11, в котором завихряют вторую часть воздуха, выходящую из завихрителя возле наружной стенки, под углом закручивания, который составляет между приблизительно 40 градусов и приблизительно 60 градусов.

15. Способ по п. 11, в котором завихряют вторую часть воздуха, выходящую из завихрителя возле внутренней стенки, под углом закручивания, который составляет приблизительно менее 20 градусов.

16. Способ по п. 11, в котором дополнительно подают топливо через отверстие для впрыска топлива внутренней окружной стенки к отверстию для выпуска топлива завихряющей лопатки.

17. Завихритель топливной форсунки, содержащий наружную окружную стенку,

внутреннюю окружную стенку и

завихряющую лопатку, имеющую радиальный профиль завихрения на ее нижней по потоку кромке, при этом радиальный профиль завихрения содержит первый участок,

проходящий от наружной окружной стенки до точки перехода, и второй участок, проходящий от точки перехода до внутренней окружной стенки, причем по меньшей мере один участок, первый или второй, является поворотным участком постоянного профиля, и по меньшей мере один участок, первый или второй, является индуцированным вихревым участком.

18. Завихритель по п. 17, в котором радиальный профиль завихрения образует первый угол закручивания первого участка у наружной окружной стенки и радиальный профиль завихрения образует второй угол закручивания второго участка у внутренней окружной стенки, при этом первый угол закручивания больше, чем второй угол закручивания.

19. Завихритель по п. 18, в котором первый угол закручивания имеет значение в пределах между приблизительно 40 градусами и приблизительно 60 градусами.

20. Завихритель по п. 18, в котором второй угол закручивания составляет менее приблизительно 20 градусов.

5 21. Завихритель по п. 17, в котором точка перехода расположена возле центра радиального профиля завихрения.

22. Завихритель по п. 17, в котором поворотный участок постоянного профиля имеет, по существу, прямую форму, и индуцированный вихревой участок имеет дугообразную форму.

10 23. Завихритель по п. 17, в котором окружная стенка содержит отверстие для впрыска топлива и завихряющая лопатка содержит отверстие для выпуска топлива, связанное по текучей среде с указанным отверстием для впрыска топлива.

15

20

25

30

35

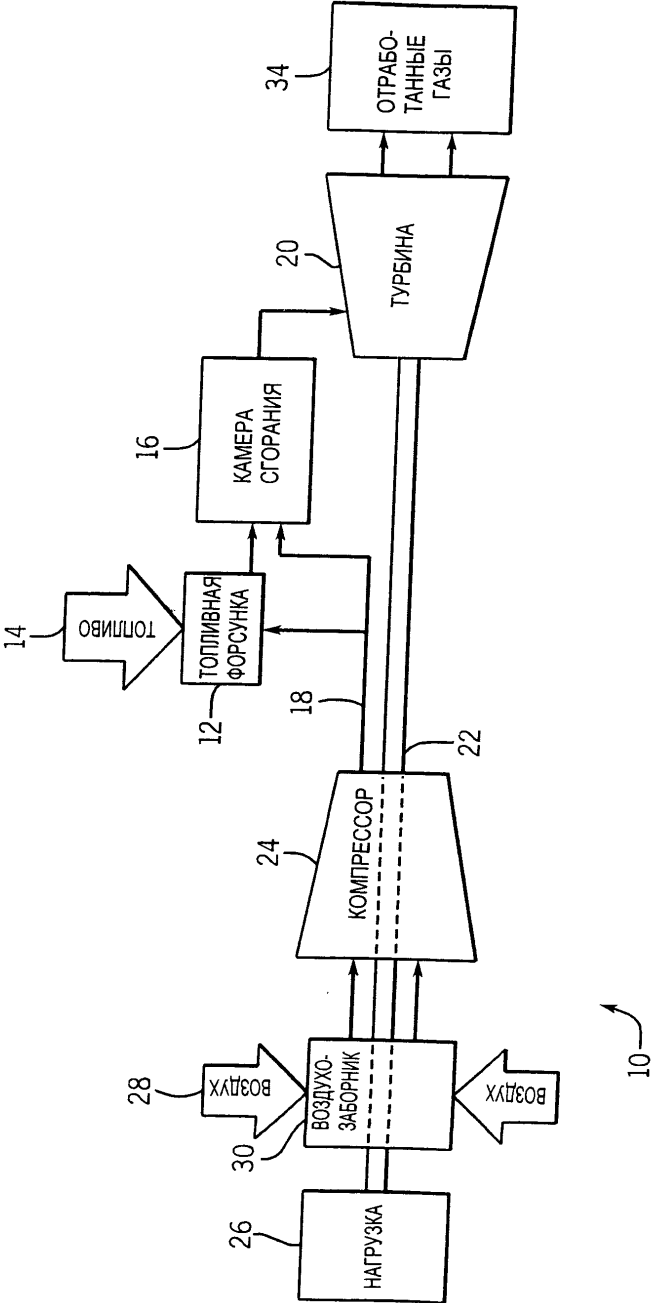
40

45

1

Система предварительного смешивания топлива  
и воздуха (варианты) и способ смешивания

