



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008138545/06, 20.02.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.02.2007(30) Конвенционный приоритет:  
28.02.2006 DE 102006009562.6

(43) Дата публикации заявки: 10.04.2010

(45) Опубликовано: 10.12.2010 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 4896501 A, 30.01.1990. US 6112512 A,  
05.09.2000. US 5341640 A, 30.08.1994. DE  
1235670 A, 02.03.1967. RU 2004123918 A,  
27.01.2006. RU 2003136814 A, 20.05.2005. RU  
2035008 C1, 10.05.1995. RU 2116567 C1,  
27.07.1998.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную  
фазу: 29.09.2008(86) Заявка РСТ:  
EP 2007/051597 (20.02.2007)(87) Публикация РСТ:  
WO 2007/099046 (07.09.2007)Адрес для переписки:  
103735, Москва, ул. Ильинка, 5/2,  
"Союзпатент", А.А.Силаевой(72) Автор(ы):  
ХЕЙЛОС Андреас (DE),  
КРЕБС Вернер (DE),  
ВАН КАМПЕН Яп (NL)(73) Патентообладатель(и):  
СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)

RU 2 4 0 6 0 3 4 C 2

RU 2 4 0 6 0 3 4 C 2

(54) ГАЗОТУРБИННАЯ ГОРЕЛКА И СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОТУРБИННОЙ  
ГОРЕЛКИ

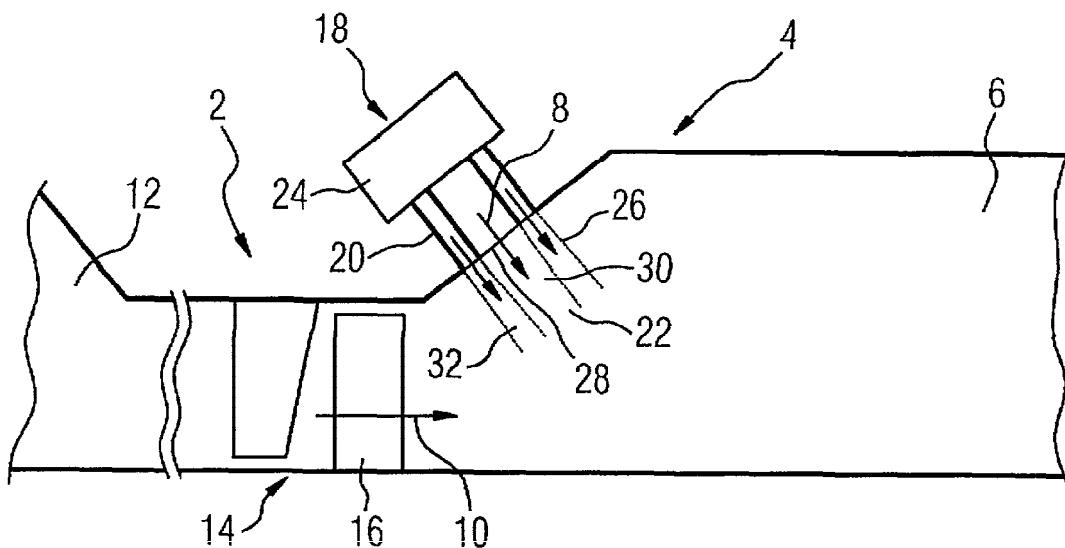
## (57) Реферат:

Изобретение относится к газотурбинной горелке. Газотурбинная горелка (4) с зоной сгорания (6) для сжигания смеси из отходящего газа (10) с добавкой газообразного топлива (8) и с устройством подмешивания топлива (18) с топливным соплом (20, 34, 48) для впрыскивания газообразного топлива (8) в отходящий газ (10), причем устройство подмешивания топлива (18) рассчитано на впрыскивание газообразного топлива (8) в

отходящий газ (10) с, по меньшей мере, 0,2-кратной скоростью звука. Впрыскиваемая струя (22) из газообразного топлива (8) содержит, по меньшей мере, внутреннюю струю (30) из топливосодержащего газа и окружающую внутреннюю струю (30) внешнюю струю (32) из охлаждающего газа, причем охлаждающий газ имеет более низкую температуру, чем отходящий газ (10). Предусмотрена первичная камера сгорания (12), причем зона сгорания (6)

расположена в потоке отходящего газа ниже первичной камеры сгорания (12) и предусмотрено устройство подмешивания топлива (18) для впрыскивания газообразного топлива (8) в отходящий газ (10) из первичной камеры сгорания (12). Устройство подмешивания топлива (18) содержит блок предварительного смешивания (24) для предварительного смешивания газообразного топлива (8) с кислородсодержащим газом или инертным веществом. Градиент среза в краевой области (26) впрыскиваемой струи (22) в области перед выходом сопла (28) лежит выше критического градиента среза для самовоспламенения газообразного топлива (8). Устройство подмешивания топлива (18) рассчитано на впрыскивание в отходящий газ (10) газообразного топлива (8) с давлением,

