



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 186 298** <sup>(13)</sup> **C2**  
(51) МПК<sup>7</sup> **F 23 M 13/00, F 23 D 23/00**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

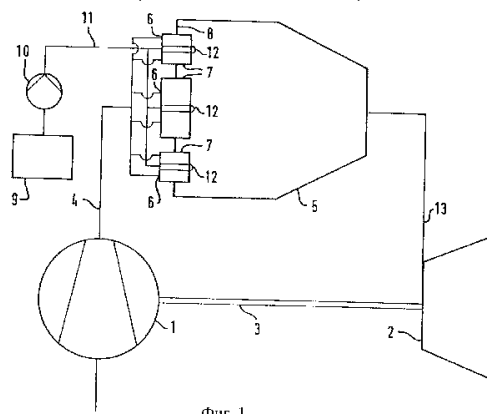
(21), (22) Заявка: 99107571/06, 28.08.1997  
(24) Дата начала действия патента: 28.08.1997  
(30) Приоритет: 16.09.1996 DE 19637725.0  
(43) Дата публикации заявки: 20.02.2001  
(46) Дата публикации: 27.07.2002  
(56) Ссылки: DE 4336096 A, 19.05.1994. DE 4339094 A, 18.05.1995. WO 9310401 A, 27.05.1993. RU 94026785 A1, 10.03.1996.  
(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 16.04.1999  
(86) Заявка РСТ: DE 97/01881 (28.08.1997)  
(87) Публикация РСТ: WO 98/12478 (26.03.1998)  
(98) Адрес для переписки: 129010, Москва, ул. Большая Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", Е.В.Томской

(71) Заявитель:  
СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)  
(72) Изобретатель: ХОФМАНН Штефан (DE),  
БЕРЕНБРИНК Петер (DE), ЮДИТ Ханс (DE)  
(73) Патентообладатель:  
СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)  
(74) Патентный поверенный:  
Томская Елена Владимировна

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА С ВОЗДУХОМ

(57) Способ и устройство сжигания топлива с воздухом предназначены для использования в энергетике. При осуществлении способа в камере сгорания через одно воздуховпускное отверстие подают воздух, а через несколько горелок - топливо. При этом каждая горелка имеет свое время задержки, соответствующее промежутку времени, по истечении которого акустический импульс в камере сгорания вырабатывает тепловой импульс при сжигании подаваемого через эту горелку топлива. При этом подачей топлива через горелки управляют таким образом, что время задержки горелок существенно отличается друг от друга. Изобретение применено для камеры сгорания газовой турбины и обеспечивает надежное подавление

колебаний горения. 2 с. и 15 з.п.ф-лы, 3 ил.



RU 2 186 298 C2

RU 2 186 298 C2



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 186 298** <sup>(13)</sup> **C2**  
 (51) Int. Cl.<sup>7</sup> **F 23 M 13/00, F 23 D 23/00**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

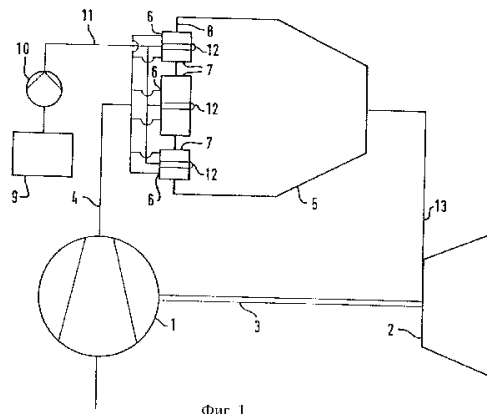
(21), (22) Application: 99107571/06, 28.08.1997  
 (24) Effective date for property rights: 28.08.1997  
 (30) Priority: 16.09.1996 DE 19637725.0  
 (43) Application published: 20.02.2001  
 (46) Date of publication: 27.07.2002  
 (85) Commencement of national phase: 16.04.1999  
 (86) PCT application:  
DE 97/01881 (28.08.1997)  
 (87) PCT publication:  
WO 98/12478 (26.03.1998)  
 (98) Mail address:  
129010, Moskva, ul. Bol'shaja Spasskaja, 25,  
str.3, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij  
i Partnery", E.V.Tomskoj

(71) Applicant:  
SIMENS AKTsiENGEZELL'ShAFT (DE)  
 (72) Inventor: KhOFFMANN Shtefan (DE),  
BERENBRINK Peter (DE), JuDIT Khans (DE)  
 (73) Proprietor:  
SIMENS AKTsiENGEZELL'ShAFT (DE)  
 (74) Representative:  
Tomskaja Elena Vladimirovna