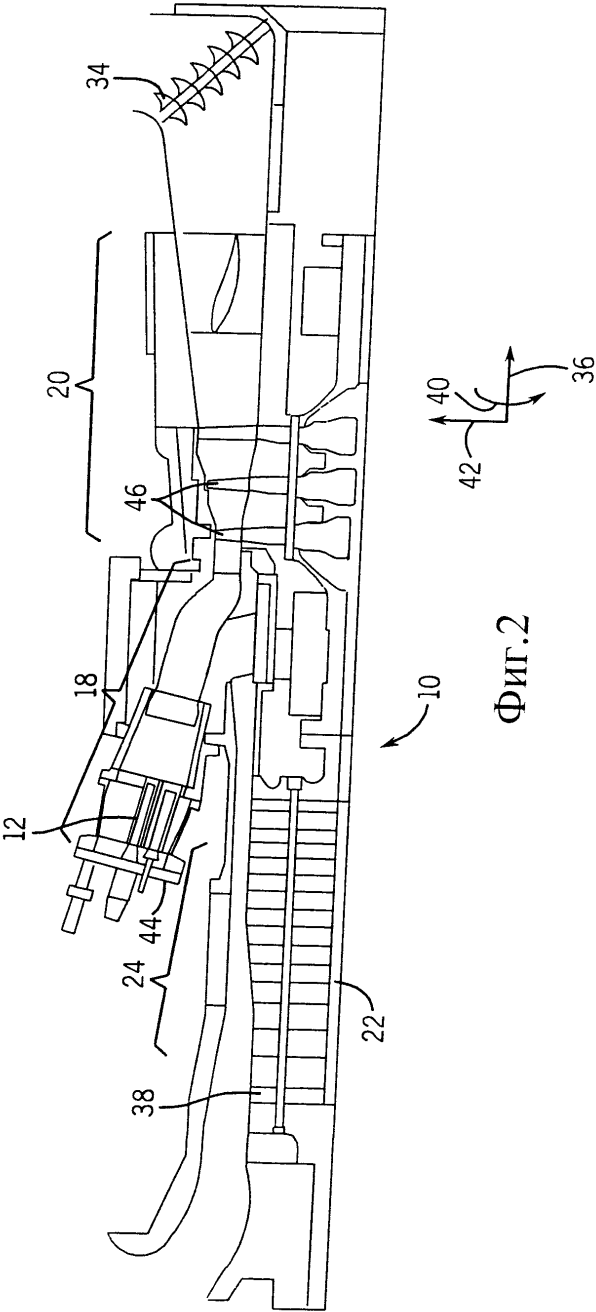
1 / 8



Фиг.1

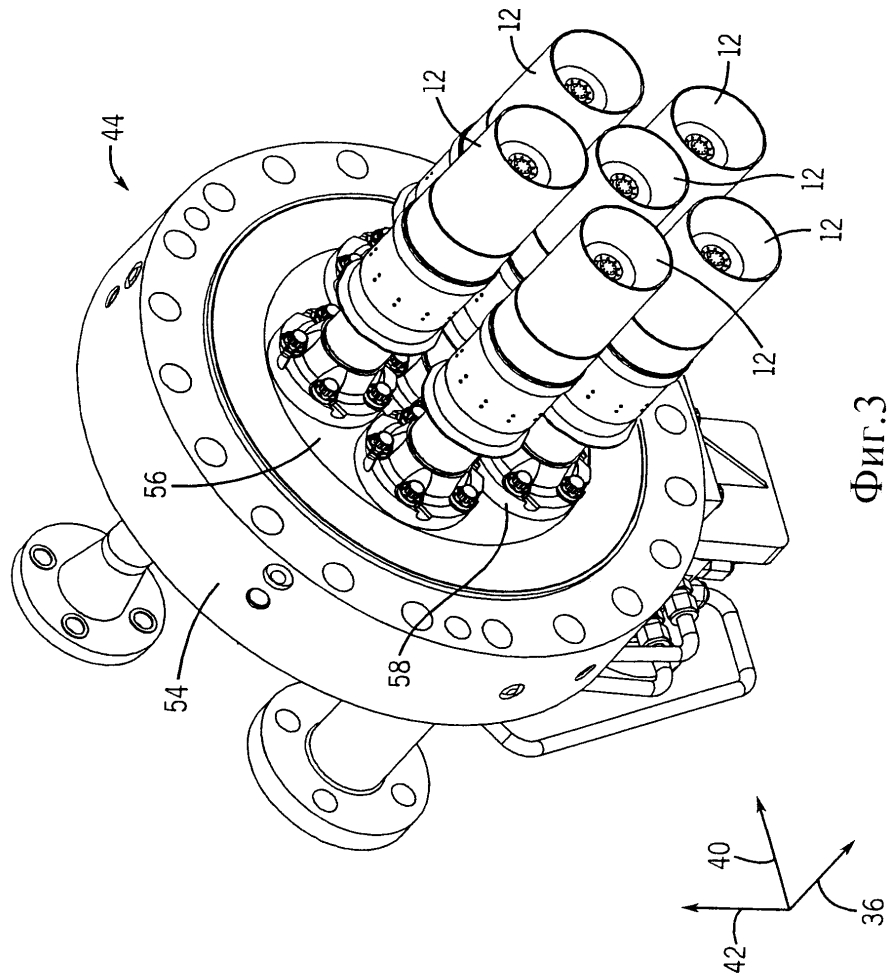
2

2 / 8