которое, по меньшей мере, на 20% выше, предпочтительно, по меньшей мере, на 50% выше, чем среднее давление во вторичной зоне сгорания (6). Температура охлаждающего газа лежит между 200°C и 600°C. Скорость внешней струи (32) из охлаждающего газа равна скорости внутренней струи (30). Скорость внешней струи (32) из охлаждающего газа является больше, чем скорость внутренней струи (30). Охлаждающий газ содержит топливо. Охлаждающий газ состоит, по меньшей мере, в основном из инертного вещества и/или воздуха. Температура отходящего газа (8) в зоне сгорания (6) лежит между 900°C и 1600°C. Изобретение позволяет снизить выход вредных веществ в атмосферу. 2 н. и 16 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

R U 2 4 0 6 0 3 4 C 2

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(19) RU (11) 2 406 034 (13) C2

(51) Int. Cl.  
*F23R 3/34* (2006.01)  
*F23R 3/24* (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2008138545/06, 20.02.2007

(24) Effective date for property rights:  
20.02.2007

(30) Priority:  
28.02.2006 DE 102006009562.6

(43) Application published: 10.04.2010

(45) Date of publication: 10.12.2010 Bull. 34

(85) Commencement of national phase: 29.09.2008

(86) PCT application:  
EP 2007/051597 (20.02.2007)

(87) PCT publication:  
WO 2007/099046 (07.09.2007)

Mail address:  
103735, Moskva, ul. Il'inka, 5/2, "Sojuzpatent",  
A.A.Silaevoj

(72) Inventor(s):  
KhEJLOS Andreas (DE),  
KREBS Verner (DE),  
VAN KAMPEN Jap (NL)

(73) Proprietor(s):  
SIMENS AKTSIENGESELLSCHAFT (DE)

R U 2 4 0 6 0 3 4 C 2

(54) GAS TURBINE BURNER AND OPERATING METHOD OF GAS TURBINE BURNER

(57) Abstract:

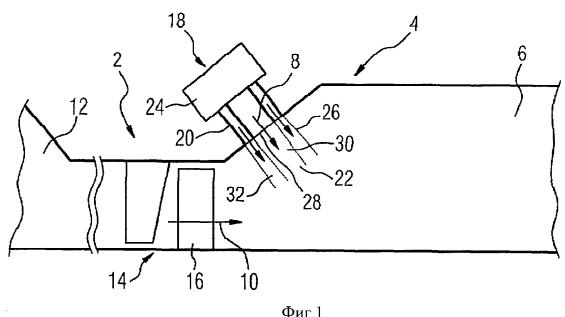
FIELD: power industry.

SUBSTANCE: gas turbine burner (4) with combustion zone (6) for firing the mixture from exit gas (10) with addition of gaseous fuel (8) and with fuel mixing device (18) with fuel nozzle (20, 34, 48) for spraying of gaseous fuel (8) to the exit gas (10); at that, fuel mixing device (18) is designed for injection of gaseous fuel (8) to exit gas (10) at least with 0.2-fold sound speed. Injected jet (22) from gaseous fuel (8) includes at least internal jet (30) from fuel containing gas and enveloping internal jet (30), external jet (32) from cooling gas; at that, cooling gas has the temperature which is lower than exit gas (10). Primary combustion gas is provided (12); at that, combustion zone (6) is located in exit gas flow below primary combustion chamber (12), and fuel mixing device (18) is provided for injection of gaseous fuel (8) to exit gas (10) from primary combustion chamber (12). Fuel mixing device (18) includes pre-mixing unit (24)

for pre-mixing of gaseous fuel (8) with oxygen-containing gas or inert substance. Cut gradient in edge area (26) of injected jet (22) in the area before outlet of nozzle (28) lies above critical cut gradient for self-ignition of gaseous fuel (8). Fuel mixing device (18) is designed for spraying to exit gas (10) of gaseous fuel (8) with pressure which is at least by 20% higher, preferably at least by 50% higher than intermediate pressure in the secondary combustion area (6). Cooling gas temperature is 200°C to 600°C. Velocity of external jet (32) from cooling gas is equal to velocity of internal jet (30). Velocity of external jet (32) from cooling gas is higher than velocity of internal jet (30). Cooling gas contains fuel. Cooling gas consists at least of inert substance and/or air. Exit gas temperature (8) in combustion area (6) is 900°C to 1600°C.

EFFECT: invention allows reducing the output of hazardous substances to atmosphere.

18 cl, 3 dwg



R U 2 4 0 6 0 3 4 C 2

R U 2 4 0 6 0 3 4 C 2

Изобретение касается газотурбинной горелки с зоной сгорания для сжигания смеси из отходящего газа с добавкой газообразного топлива и с устройством подмешивания топлива с топливным соплом для впрыскивания газообразного топлива в отходящий газ, причем устройство подмешивания топлива рассчитано на впрыскивание газообразного топлива (8) в отходящий газ с, по меньшей мере, 0,2-кратной скоростью звука. Кроме того, изобретение исходит из способа эксплуатации газотурбинной горелки с зоной сгорания, в которой сжигают смесь из отходящего газа с добавкой газообразного топлива, причем газообразное топливо впрыскивают в отходящий газ топливным соплом, причем газообразное топливо впрыскивают в отходящий газ с, по меньшей мере, 0,2-кратной скоростью звука.