(54) **METHOD AND DEVICE FOR FUEL AND AIR COMBUSTION**

(57) Abstract:

FIELD: power engineering; combustion chambers of gas turbines. SUBSTANCE: method involves air admission through one air inlet port and fuel, through several burners. Each burner is adjusted to respective delay time upon whose expiration acoustic pulse in combustion chamber generates heat pulse in burning fuel supplied through this burner. In the process fuel feed is controlled so that delay time greatly differs for each respective burner. EFFECT: enhanced reliability of suppressing fluctuations in combustion process. 17 cl, 3 dwg



RU 2 186 298 C2

RU 2 186 298 C2

Изобретение относится к способу сжигания топлива с воздухом в камере сгорания, к которой, по меньшей мере, через одно воздухопускное отверстие подают воздух, а через несколько горелок - топливо, причем каждая горелка имеет свое время задержки, соответствующее промежутку времени, по истечении которого акустический импульс в камере сгорания вырабатывает тепловой импульс при сжигании подаваемого через эту горелку топлива. Изобретение относится также к соответствующему устройству для сжигания топлива с воздухом.

Такие способ и устройство описаны в WO 93/10401 A1.

Изобретение относится, в частности к способу и устройству описанного выше рода для применения в газовой турбине, причем газовая турбина представляет собой блок из компрессора для воздуха, устройства для сжигания, включающего в себя, по меньшей мере, одну камеру сгорания для сжигания топлива в воздухе с образованием дымовых газов, а также турбины в собственном смысле этого слова для расширения дымовых газов. Турбина может быть составной, т.е. включать в себя несколько последовательно включенных секций; то же относится к компрессору. Компрессор выполнен в виде турбокомпрессора. На практике турбина приводит в действие компрессор.

Изобретение исходит из задачи демпфирования или предотвращения акустических колебаний в камере сгорания, создаваемых в процессе горения и известных как "колебания горения".

Во многих камерах сгорания, а именно как в камерах сгорания газовых турбин, так и в камерах сгорания топков котлов, промышленных печей или других установок, при определенных условиях, однозначно вызванных соответствующими термодинамическими рабочими параметрами, такими как коэффициент избытка воздуха и теплопроизводительность, возникают неустойчивые рабочие состояния, которые отличаются коррелированными флуктуациями тепловыделения при горении и статического давления в камере сгорания и/или включенных перед и за ней частей установки. Эти флуктуации выражаются в том, что в камере сгорания возникают акустические автоколебания. Эти акустические колебания вызывают помимо повышенной шумовой нагрузки на окружающую соответствующую установку усиленные механические и тепловые нагрузки на камеру сгорания и другие части установки, которые в короткое время вполне могут привести к полному или частичному отказу.

Все более широкое использование горелок с предварительным смешиванием в соответствующих камерах сгорания по мере роста требований в отношении, по возможности, нетоксичного сжигания вызывает благодаря более высокой плотности реакции, достигаемой за счет горелки с предварительным смешиванием, воспламенения, более зависимо от химического состава предназначенной для сжигания смеси, чем в диффузионной горелке, а также меньшего по сравнению с диффузионной горелкой конвективного времени задержки внутри образовавшегося пламени повышенную склонность к

образованию колебаний горения.

Колебание горения основано, в целом, на взаимодействии между потоком выходящих из используемой горелки участников реакции и энергообменом при горении, причем взаимодействие в сочетании с акустическим резонансом, возникающим в камере сгорания и присоединенных к ней частях установки, создает и поддерживает стабильное акустическое колебание. При этом выполненная из горелки, включая подводы, самого пламени и камеры сгорания или вместе с ней акустическая колебательная система образует замкнутый рабочий контур. Энергия, необходимая для создания и поддержания акустического колебания, вырабатывается при этом в процессе самого горения.

Акустические условия в камере сгорания, включая присоединенные системы, подробно пояснены в книге А. А. Putman "Combustion-Driven-Oszillations in Industry", American Elsevier Publishing Company, Inc., New York 1971, стр. 2. Также следует сослаться на диссертацию "Experimentelle und theoretische Untersuchungen der Entstehungsmechanismen selbsterregter Druckschwingungen in technischen Vormisch-Verbrennungssystemen", Karlsruhe, 1992, стр. 4 и 5.

Представлено и пояснено известное как "критерий Рэлея" условие, которое необходимо соблюсти, с тем чтобы могло возникнуть стабильное колебание горения.