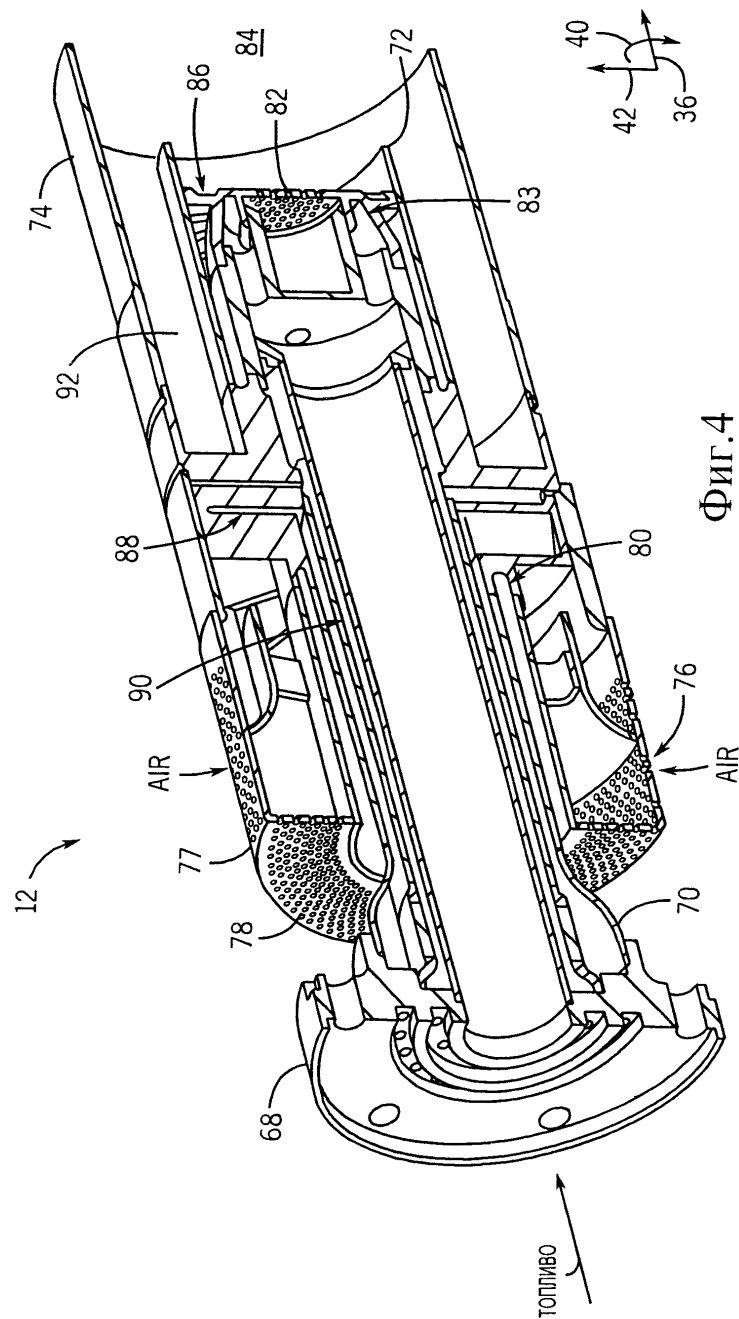


Фиг.2

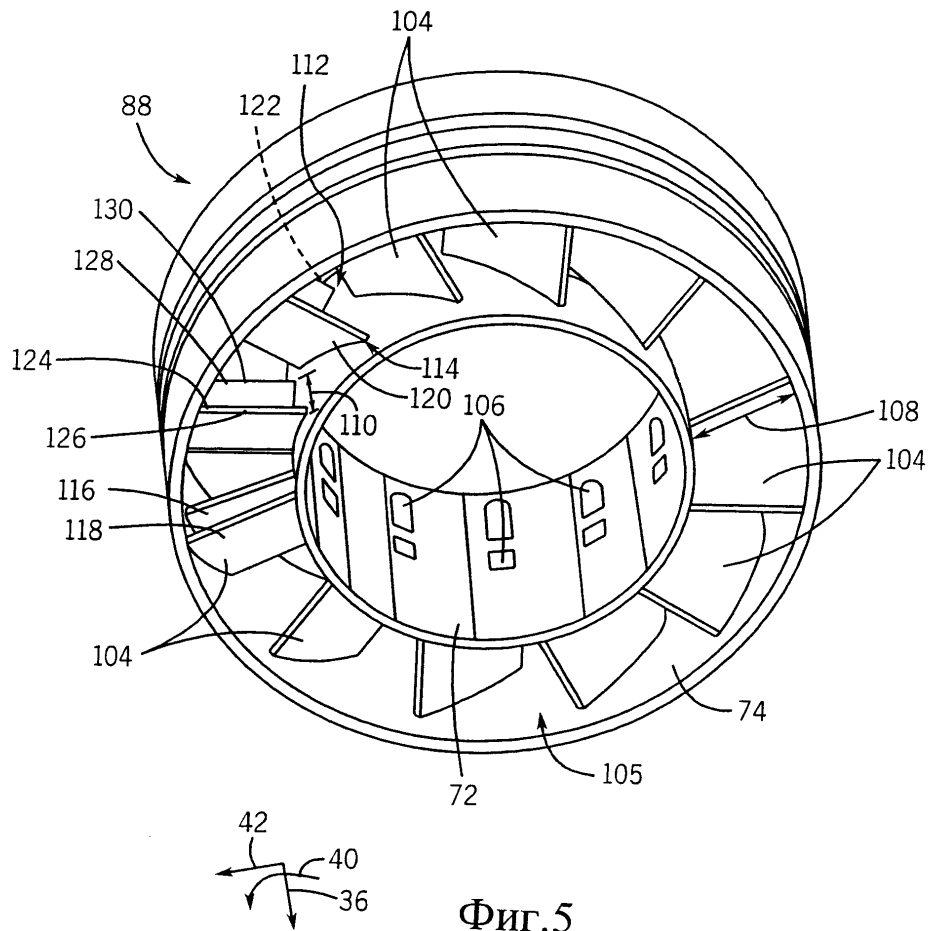
3 / 8