Для достижения спокойного и стабильного горения в газовой турбине известно впрыскивание газообразного топлива в горячие отходящие газы, так что образуется газовая смесь с температурой выше температуры самовоспламенения.

Из US 5617718 A известна система сжигания для газотурбинной горелки с вторичной зоной сгорания и способ для эксплуатации газотурбинной горелки с вторичной зоной сгорания. Во вторичной зоне сгорания сжигают смесь из отходящего газа из первичной зоны сгорания газовой турбины с добавкой газообразного топлива.

Из US 2005/0229581 известно устройство подмешивания топлива с топливным соплом для впрыскивания газообразного топлива в отходящий газ вторичной зоны сгорания. Отходящий газ вводят во вторичную зону сгорания с помощью акустического экрана, чтобы демпфировать акустические пульсации в смесительной трубе, в которой расположено топливное сопло, и в камере сгорания.

Газовая турбина, в которой отходящий газ с добавкой газообразного топлива впрыскивают с высокой скоростью в зону дожигания, описана в US 4896501. Из US 6112512 известно пульсирующее впрыскивание смешанного с горючим газом отходящего газа в зону дожигания для достижения большой глубины проникновения впрынутой струи в струю отходящего газа.

Задача изобретения состоит, в частности, в том, чтобы создать газотурбинную горелку и способ эксплуатации газотурбинной горелки. Техническим результатом является обеспечение сжигания с низкой эмиссией вредных веществ.

Технический результат достигается в газотурбинной горелке, в которой впрыскиваемая струя из газообразного топлива содержит, по меньшей мере, внутреннюю струю из топливосодержащего газа и окружающую внутреннюю струю внешнюю струю из охлаждающего, газа, причем охлаждающий газ имеет более низкую температуру, чем отходящий газ. За счет скорости, которая соответствует, по меньшей мере, числу Маха  $Ma=0,2$ , может достигаться жесткость струи, за счет которой в краевой области струи достигается высокий градиент среза, то есть скорость, резко уменьшающаяся по краевой области от внутренней части струи к внешней части. Градиент среза может количественно оцениваться, например, с помощью дифференцирования компоненты скорости жидкотекучей среды или, соответственно, газа в продольном направлении струи по относительно средней оси струи поперечному или соответственно радиальному направлению. В областях с высокими градиентами среза реакция горения не может иметь места, так что смесь по сравнению со струями с менее резким краем воспламеняется только позднее. За счет этого эффекта горение замедляется и может обеспечиваться хорошее смешивание отходящего газа с газообразным топливом.

В обычных системах сжигания с повторным нагревом топливо воспламеняется уже через 0,3 мс или меньше, так что топливо может мало смешиваться с отходящим

газом. За счет этого возникает невыгодное диффузионное пламя, которое приводит к неприемлемым NO<sub>x</sub>-эмиссиям. О диффузионном пламени говорят, если пламя горит без предварительного смешивания с воздухом. Необходимый для сжигания кислород, так же как и все другие компоненты воздуха, диффундирует через край пламени внутрь пламени, в результате чего пламя в направлении к ядру пламени все хуже снабжается кислородом и поэтому топливо сгорает более медленно.

В противоположность этому за счет соответствующей изобретению системы сжигания с повторным нагревом вместо видимого пламенного фронта делается возможным не светящееся горение, которое известно также как плавное горение, бесцветное горение или объемное горение и, в частности, с особенно малым содержанием вредных веществ. Газ в областях с градиентом среза, который является выше, чем критический градиент среза, смешивается для самовоспламенения с отходящим газом и воспламеняется только, если он конвективно транспортируется в область, в которой значение градиента среза лежит ниже критического значения. При этом достигается зона пламени большого объема, в которой горение происходит приблизительно равномерно. За счет подходящего выбора состава газообразного топлива может далее достигаться очень тощее горение, что, в конце концов, приводит к малому количеству компонент вредных веществ, как NO<sub>x</sub> или CO во вторичном отходящем газе.

Важным параметром соответствующего изобретению решения является скорость струи относительно системы отсчета. Система отсчета может быть неподвижной камерой сгорания, в частности, тогда, когда отходящий газ, в который производят впрыскивание, течет медленно, так что его скоростью можно пренебречь. Если также горячий газ, в который производят впрыскивание, находится в быстром движении, то в качестве системы отсчета может выбираться система отсчета, движущаяся с окружающим струю отходящим газом. Тогда скорость, с которой газообразное топливо впрыскивают в отходящий газ, предпочтительным образом является отнесенной к движущейся с отходящим газом системе отсчета. Скорость звука при этом целесообразно рассматриваться как скорость звука выступающей из сопла, несгоревшей топливосодержащей топливной смеси - в последующем называемой также просто газообразным топливом, которая является зависящей от температуры и давления газообразного топлива. Газообразное топливо, следовательно, может впрыскиваться в отходящий газ струей со скоростью, которая, по меньшей мере, является настолько большой, как 0,2-кратная скорость звука в газообразном топливе.