Из критерия Рэлея выводится также критерий, который устанавливает связь продолжительности периода акустического колебания, для которой рассматривается возможность его возникновения, с "временем задержки", существенным образом характеризующим горелку и его работу. Это время задержки является промежутком времени, по истечении которого акустический импульс в камере сгорания, к которой присоединена горелка, вырабатывает тепловой импульс при сжигании подаваемого через эту горелку топлива. В отношении имеющегося в камере сгорания стабильного колебания и вызванного им посредством горелки теплового колебания, т.е. периодического изменения энергообмена при вызванном горелкой горении, время задержки соответствует разнице фаз между акустическим и тепловым колебаниями. Здесь следует особо сослаться на упомянутую диссертацию, стр. 26-29, а также на статью J. Herrmann, P. Zangl, S. Gleis, D. Vortmeyer "Untersuchung der Anregungsmechanismen selbsterregter Verbrennungsschwingungen an einem Verbrennungssystem für Flüssigkraftstoff", VDI-Berichte Nr. 1193 (1995), стр. 251-260.

Время задержки горелки в камере сгорания складывается из различных слагаемых, относящихся соответственно к отдельным компонентам системы из горелки, камеры сгорания и пламени. Слагаемые, относящиеся к горелке и камере сгорания, определяются главным образом геометрией горелки и камеры сгорания; слагаемое, относящееся к самому пламени,

определяется главным образом свойствами самого горения. Само слагаемое можно далее разложить на "конвективное время задержки", которое характеризует время для транспортировки участников реакции к фронту пламени, где происходит сгорание, "время нагрева", которое указывает на время для нагрева участников реакции до необходимой для воспламенения температуры, и "реакционно-кинетическое время задержки", которое определяется процессом самого горения. Как правило, конвективное время задержки заметно превышает оба других слагаемых.

Обычные меры подавления колебания горения в камере сгорания основаны либо на использовании более или менее эмпирически пассивных акустических средств, таких как дроссели, резонаторы и/или звукопоглотители (см. упомянутую книгу, стр. 156-175), или на подаче топлива на активную модуляцию с целью отделения высвобождающейся энергии от акустических колебаний в камере сгорания. Такая мера называется "активным контролем нестабильности"; для пояснения см. статью S. Gleis, D. Vortmeyer "Die 'aktive

**Instabilitätskontrolle** als  
Untersuchungsmethode für selbsteregte

**Verbrennungsinstabilitäten**",  
VDI-Berichte Nr. 756 (1989), стр. 645-656. В DE 4241729 A1 описан актуатор, с помощью которого находящемуся под давлением потоку жидкости придают колебание массового потока или давления. Актуатор предложен для использования с целью активного регулирования нестабильностей горения в горелках для жидкого топлива, а также в устройствах для распыления жидкостей.

Обычные пассивные меры подавления колебаний горения направлены на стабилизацию работы установки за счет смещения акустических свойств частей системы так, чтобы колебания горения больше не возникали по всему нужному рабочему диапазону. Эти меры требуют средств, которые в каждом конкретном случае необходимо приводить в соответствие с данной установкой и которые всегда скрывают в себе опасность того, что известные нестабильные рабочие точки будут, правда, стабилизированы, однако в других рабочих условиях возникнут новые нестабильности.

В DE 4336096 A1 описано устройство для уменьшения колебаний в камерах сгорания. Здесь в направлении потока перед камерой сгорания расположено несколько горелок, причем соседние горелки расположены в направлении потока со смещением по отношению друг к другу на заданном расстоянии. Это заданное расстояние выбрано при этом так, что при работе горелок распространяющиеся в направлении потока колебания температуры соседних горелок противоположно направлены. Таким образом, в сечении относительно направления потока зоны горения с положительным и отрицательным отклонениями от средней температуры находятся рядом, причем происходит смешивание этих зон в направлении потока и, тем самым, возникает равномерность температуры. Это должно

предотвращать колебание горения, вызванное колебаниями температуры, и тем самым, на основе различных плотностей также колебания давления.

Активные меры подавления колебаний горения могут быть реализованы в промышленных установках только с высокими затратами, в частности тогда, когда необходимо использовать жидкое топливо, а кроме того, они подвержены сбоям и требуют обслуживания. Помимо этого они приводят лишь к демпфированию соответствующих имеющихся нестабильностей и по своей эффективности сильно ограничены решающими в каждом конкретном случае конструктивными особенностями установки.

В соответствии с этим задачей изобретения является разработка новых пассивных мер в камере сгорания с несколькими горелками, пригодных для надежного подавления колебаний горения. Меры должны быть применимы как для жидких, так и для газообразных топлив независимо от аппаратных и функциональных особенностей камеры сгорания. Не должны использоваться подвижные детали или другие активные компоненты. Изобретение должно раскрывать как соответствующий способ, так и соответствующее устройство.