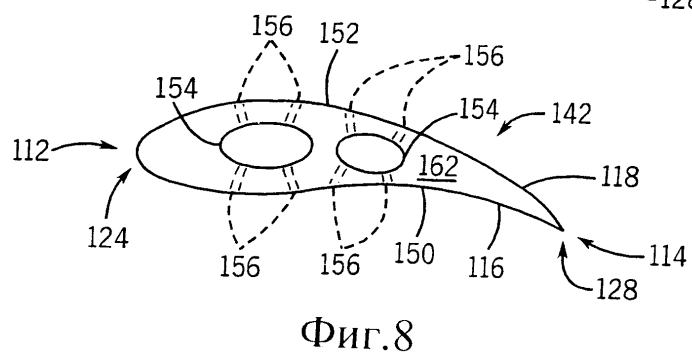
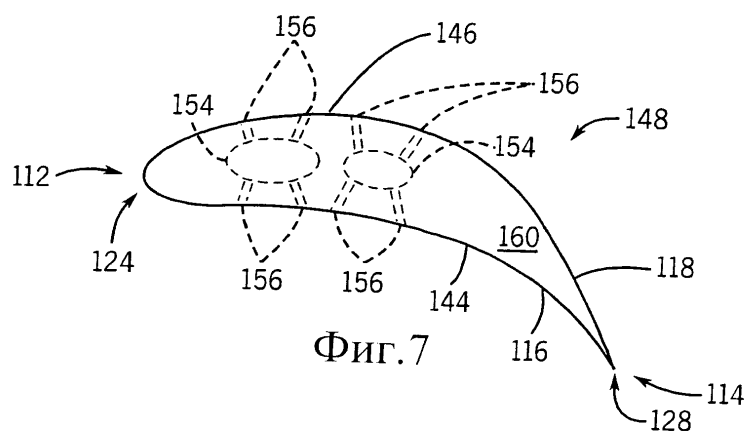
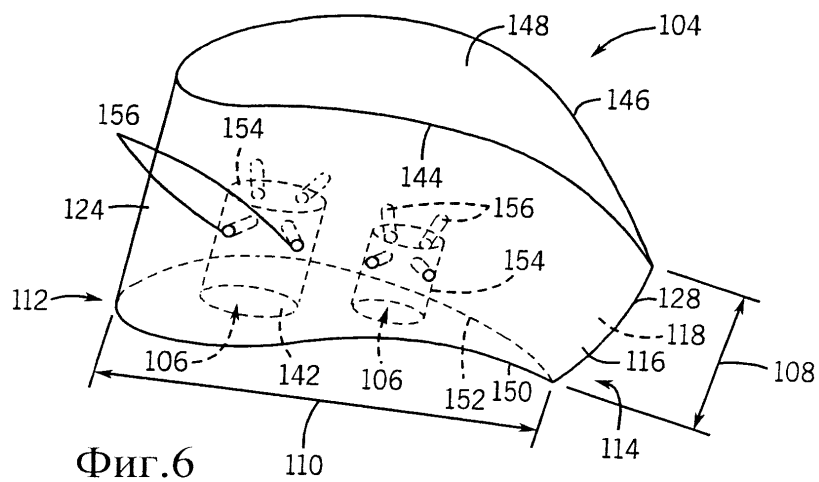
Фиг.3