Поскольку дисперсивные эффекты обуславливают частотную зависимость скорости звука, их значение может привлекаться при нескольких сотнях герц. Скорость впрыскивания может измеряться, например, в середине струи, или усреднение по всему поперечному сечению или по части поперечного сечения струи.

Газотурбинная горелка является целесообразно системой дожигания или, соответственно, системой сжигания с повторным нагревом или частью таковой системы. Газообразное топливо содержит целесообразно долю топлива, которая является достаточной, чтобы обогатить отходящий газ с заданной температурой топливом таким образом, что он самовоспламеняется. В качестве топлива могут применяться все применяемые в газовых турбинах виды топлива, например, котельное топливо, синтез-газ, природный газ, метанол или чистый водород, а также газовые смеси. Достигаемый путем высокой скорости впрыскивания принцип замедления горения характеризуется за счет высокого градиента среза значительной

независимостью от примененного топлива.

В предпочтительном выполнении изобретения газотурбинная горелка содержит первичную камеру сгорания, причем зона сгорания расположена в потоке отходящего газа ниже первичной камеры сгорания, и предусмотрено устройство подмешивания топлива для впрыскивания газообразного топлива в отходящий газ из первичной камеры сгорания. Газообразное топливо может впрыскиваться в отходящий газ без необходимости рециркуляции отходящего газа, за счет чего является достижимой стабильная впрыскиваемая струя с высоким градиентом среза.

10 В последующем выполнении изобретения предлагается, что устройство подмешивания топлива рассчитано на впрыскивание газообразного топлива в отходящий газ с, по меньшей мере, 0,4-кратной скоростью звука. В принципе, область, в которой значение градиента среза лежит выше критического значения, является тем больше, чем быстрее и жестче струя. За счет впрыскивания с числом Маха 0,4, которое 15 является реализуемым технически просто и экономично относительно затрат, может достигаться уже заметное замедление самовоспламенения, которое, наконец, приводит к удовлетворительному снижению концентрации вредных веществ во вторичном отходящем газе.

20 Если устройство подмешивания топлива рассчитано на впрыскивание газообразного топлива в отходящий газ со скоростью, меньшей, чем 0,9-кратная скорость звука в отходящем газе, может достигаться удовлетворительный баланс между требованиями высокой скорости, с одной стороны, и экономичных относительно затрат устройств подмешивания топлива, с другой стороны.

25 Если устройство подмешивания топлива содержит блок предварительного смешивания для предварительного смешивания газообразного топлива с кислородсодержащим газом, может достигаться тощее, плавное горение с низким содержанием вредных веществ в продуктах сгорания. Смешанным продуктом из 30 предварительного смешивания является газообразное топливо, которое впрыскивается в отходящий газ.

35 В частности, предлагается, что блок предварительного смешивания рассчитан для того, чтобы предварительно смешивать газообразное топливо с кислородсодержащим газом так, что соотношение между числом молекул топлива к числу молекул кислорода лежит между 0,2 и 10. Тощее горение может достигаться уже при скоростях струи в нижней части соответствующей изобретению области скоростей, если блок предварительного смешивания рассчитан для того, чтобы предварительно смешивать газообразное топливо с кислородсодержащим газом так, что соотношение между 40 числом молекул топлива к числу молекул кислорода лежит ниже 1,0.

45 Альтернативно или дополнительно к топливу может примешиваться инертное вещество, причем целесообразно учитывать также вышеуказанные соотношения, однако с инертным веществом вместо кислородсодержащего газа. В качестве инертного вещества особенно пригодным является водяной пар,  $\text{CO}_2$  или азот.

50 Относительное содержание частиц инертного вещества может составлять до десятикратного количества топлива. Топливо может впрыскиваться также без подмешивания кислородсодержащего газа или инертного вещества в качестве газообразного топлива.

55 Задержка самовоспламенения может обеспечиваться, если градиент среза в краевой области струи в области перед выходом сопла - следовательно, вниз по потоку выхода сопла - лежит выше критического градиента среза для самовоспламенения.

При этом является предпочтительным, если длина области перед выходом сопла, в

которой градиент среза лежит выше критического градиента среза для самовоспламенения, имеет длину, по меньшей мере, 10 см. Длина области зависит, естественно, от скоростей струи и отходящего газа и предпочтительно является выбранной так, что самовоспламенение замедляется, по меньшей мере, на 1 мс.

5 Если устройство подмешивания топлива рассчитано на впрыскивание в отходящий газ газообразного топлива под давлением, которое является, по меньшей мере, на 20% выше, в частности, по меньшей мере, на 50% выше, чем среднее давление во вторичной зоне сгорания, струя может реализовываться особенно простым образом. В общем, 10 отношение разницы давлений между давлением струи и давлением отходящего газа к давлению отходящего газа равно отношению из скорости струи и скорости звука в отходящем газе.

Если впрыскиваемая струя из газообразного топлива содержит, по меньшей мере, 15 одну внутреннюю струю из топливосодержащего газа и окружающую внутреннюю

струю внешнюю струю из охлаждающего газа, причем охлаждающий газ имеет меньшую температуру, чем отходящий газ, может достигаться особенно эффективное предварительное смешивание, так как самовоспламенение посредством

охлаждающего газа замедляется еще больше за счет замедления достижения 20 температуры самовоспламенения. Далее следует учитывать, что критическое значение градиента среза является зависящим от температуры, так что оно снижается путем добавления охлаждающего газа. Это может приводить, наконец, к увеличению зоны предварительного смешивания, в которой градиент среза лежит выше зависящего от локальной температуры критического значения.