В отношении способа для решения этой задачи согласно изобретению, предложен способ сжигания топлива с воздухом в камере сгорания, к которой, по меньшей мере, через одно воздуховпускное отверстие подают воздух, а через несколько горелок - топливо, причем каждая горелка имеет свое время задержки, соответствующее промежутку времени, по истечении которого акустический импульс в камере сгорания вырабатывает тепловой импульс при сжигании подаваемого через эту горелку топлива, и причем подачей топлива через горелки и подачей воздуха через воздуховпускное отверстие управляют таким образом, что время задержки горелок существенно отличается друг от друга.

Изобретение исходит из того факта, что в камере сгорания, используемой обычно в газовой турбине и содержащей, как правило, несколько одинаковых горелок, благодаря взаимодействию горелок может произойти усиленное возбуждение колебаний горения. Если сначала только в одной горелке возникают тепловые колебания во взаимодействии с акустическими колебаниями, то эта одна горелка также возбуждает колебания в любой другой горелке камеры сгорания. Этот эффект выражается, например, в том, что в камере сгорания с несколькими одинаковыми горелками имеются соответственно резкие переходы между рабочими состояниями с колебаниями горения или без них. Поскольку возникающие колебания горения всегда исходят от нескольких горелок, у таких колебаний горения наблюдаются также очень высокие амплитуды.

В противоположность этому изобретение предусматривает использование горелок с различными акустическими свойствами, т.е., прежде всего, различным временем задержки. Благодаря этому горелки не могут взаимодействовать между собой, и, кроме того, можно всегда использовать демпфирующий эффект, исходящий каждый раз от стабильно работающей горелки.

В случае, когда к каждой горелке относится соответствующее воздуховпускное отверстие, через которое воздух подают в соответствующий поток в камере сгорания, способ преимущественно осуществляют так, что соответствующие потоки в горелках существенно отличаются друг от друга. Благодаря этому гарантировано надежное отличие друг от друга термодинамических условий, характеризующих данную работу горелок, и обеспечено различие времени задержки горелок между собой.

Альтернативный вариант осуществления способа, причем к каждой горелке относится соответствующее воздуховпускное отверстие, через которое воздух подают в соответствующий поток в камере сгорания, отличается тем, что горелки выполнены между собой, в основном, одинаково и на каждой горелке, кроме соответствующего воздуховпускного отверстия, соответствующий поток дросселируют, так что все соответствующие потоки существенно отличаются друг от друга. В качестве альтернативы соответствующий поток дросселируют на каждом воздуховпускном отверстии; это может быть желательным для придания потоку определенных нужных свойств, например для его гомогенизации. Эти варианты осуществления позволяют использовать горелки, выполненные между собой, в основном, одинаково, и за счет простых и дешевых дополнительных мер обеспечивают необходимое отличие времени задержки.

Другой дополнительный вариант осуществления способа на тот случай, когда к каждой горелке относится соответствующее воздуховпускное отверстие, через которое воздух подают в соответствующий поток в камеру сгорания, а соответствующие потоки геометрически схожи между собой, отличается тем, что горелки геометрически схожи между собой, однако имеют разную величину. Этот вариант представляет интерес также в отношении соответствующего устройства, поскольку он, тем не менее, позволяет предусмотреть для горелок одну-единственную форму и для изготовления различных горелок составить лишь шкалу различных размеров. Отличие времени задержки сохраняется, поскольку время задержки одной горелки определяется не только ее геометрией и не является, тем самым, инвариантным по шкале.

Все описанные варианты осуществления способа могут быть усовершенствованы таким образом, что к каждой горелке топливо подают с возможностью соблюдения заданного для всех горелок соотношения между скоростью подаваемого топлива и скоростью подаваемого через соответствующее воздуховпускное отверстие воздуха. Этот вариант представляет особый интерес потому, что он позволяет эксплуатировать каждую горелку для достижения требуемой, в целом, от сжигания теплопроизводительности оптимальным образом в отношении уменьшения всегда нежелательного образования оксидов азота. Этот вариант требует, однако, соответственно ускоренной подачи топлива.

В качестве альтернативы может быть также предусмотрена подача топлива к каждой горелке с заданной для всех горелок

скоростью. Это означает, правда, что отдельные горелки будут эксплуатироваться неоптимальным образом в отношении уменьшения образования оксидов азота, что, однако при определенных обстоятельствах приемлемо в отношении простоты подачи топлива.

