

УДК: 536.46; 662.983

НИЗКОЭМИССИОННЫЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТУ НА ОСНОВЕ ПРОНИЦАЕМЫХ ОБЪЕМНЫХ МАТРИЦ

А.Н. Рахметов, В.М. Шмелев, В.С. Арутюнов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук, 119991, Москва, Косыгина, 4

Аннотация

Одним из главных требований, предъявляемых к современным газотурбинным установкам, широко используемым в системах рассредоточенного энергоснабжения и резервирования мощности, является снижение эмиссии вредных веществ, прежде всего NOx и CO. Традиционные типы камер сгорания газотурбинных установок основаны на турбулентном факельном горении топлива и требуют сложных конструктивных решений для одновременного снижения эмиссии NOx и CO. В работе предложен принципиально новый тип камер сгорания для газотурбинных установок, изначально ориентированных на низкую эмиссию указанных поллютантов. Разработанные малоэмиссионные горелочные устройства основаны на поверхностном ламинарном горении топливовоздушных смесей в проницаемых для газа объемных матрицах. Благодаря интенсивной рекуперации тепла продуктов сгорания к поверхности матрицы и далее к входящей топливовоздушной смеси, последняя поступает во фронт пламени уже нагретой до значительной температуры. Благодаря этому и отсутствию радиационных потерь из замкнутой полости матрицы заметно расширяются пределы горения бедных смесей. Использование ультра бедных смесей и интенсивный теплоотвод из фронта пламени в матрицу приводят к низкой температуре горения, порядка 1200 – 1300°C, при которой выход оксидов азота крайне низок. В то же время длительное пребывание горячих продуктов сгорания в полости матрицы обеспечивает высокую конверсию топлива и крайне низкий выход CO и других продуктов неполного сгорания. Это приводит к уникально низкому выходу и NOx и CO в такой камере сгорания. Для получения высокой удельной мощности горелочного устройства предложена концептуальная конструкция камеры сгорания с развитой поверхностью матрицы. Проведенные испытания лабораторного макета показали, что в камерах такой конструкции, особенно при давлениях, превышающих атмосферное, при сохранении энергетических и габаритных характеристик традиционных камер сгорания можно ожидать снижения выброса таких вредных компонентов, как NOx и CO, до уровня менее 10 ppm. При этом одновременно упрощается конструкция камеры сгорания, повышается ее ресурс и стабильность процесса горения.

Ключевые слова: камера сгорания, ГТУ, эмиссия вредных веществ, пределы горения, поверхностное горение, объемные матрицы

Номенклатура:

ГТУ – газотурбинная установка;

ГТД – газотурбинный двигатель;

КС – камера сгорания;

ПАУ – полиароматические углеводороды;

α – коэффициент избытка окислителя (для метана $\alpha = [\text{O}_2]/2[\text{CH}_4]$);

W – удельная тепловая нагрузка на поверхность матрицы.

Введение

Газотурбинные двигатели (ГТД) и стационарные газотурбинные установки (ГТУ)

благодаря своей компактности, высокой удельной мощности, энергоэффективности, экономичности и маневренности стали одним из основных типов энергоприводов для авиации, наземного транспорта и энергетики. В течение десятилетий повышение именно этих качеств было движущей силой прогресса в разработке газовых турбин. Однако по мере нарастания экологических проблем и связанного с этим ужесточения норм экологического регулирования все острее становилась необходимость кардинального улучшения эмиссионных характеристик ГТУ. Предлагавшиеся до сих пор решения проблемы создания малоэмиссионных газовых турбин основывались на различных модификациях процесса горения в камерах сгорания ГТУ, не затрагивающих основные принципы факельного сжигания топлива.

Один из наиболее эффективных способов снижения концентрации таких экологически проблемных продуктов сгорания, как оксиды азота - организация низкотемпературного «беспламенного» горения на поверхности проницаемой матрицы (радиационного горелочного устройства). Фронт пламени при этом стабилизируется вблизи поверхности матрицы. Благодаря интенсивному конвекционному и радиационному теплообмену фронта пламени с поверхностью матрицы горение происходит при значительно более низкой температуре, чем при факельном сжигании, что резко снижает образование NOx. При этом поверхность матрицы разогревается почти до 1000°C и становится интенсивным источником ИК излучения, которое может использоваться для различных технологических целей.

Среди главных преимуществ такого метода сжигания газо-воздушных смесей - снижение в десятки раз выбросов оксидов азота и возможность организации мощных радиационных потоков, применяемых для различных технологических целей. Теоретические и экспериментальные исследования процесса горения газовых смесей в ИК горелочных устройствах с плоской проницаемой матрицей представлены в многочисленных публикациях, например [1-4]. Однако горение на плоской матрице имеет и существенные недостатки: низкая удельная интенсивность выделения энергии (мощность на единицу поверхности), которая, как правило, не превосходит 20 - 30 Вт/см², наличие в продуктах сгорания заметной концентрации монооксида углерода - продукта неполного окисления углеводородного топлива, ограниченный диапазон регулирования мощности горения.