25 Эффективное охлаждение может достигаться, если температура охлаждающего газа лежит между 200°C и 400°C.

Если скорость внешней струи из охлаждающего газа является равной скорости 30 внутренней струи, жесткость края струи за счет дополнительной внешней струи не уменьшается, так что может достигаться большой градиент среза.

Преимущество замедления горения может быть еще больше повышенено, если 35 скорость внешней струи из охлаждающего газа является большей, чем скорость внутренней струи. Еще более высокий градиент среза может достигаться между внешней струей и окружающей средой, чем только внутренней струей и окружающей средой, за счет чего горение может замедляться еще больше.

Если, с другой стороны, скорость внешней струи из охлаждающего газа является 40 меньшей, чем скорость внутренней струи, внешняя струя может получаться экономичным образом без дорогих компрессоров и сопел.

Экономичная относительно затрат реализация газотурбинной горелки может 45 достигаться за счет того, что охлаждающий газ по меньшей мере в основном состоит из воздуха.

Преимущества изобретения в этой температурной области вследствие особенно 45 быстрого самовоспламенения проявляются, в частности, тогда, когда температура отходящего газа лежит между 900°C и 1600°C.

Направленная на способ задача изобретения решается способом для эксплуатации 50 газовой турбины названного вначале вида, при котором согласно изобретению впрыскиваемая струя из газообразного топлива содержит, по меньшей мере, одну внутреннюю струю из топливосодержащего газа и окружающую внутреннюю струю внешнюю струю из охлаждающего газа, причем охлаждающий газ имеет меньшую температуру, чем отходящий газ.

Изобретение поясняется более подробно на основе примеров выполнения, которые

представлены на чертежах:

фиг.1 - газотурбинная горелка с вторичной зоной сгорания согласно первому примеру выполнения изобретения;

5 фиг.2 - топливное сопло системы сжигания с повторным нагревом согласно альтернативному выполнению изобретения;

фиг.3 - выполненное в виде копья топливное сопло системы сжигания с повторным нагревом согласно следующему альтернативному выполнению изобретения.

Фиг.1 показывает систему сжигания с повторным нагревом 2 для газотурбинной 10 установки с газотурбинной горелкой 4 с вторичной зоной сгорания 6, в которой сжигают смесь из отходящего газа 10 с добавкой газообразного топлива 8. Отходящий газ 10 происходит из расположенной по течению относительно отходящего газа 10 перед зоной сгорания 6 первичной камеры сгорания 12 газотурбинной установки, 15 которая отделена от зоны сгорания 6 ступенью турбины 14 газовой турбины, рабочие лопатки 16 которой приводятся в движение отходящими газами 10 из камеры сгорания 12. Вторичная зона сгорания 6 в основном выполнена кольцеобразной и вращательно-симметричной относительно не представленной оси вращения ступени турбины 14. Втекающий во вторичную зону сгорания 6 отходящий газ 10 имеет 20 температуру, которая лежит между 900°C и 1600°C. Вместо отделения вторичной зоны сгорания 6 от первичной камеры сгорания 12 за счет ступени турбины 14, является возможной вместо первичной камеры сгорания 12 предварительная ступень сгорания выше по течению вторичной зоны сгорания 2 в общей камере сгорания.

Система сжигания с повторным нагревом 2 содержит устройство подмешивания 25 топлива 18 с топливным соплом 20, через которое газообразное топливо 8 вводится в относительно оси вращения ступени турбины 14 с направленной радиально внутрь компонентой направления в отходящий газ 10, втекающий аксиально во вторичную зону сжигания 6.

Устройство подмешивания топлива 18 за счет сильных компрессоров и геометрии 30 сопла рассчитано на то, чтобы впрыскивать газообразное топливо 8 в быстрой впрыскиваемой с сильным импульсом струе 22 в отходящий газ 10. Скорость впрыскиваемой струи 22 может гибко согласовываться в зависимости от сигналов 35 сенсорных датчиков, которые содержат параметрические значения для состояния системы сжигания с повторным нагревом 2, к детектированному состоянию за счет того, что не представленный здесь блок управления системы сжигания с повторным нагревом 2 устанавливает компрессорное давление устройства подмешивания топлива 18.

Скорость, однако, по меньшей мере, в одном режиме работы, в котором 40 производят сжигание с высоким градиентом среза, лежит в области между 0,4-кратным и 0,9-кратным значениями скорости звука в отходящем газе 10. Блок управления для этого может устанавливать скорость в зависимости от давления и от температуры отходящего газа 10 или управлять постоянной скоростью 45 впрыскиваемой струи 22, которая в любом случае при всех появляющихся температурах и давлениях превышает соответствующую 0,4-кратной скорости звука минимальную скорость.