Особое значение способ имеет при применении в сочетании с камерой сгорания, выполненной с возможностью резонирования акустического колебания с определенной продолжительностью периода, причем соответствующее время задержки каждой горелки лежит между целым кратным продолжительности периода минус четверть продолжительности периода и целым кратным продолжительности периода плюс четверть продолжительности периода. Это соответствует соблюдению, выведенного Херрманном и др., а также Бюхнером из критерия Рэлея критерию между временем задержки и продолжительностью периода рассматриваемого акустического колебания. Понятие "целочисленное кратное" включает в себя при этом также нуль. Понятно, что время задержки по определению не может принимать отрицательные значения. Признак, касающийся того, что камера сгорания выполнена с возможностью резонирования акустического колебания, не должен восприниматься как ограничительный в том отношении, что определяющей этот резонанс является одна только камера сгорания; понятно, что камера сгорания, как правило, является частью более или менее комплексной общей акустической системы, причем резонанс со всеми основными параметрами определяется общей акустической системой.

Особый интерес представляет также один вариант способа в том отношении, что в каждой горелке топливо смешивают с воздухом, прежде чем его сожгут в камере сгорания. В рамках этого варианта используется, тем самым, соответственно известное "сжигание с предварительным смешиванием". Сжигание с предварительным смешиванием представляет особый интерес, поскольку оно происходит при более низких температурах, чем вызываемое простыми средствами диффузионное сжигание, и потому значительно менее, чем диффузионное сжигание, склонно к образованию оксидов азота. В этой связи важно то, что изобретение создает также компромисс для упомянутых выше термодинамически-акустических проблем сжигания с предварительным смешиванием.

Способ в любом варианте особенно пригоден для применения в газовой турбине, причем воздух подготавливают в компрессоре, а дымовые газы, образующиеся в камере сгорания при сжигании топлива в воздухе, подают к турбине.

Для решения задачи, касающейся устройства, предложено согласно изобретению устройство для сжигания топлива с воздухом, содержащее камеру сгорания, в которой сжигают топливо с воздухом, по меньшей мере, одно воздуховпускное отверстие для подачи воздуха в камеру сгорания, несколько горелок для подачи топлива в камеру сгорания, причем каждая горелка имеет свое время задержки, соответствующее промежутку

времени, по истечении которого акустический импульс в камере сгорания вырабатывает тепловой импульс при сжигании подаваемого через эту горелку топлива, и топливоподвод для подачи топлива к горелкам, отличающееся тем, что время задержки горелок существенно отличается между собой.

Основные преимущества этого устройства вытекают из преимуществ способа, согласно изобретению и вариантов его осуществления. Способ и варианты его осуществления требуют при определенных обстоятельствах определенных признаков устройства, которые следует рассматривать в качестве признаков вариантов выполнения устройства согласно изобретению. То же относится к признакам способа, которые вытекают из устройства и вариантов его выполнения и которые также следует рассматривать как признаки вариантов способа.

Предпочтительное усовершенствование изобретения отличается тем, что горелки геометрически отличны друг от друга.

В качестве альтернативы горелки в устройстве геометрически одинаковы между собой, а топливоподвод выполнен для подачи топлива к горелкам с соответствующими скоростями, существенно отличающимися друг от друга.

Другая альтернатива характеризуется тем, что к каждой горелке относится соответствующее воздуховпускное отверстие и на каждой горелке, кроме одной, или на каждой горелке предусмотрен дроссель для дросселирования проходящего через соответствующее воздуховпускное отверстие потока воздуха. Такой дроссель может быть выполнен, например, в виде установленной перед горелкой заслонки.

Особенно предпочтительным является усовершенствование устройства в том отношении, что камера сгорания резонирует акустическое колебание с определенной продолжительностью периода и что для каждой горелки соответствующее время задержки лежит между целым кратным продолжительности периода минус четверть продолжительности периода и целым кратным продолжительности периода плюс четверть продолжительности периода. Этот вариант выполнения соответствует уже описанному варианту способа, и все приведенные рассуждения аналогичным образом относятся к варианту выполнения устройства.

Особенно предпочтительным является использование устройства в газовой турбине, причем камера сгорания расположена между компрессором и турбиной.

В отношении расположения нескольких горелок в камере сгорания следует отметить, что предпочтительным является, по возможности, их асимметричное расположение. То, как асимметричное расположение может выглядеть в каждом конкретном случае и по каким критериям следует оценивать "достаточную асимметрию", представляется в каждом конкретном случае на усмотрение специалисту, обладающему опытом работы в данной области. Принцип, на который при этом следует обратить особое внимание, сводится к тому, что акустическое колебание, как правило, отличается более или менее

симметричным расположением стоячих акустических волн во всей колебательной системе. В качестве примера следует сослаться на наблюдаемое на кольцеобразной камере сгорания колебание горения, отличавшееся акустическими волнами, которые обтекали в замкнутом виде кольцеобразную камеру сгорания. Длина волн акустических колебаний соответствовала при этом половине средней окружности кольцеобразной камеры сгорания. Для подавления такого колебания было бы предпочтительным избегать при расположении горелок двухчисленных или четырехчисленных симметрий.