5 / 8

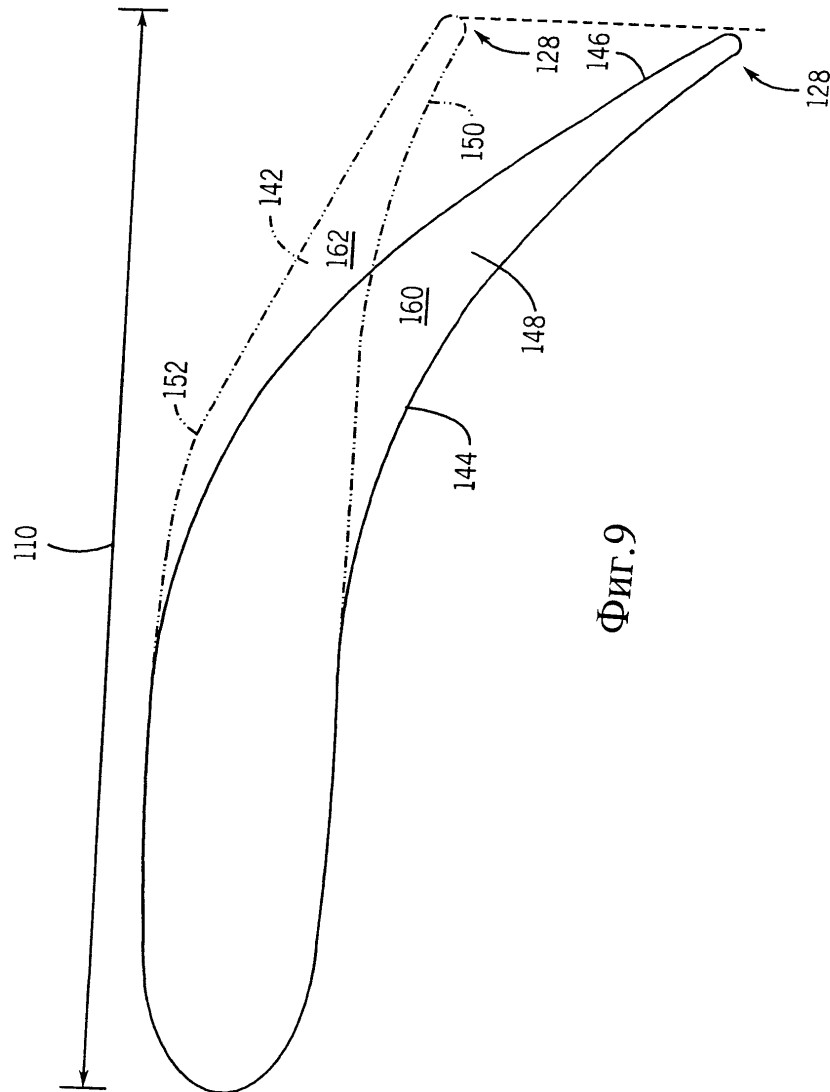


6 / 8





7 / 8



Фиг.9