В режиме работы, отличающемся особенно малым содержанием вредных веществ, 50 устройство подмешивания топлива 18 впрыскивает газообразное топливо 8 в отходящий газ 10 со скоростью, которая лежит между 0,6-кратным и 0,8-кратным значениями скорости звука в отходящем газе 10.

Топливное сопло 20 рассчитано в этом примере выполнения в виде дозвукового

сопла, так что устройство подмешивания топлива 18 может впрыскивать газообразное топливо 8 в отходящий газ 10 со скоростью, которая соответствует 0,9-кратной скорости звука в отходящем газе 10.

5 Далее, устройство подмешивания топлива 18 содержит представленный здесь  
только схематически блок предварительного смешивания 24 для предварительного  
смешивания газообразного топлива 8 с кислородсодержащим газом или инертным  
веществом. Блок предварительного смешивания 24 может предварительно смешивать  
10 газообразное топливо 8 в переменно регулируемом соотношении компонентов смеси с  
соответствующим газом. Область возможных соотношений компонентов смеси, то  
есть возможных соотношений между количеством молекул топлива к количеству  
молекул кислорода, охватывает, в частности, область между 0,2 и 2,0.

15 По меньшей мере, в режиме сжигания с высоким градиентом среза блок управления  
эксплуатирует блок предварительного смешивания 24 таким образом, что он  
предварительно смешивает газообразное топливо 8 с кислородсодержащим газом в  
таком отношении, что отношение между количеством молекул топлива и количеством  
молекул кислорода лежит ниже 1,0.

20 Скорость впрыскиваемой струи 22 является настолько большой, что градиент среза  
в краевой области 26 сильноимпульсной струи 22 лежит в области перед выходом  
сопла 28 выше критического градиента среза для самовоспламенения. При этом длина  
области до выхода сопла 28, в которой градиент среза лежит выше критического  
градиента среза для самовоспламенения, составляет, по меньшей мере, 10 см.

25 Для получения высоких скоростей устройство подмешивания топлива 18 содержит  
не представленный здесь компрессор, так что оно может впрыскивать газообразное  
топливо 8 в отходящий газ 10 с давлением, которое является, по меньшей мере, на 20%  
выше, чем среднее давление отходящего газа 10 во вторичной зоне сгорания 6. В  
представленном примере выполнения давление отходящего газа 10 из первичной зоны  
30 сгорания 2 во вторичную зону сгорания 6 составляет около 20 бар, а давление  
газообразного топлива 30 бар.

35 При этом впрыскиваемая струя 22 из газообразного топлива 8 состоит из  
внутренней струи 30 из топливосодержащего газа и окружающей внутреннюю  
струю 30 внешней струи 32 из охлаждающего газа. Температура охлаждающего газа  
лежит между 200°C и 600°C, так что охлаждающий газ имеет меньшую температуру,  
чем отходящий газ 10, который втекает из первичной зоны сгорания во вторичную  
зону сгорания 6.

40 Во время эксплуатации системы сжигания с повторным нагревом в первичной  
камере сгорания 12 сжигается газообразное топливо, и горячие отходящие газы 10  
текут через ступень турбины 14 во вторичную зону сгорания 6. В этом потоке  
отходящего газа газообразное топливо 8 впрыскивается в струе 22 в отходящий газ 10  
со скоростью, которая является, по меньшей мере, такой большой, как 0,2-кратное  
значение скорости звука в отходящем газе 10. В первом примере выполнения при этом  
45 скорость внешней струи 32 из охлаждающего газа равна скорости внутренней  
струи 30, так что между внутренней струей 30 и внешней струей 32 не возникает  
никакой градиент среза. Большой градиент среза возникает тогда в краевой  
области 26 на переходе между внешним краем внешней струи 32 и отходящим  
газом 10, окружающим всю впрыскиваемую струю 22.

50 В альтернативном выполнении, которое конструктивно является менее сложным,  
скорость внешней струи 32 из охлаждающего газа является меньше, чем скорость  
внутренней струи 30.

Охлаждающий газ состоит, по меньшей мере, в основном из инертного вещества, как азот,  $\text{CO}_2$  или водяной пар, причем устройство подмешивания топлива 18 может примешивать к охлаждающему газу топливо в регулируемом соотношении, чтобы гомогенизировать пламя. Альтернативно в охлаждающем газе или в качестве охлаждающего газа может также применяться воздух.

Фиг.2 показывает топливное сопло 34 альтернативной системы сжигания с повторным нагревом. Топливное сопло 34 содержит внутреннюю трубу 36 и концентрически окружающую внутреннюю трубу 36 внешнюю трубу 38, которая 10 выходит вперед за пределы внутренней трубы 36 в направлении течения и которая в передней области смешивания 40 имеет конически сужающееся поперечное сечение, которое заканчивается на круглом выходном отверстии 42 топливного сопла 34.

Во внутренней трубе 36 направляется чистое топливо или, по меньшей мере, топливосодержащий газ с большим содержанием топлива, в то время как в 15 промежуточном пространстве между внутренней трубой 36 и внешней трубой 38 направляется богатый кислородом обволакивающий поток, в котором в предпочтительном примере выполнения направляется воздух. В области смешивания 40 топливосодержащий газ с большим содержанием топлива и богатый 20 кислородом обволакивающий поток смешиваются в предварительно смешанное газообразное топливо 8.