Изобретение не требует, чтобы в камере сгорания не было двух горелок с одинаковыми свойствами; цели изобретения вполне может отвечать камера сгорания, к которой из нескольких типов горелок присоединено несколько горелок каждого типа. В этой связи на газовой турбине с двумя бункерными камерами сгорания обычного типа, каждая из которых содержала шесть одинаковых между собой горелок для сжигания мазута, при работе ниже 80% требуемой для расчета номинальной нагрузки наблюдались акустические колебания с амплитудами 100 мбар. Эти акустические колебания удалось устранить путем замены в каждой бункерной камере сгорания двух из шести горелок на слегка модифицированные горелки. Модифицированные горелки были выполнены так, что при номинальной нагрузке они получали приблизительно на 8% меньше топлива, чем немодифицированные горелки. Модифицированные горелки использовались так, что они заключали между собой одну немодифицированную горелку.

Модифицированное выполнение горелок позволило эксплуатировать газовую турбину до 100% ее номинальной мощности без возникновения акустических колебаний заметной величины.

Примеры реализации изобретения поясняются с помощью чертежа. Чертеж выполнен частично схематично, и его не следует рассматривать как отражение конкретно выполненных установок или их компонентов. Для дополнения приведенных с помощью чертежа указаний следует сослаться на пояснение действительно проведенного испытания, упомянутые публикации, касающиеся уровня техники, а также знания специалиста с опытом работы в данной области. На чертеже изображают:

- фиг.1 газовую турбину и устройство для сжигания топлива с воздухом;
- фиг.2 вид сверху на камеру сгорания с несколькими горелками;
- фиг.3 схематичное сечение камеры сгорания с несколькими горелками.

На чертеже соответствующие друг другу компоненты обозначены одинаковыми ссылочными позициями.

На фиг.1 изображена газовая турбина, включающая в себя компрессор 1, турбину 2, вал 3, воздухопровод 4, камеру сгорания 5, трубопровод 13 для дымовых газов. Турбина 2 приводит компрессор 1 через вал 3. Из компрессора 1 сжатый воздух попадает по воздухопроводу 4 к камере сгорания 5 и поступает в нее через воздуховпускные отверстия 6, каждое из которых относится к одной горелке 7, причем каждая горелка 7

расположена в задней стенке 8 камеры 5 сгорания. Для подачи топлива к горелкам 7 предусмотрен топливопровод, содержащий резервуар 9, насос 10 и топливопровод 11. Горелки 7 снабжаются топливом из резервуара 9 насосом 10 через топливопровод 11, разветвляющийся перед горелками 7. Это топливо сгорает в камере 5 сгорания с подаваемым по воздухопроводу 4 воздухом.

Камера 5 сгорания является способной к акустическим колебаниям конструкцией и может, при необходимости, рассматриваться как составная часть всей способной к акустическим колебаниям системы, которая включает в себя, например, камеру 5 сгорания, ведущий от нее к турбине 2 трубопровод 13 для дымовых газов, а также, при необходимости, воздухопровод 4 и топливопровод 11. Акустические колебания в камере 5 сгорания, которая колеблется сама по себе или как составная часть всей такой системы, могут возбуждаться и поддерживаться флуктуациями при горении топлива; в таком случае говорят о колебаниях горения. Такие колебания горения могут стать настолько сильными, что камера 5 сгорания и другие детали газовой турбины могут быть повреждены.

Для того чтобы избежать таких колебаний горения и, в частности, исключить, чтобы несколько горелок 7 взаимодействовали между собой, возбуждая такое колебание горения, горелки 7 выполнены между собой по-разному. Это приводит к тому, что не все горелки 7 имеют одинаковые основные свойства и что, в частности, характеризующее данный процесс горения время задержки отличается друг от друга. Таким образом, выполнение по фиг.1, во всяком случае, исключает, что горелки 7 будут сообща возбуждать колебание горения.

Указания по предпочтительному принципу эксплуатации горелок 7 уже даны; все эти указания представляют интерес для изображенного на фиг.1 примера выполнения. В частности, можно распределять топливо по горелкам 1 в соответствии с определенными предпочтительными заданными значениями; при этом можно, в частности, действовать таким образом, чтобы каждая горелка 7 работала так, чтобы скорость подаваемого через ее соответствующее воздухопускное отверстие 6 воздуха находилась в заданном для всех горелок 7 соотношении со скоростью подаваемого через ее соответствующую форсунку 12 топлива. Такой принцип эксплуатации предпочтителен для поддержания образующихся в камере 5 сгорания оксидов азота на как можно более низком уровне.