В конически сужающейся передней области смешивания 40 топливного сопла 34 газообразное топливо 8 ускоряется, так как усредненная по профилю струи скорость в основном является обратно пропорциональной к площади поперечного сечения. За 25 счет выходного отверстия 42 предварительно смешанное газообразное топливо 8 вводится, наконец, во впрыскиваемой струе 22 во вторичную зону сгорания 6.

Фиг.3 показывает альтернативную систему сжигания с повторным нагревом 44, которая отличается от представленных на фиг.1 и 2 систем сжигания с повторным 30 нагревом, в частности, выполненным в виде копья 46, входящего внутрь в середину потока из отходящего газа 10, топливного сопла 48. Газообразное топливо 8 направляется через вдающуюся радиально относительно оси вращения ступени турбины 14 во вторичную зону сгорания 6 трубу 50 топливного сопла 48. На радиально внутреннем конце трубы 50 примыкает указывающее в направлении 35 течения направляемого во второй зоне сгорания 6 отходящего газа 10 копье 46, через которое газообразное топливо 8 впрыскивается в отходящий газ 10 во впрыскиваемой струе 22 с числом Маха в предпочтительной области между 0,4 и 0,9 в основном в направлении течения отходящего газа 10.

40

#### Формула изобретения

1. Газотурбинная горелка (4) с зоной сгорания (6) для сжигания смеси из отходящего газа (10) с добавкой газообразного топлива (8) и с устройством подмешивания топлива (18) с топливным соплом (20, 34, 48) для впрыскивания 45 газообразного топлива (8) в отходящий газ (10), причем устройство подмешивания топлива (18) рассчитано на впрыскивание газообразного топлива (8) в отходящий газ (10) с, по меньшей мере, 0,2-кратной скоростью звука, отличающаяся тем, что впрыскиваемая струя (22) из газообразного топлива (8) содержит, по меньшей мере, 50 внутреннюю струю (30) из топливосодержащего газа и окружающую внутреннюю струю (30) внешнюю струю (32) из охлаждающего газа, причем охлаждающий газ имеет более низкую температуру, чем отходящий газ (10).

2. Газотурбинная горелка (4) по п.1, отличающаяся тем, что предусмотрена

первичная камера сгорания (12), причем зона сгорания (6) расположена в потоке отходящего газа ниже первичной камеры сгорания (12), и предусмотрено устройство подмешивания топлива (18) для впрыскивания газообразного топлива (8) в отходящий газ (10) из первичной камеры сгорания (12).

5. Газотурбинная горелка (4) по п.1 или 2, отличающаяся тем, что устройство подмешивания топлива (18) рассчитано на впрыскивание газообразного топлива (8) в отходящий газ (10) с, по меньшей мере, 0,4-кратной скоростью звука.

10. Газотурбинная горелка (4) по п.2, отличающаяся тем, что устройство подмешивания топлива (18) рассчитано на впрыскивание газообразного топлива (8) в отходящий газ (6) со скоростью, которая является меньше, чем 0,9-кратная скорость звука в газообразном топливе (10).

15. Газотурбинная горелка (4) по п.1, отличающаяся тем, что устройство подмешивания топлива (18) содержит блок предварительного смешивания (24) для предварительного смешивания газообразного топлива (8) с кислородсодержащим газом или инертным веществом.

20. Газотурбинная горелка (4) по п.5, отличающаяся тем, что блок предварительного смешивания (24) рассчитан на предварительное смешивание газообразного топлива (8) с кислородсодержащим газом так, что отношение числа молекул топлива к числу молекул кислорода лежит между 0,2 и 10.

25. Газотурбинная горелка (4) по п.5 или 6, отличающаяся тем, что блок предварительного смешивания (24) рассчитан на такое предварительное смешивание газообразного топлива (8) с кислородсодержащим газом, что отношение числа молекул топлива к числу молекул кислорода лежит ниже 1,0.

30. Газотурбинная горелка (4) по одному из пп.1-7, отличающаяся тем, что градиент среза в краевой области (26) впрыскиваемой струи (22) в области перед выходом сопла (28) лежит выше критического градиента среза для самовоспламенения газообразного топлива (8).

35. Газотурбинная горелка (4) по п.8, отличающаяся тем, что длина области перед выходом сопла (28), в которой градиент среза лежит выше критического градиента среза для самовоспламенения, составляет, по меньшей мере, 10 см.

40. Газотурбинная горелка (4) по п.2, отличающаяся тем, что устройство подмешивания топлива (18) рассчитано на впрыскивание в отходящий газ (10) газообразного топлива (8) с давлением, которое, по меньшей мере, на 20% выше, предпочтительно, по меньшей мере, на 50% выше, чем среднее давление во вторичной зоне сгорания (6).

45. Газотурбинная горелка (4) по п.8, отличающаяся тем, что впрыскиваемая струя (22) из топливосодержащей топливной смеси предпочтительно газообразного топлива (8) содержит, по меньшей мере, одну внутреннюю струю (30) из топливосодержащего газа и окружающую внутреннюю струю (30) внешнюю струю (32) из охлаждающего газа, причем охлаждающий газ имеет более низкую температуру, чем отходящий газ (10).

50. Газотурбинная горелка (4) по п.11, отличающаяся тем, что температура охлаждающего газа лежит между 200 и 600°C.

55. Газотурбинная горелка (4) по п.11 или 12, отличающаяся тем, что скорость внешней струи (32) из охлаждающего газа равна скорости внутренней струи (30).

60. Газотурбинная горелка (4) по п.11 или 12, отличающаяся тем, что скорость внешней струи (32) из охлаждающего газа является больше, чем скорость внутренней струи (30).

15. Газотурбинная горелка (4) по п.11, отличающаяся тем, что охлаждающий газ содержит топливо.

16. Газотурбинная горелка (4) по п.11, отличающаяся тем, что охлаждающий газ состоит, по меньшей мере, в основном из инертного вещества и/или воздуха.

<sup>5</sup> 17. Газотурбинная горелка (4) по п.2, отличающаяся тем, что температура отходящего газа (8) в зоне сгорания (6) лежит между 900 и 1600°C.

18. Способ эксплуатации газотурбинной горелки (4) с зоной сгорания (6), в которой сжигают смесь из отходящего газа (10) с добавкой газообразного топлива (8), причем газообразное топливо (8) впрыскивают топливным соплом (20, 34, 48) в отходящий газ (10), причем газообразное топливо (8) впрыскивают в отходящий газ (10) с, по меньшей мере, 0,2-кратной скоростью звука, отличающейся тем, что впрыскиваемая струя (22) из газообразного топлива (8) содержит, по меньшей мере, одну внутреннюю струю (30) из топливосодержащего газа и окружающую внутреннюю струю (30) <sup>10</sup> внешнюю струю (32) из охлаждающего газа, причем охлаждающий газ имеет меньшую температуру, чем отходящий газ (10).

<sup>15</sup> 20

25

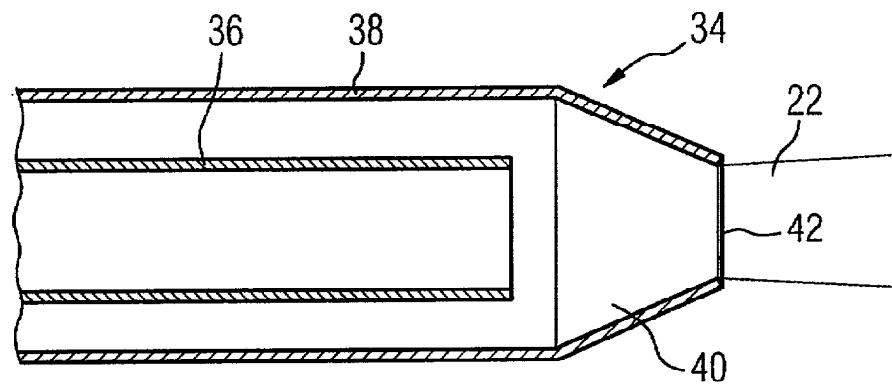
30

35

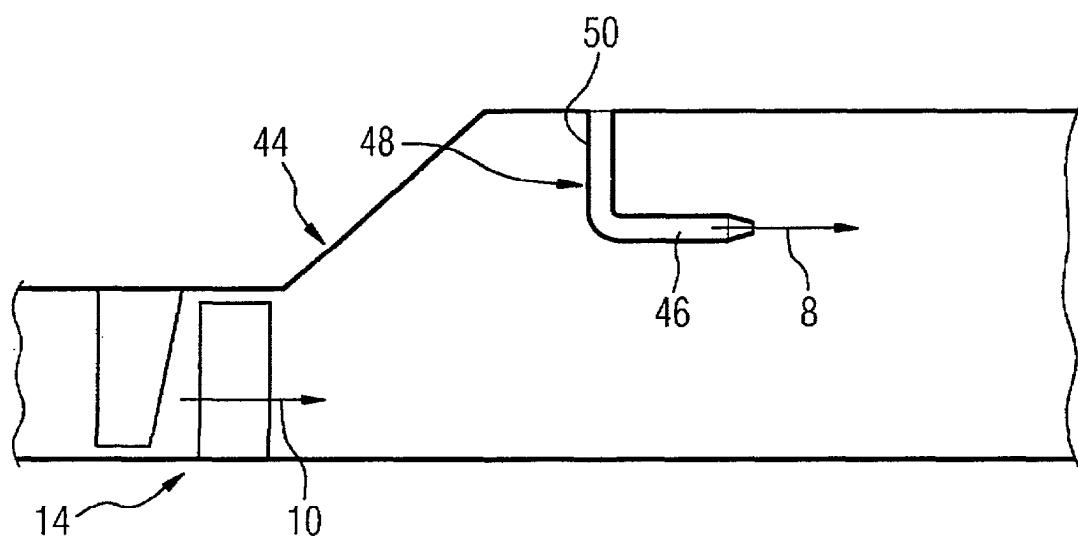
40

45

50



Фиг.2



Фиг.3