Горелки 7 на фиг.1 изображены в качестве так называемых диффузионных горелок, поскольку они впрыскивают топливо непосредственно в камеру 5 сгорания. При этом топливо может смешиваться с подаваемым воздухом только в камере 5 сгорания, что, по опыту, происходит за счет диффузии. Диффузионные горелки имеют простую конструкцию и могут эксплуатироваться относительно несложным образом, однако в отношении образования оксидов азота они уступают более сложным горелкам с предварительным смешиванием, поясняемым с помощью фиг.2.

На фиг.2 изображен вид сверху на заднюю стенку 8 камеры 5 сгорания, если смотреть в направлении, в котором воздух течет к камере 5 сгорания. В заднюю стенку 8 встроены пять горелок 7, выполненных, в основном, одинаково между собой. Каждая горелка 7 имеет определенное число завихряющих лопаток 14, которые придают завихрение проходящему через них воздуху. Такое завихрение обладает преимуществом для самого горения и для однородного смешивания топлива с воздухом. В завихряющих лопатках 14 предусмотрены форсунки 12, из которых топливо попадает в воздух, прежде чем он поступит в камеру 5 сгорания и топливо сможет воспламениться. В соответствии с этим изображенные на фиг. 2 горелки 7 выполнены в виде так называемых "горелок с предварительным смешиванием". Они имеют, конечно, более сложную конструкцию, чем диффузионные горелки, однако в отношении образования оксидов азота обладают по сравнению с ними значительными преимуществами. Горелка с предварительным смешиванием подает смесь из топлива и воздуха с определенным составом на сжигание, благодаря чему возможно существенно более тонкое управление горением, чем у диффузионной горелки, где процесс смешивания топлива и воздуха практически неуправляем. Горение протекает у горелки с предварительным смешиванием также при значительно более низких максимальных температурах, чем у диффузионной горелки, что предпочтительно для воспрепятствования образованию оксидов азота. У каждой горелки 7 ступица 15 окружена лопатками 14; ступица 15 может служить для подачи топлива к форсункам 12.

В примере выполнения по фиг.2 перед четырьмя из пяти горелок установлены заслонки в форме дросселя 16, каждая из которых частично закрывает завихряющие лопатки 14 и действует, тем самым, в качестве дросселя для поступающего в горелку 7 потока воздуха. За счет этого основные рабочие параметры всех горелок 7 отличаются друг от друга, что исключает взаимодействие горелок 7 для возбуждения колебаний горения в камере 5 сгорания. Рассуждения, касающиеся предпочтительных вариантов выполнения изобретения, относятся и к примеру выполнения по фиг.2.

На фиг.3 изображен продольный разрез камеры 5 сгорания вместе с ее задней стенкой 8 и двумя горелками 7. Горелки 7 также выполнены в виде горелок с предварительным смешиванием. Каждая горелка 7 содержит три форсунки 12 для подачи топлива, установленные на ступице 15. Из двух форсунок топливо попадает между завихряющими лопатками 14, в результате чего он смешивается с протекающим воздухом. Одна форсунка 12 обращена непосредственно внутрь камеры 5 сгорания и образует так называемое "пилотное пламя", в котором сгорание происходит по типу диффузионной горелки; это пилотное пламя служит для стабилизации горения смеси из воздуха и топлива, образованной между завихряющими лопатками 14 и имеющей обычно избыток кислорода. Это позволяет регулировать образование тепла горелкой 7 в широких пределах.

Обе горелки с предварительным смешиванием геометрически схожи между собой, т.е. они отличаются друг от друга только величиной, но не пропорциями. Также из этого вытекает отличие соответствующих рабочих параметров, используемое для исключения взаимодействия этих горелок 7 для возбуждения колебаний горения в камере 5 сгорания.

**Формула изобретения:**

1. Способ сжигания топлива с воздухом в камере (5) сгорания, к которой, по меньшей мере, через одно воздуховпускное отверстие (6) подают воздух, а через несколько горелок (7) - топливо, причем каждая горелка (7) имеет свое время задержки, соответствующее промежутку времени, по истечении которого акустический импульс в камере (5) сгорания вырабатывает тепловой импульс при сжигании подаваемого через эту горелку (7) топлива, отличающийся тем, что подачу топлива через горелки (7) и подачу воздуха через воздуховпускное отверстие (6) регулируют таким образом, что время задержки горелок (7) существенно отличается друг от друга.

2. Способ по п. 1, при котором а) к горелкам (7) относится соответствующее воздуховпускное отверстие (6), через которое воздух подают в соответствующий поток в камере (5) сгорания, и б) соответствующие потоки в горелках (7) существенно отличаются друг от друга.

3. Способ по п. 1, при котором а) горелки (7) выполнены между собой, в основном, одинаково; б) к каждой горелке (7) относится соответствующее воздуховпускное отверстие (6), через которое воздух подают в соответствующий поток в камере (5) сгорания, и в) на каждой горелке (7), кроме соответствующего воздуховпускного отверстия (6), соответствующий поток дросселируют, так что все соответствующие потоки существенно отличаются друг от друга.

4. Способ по п. 1, при котором а) горелки (7) выполнены между собой, в основном, одинаково; б) к каждой горелке (7) относится соответствующее воздуховпускное отверстие (6), через которое воздух подают в соответствующий поток в камере (5) сгорания, и в) на каждом воздуховпускном отверстии (6) соответствующий поток дросселируют, причем соответствующие потоки отличаются друг от друга.

5. Способ по п. 1, при котором а) горелки (7) геометрически схожи между собой, однако имеют разную величину; б) к каждой горелке (7) относится соответствующее воздуховпускное отверстие (6), через которое воздух подают в соответствующий поток в камеру (5) сгорания, причем соответствующие потоки геометрически схожи между собой.

6. Способ по одному из пп. 1-5, при котором в каждой горелке (7) топливо подают с возможностью соблюдения заданного для всех горелок соотношения между скоростью подаваемого топлива и скоростью подаваемого через соответствующее воздуховпускное отверстие (6) воздуха.

7. Способ по одному из пп. 1-5, при котором к каждой горелке (7) топливо подают с заданной для всех горелок (7) скоростью.

8. Способ по одному из предыдущих пунктов, при котором камера (5) сгорания

выполнена с возможностью резонирования акустического колебания с определенной продолжительностью периода и для каждой горелки (7) соответствующее время задержки лежит между целым кратным продолжительности периода минус четверть продолжительности периода и целым кратным продолжительности периода плюс четверть продолжительности периода.

9. Способ по одному из предыдущих пунктов, при котором в каждой горелке (7) топливо смешивают с воздухом, прежде чем сожгут в камере (5) сгорания.

10. Способ по одному из предыдущих пунктов, при котором воздух подготавливают в компрессоре (1), а дымовые газы, образующиеся в камере (5) сгорания при сжигании топлива в воздухе, подают к турбине (2).

11. Устройство для сжигания топлива с воздухом, содержащее а) камеру (5) сгорания для сжигания топлива с воздухом; б) по меньшей мере, одно воздуховпускное отверстие (6) для подачи воздуха в камеру (5) сгорания; в) несколько горелок (7) для подачи топлива в камеру (5) сгорания, причем каждая горелка (7) имеет свое время задержки, соответствующее промежутку времени, по истечении которого акустический импульс в камере (5) сгорания способен вырабатывать тепловой импульс при сжигании подаваемого через эту горелку (7) топлива, и г) топливоподвод для подачи топлива к горелкам (7), отличающееся тем, что время задержки горелок (7) существенно отличается друг от друга.

12. Устройство по п. 11, у которого горелки (7) геометрически отличаются друг от друга.

13. Устройство по п. 11, у которого горелки (7) геометрически одинаковы между собой и топливоподвод выполнен для подачи топлива к горелкам (7) с соответствующими скоростями, существенно отличающимися друг от друга.

14. Устройство по одному пп. 11-13, у которого к каждой горелке (7) относится соответствующее воздуховпускное отверстие (6) и на каждой горелке (7), кроме одной, предусмотрен дроссель (16) для дросселирования проходящего через соответствующее воздуховпускное отверстие (6) потока воздуха.

15. Устройство по одному из пп. 11-13, у которого к каждой горелке (7) относится соответствующее воздуховпускное отверстие (6) и на каждой горелке (7) предусмотрен дроссель (16) для дросселирования проходящего через соответствующее воздуховпускное отверстие (6) потока воздуха.

16. Устройство по одному из пп. 11-15, у которого камера (5) сгорания выполнена с возможностью резонирования акустического колебания с определенной продолжительностью периода и для каждой горелки (7) соответствующее время задержки лежит между целым кратным продолжительности периода минус четверть продолжительности периода и целым кратным продолжительности периода плюс четверть продолжительности периода.

17. Устройство по одному из пп. 11-16, у которого камера (5) сгорания расположена в газовой турбине между компрессором (1) и

турбиной (2).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

-9-

**RU 2186298 C2**

**RU ?186298 C2**