Для того чтобы расширить пределы горения и получить возможность использовать бедные топливовоздушные смеси, в [5,6] нами было предложено перейти от плоских матриц к проницаемым матрицам с геометрически замкнутой полостью (объемным матрицам). Достижимое этим расширение пределов горения обеспечивает возможность устойчивого горения очень бедных смесей с низкой эмиссией NOx. При этом достаточно большое время пребывания продуктов сгорания в полости объемной матрицы обеспечивает полноту сгорания топлива и, соответственно, низкий уровень эмиссии CO, ПАУ и других продуктов неполного сгорания топлива.

В [6] была разработана теоретическая модель для оценки температуры поверхности и расчета пределов горения бедных смесей в объемных матричных горелках. Полученные теоретические оценки хорошо согласуются с экспериментальными результатами.

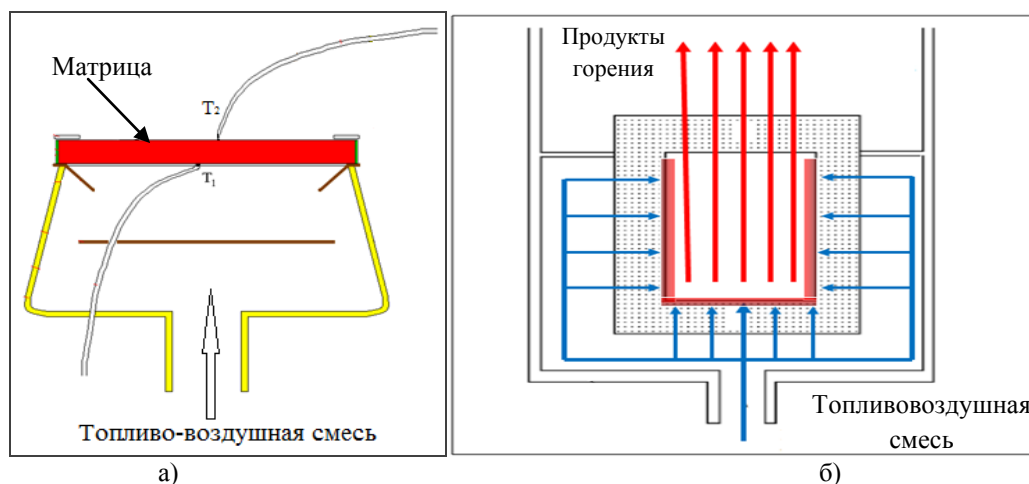
В данной работе представлен принципиально новый тип камеры сгорания (КС) для ГТУ, процесс горения в которой изначально ориентирован на достижение минимального уровня выброса вредных веществ. В качестве прототипа для организации процесса горения в новом типе камеры сгорания ГТУ приняты разработанные ранее низкоэмиссионные горелочные устройства на основе проницаемых объемных матриц [5,6], которые сочетают отличные эмиссионные характеристики с высокой эффективностью конверсии различных типов топлива и высокой плотностью потока энергии с единицы поверхности матрицы.

Эксперимент

Принцип работы горелочных устройств с плоской и объемной матрицами представлен на рис. 1.

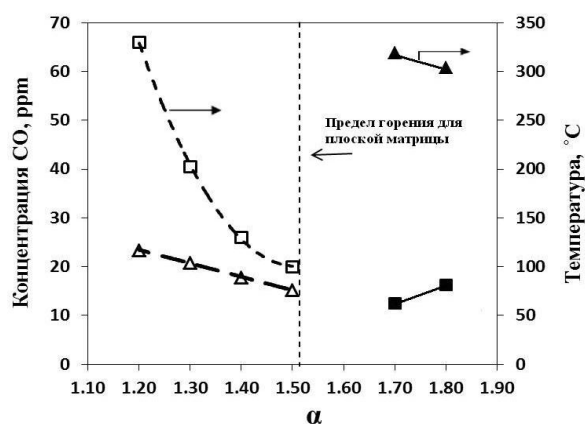
В отличие от плоской матричной горелки (рис. 1а), в которой топливовоздушная смесь горит над ее поверхностью, а нагретая поверхность является мощным источником ИК излучения, в объемной матрице (рис. 1б) горение происходит внутри замкнутой полости, образованной стенками матрицы. После смесителя гомогенная топливовоздушная смесь заданного состава подается внутрь матрицы через ее проницаемые стенки и дно и горит вблизи их поверхности. Продукты сгорания выходят из полости матрицы через проницаемую для газа верхнюю крышку.

Из-за интенсивной конвективной и радиационной рекуперации тепла продуктов сгорания в стенки матрицы и далее к свежей топливовоздушной смеси последняя поступает во фронт пламени уже нагретой до 400-600°C. Кроме того, при горении в замкнутой полости матрицы ИК излучение не выходит из полости матрицы, т.е. практически отсутствуют радиационные потери, которые в плоской матрице уносят до 30% первоначальной химической энергии топлива. Благодаря частичной рекуперации тепла продуктов сгорания и отсутствию потерь на излучение пределы горения в таком горелочном устройстве заметно расширяются (рис. 2).



а) с плоской матрицей; б) с объемной матрицей.
 T_1 и T_2 – термопары

Рис. 1 – Горелочное устройство



Пунктирные линии и полые символы – плоская матрица; сплошные линии и заполненные символы – объемная матрица

Рис. 2 – Зависимость температуры обратной поверхности матрицы T (Δ , $\blacktriangle$) и концентрации CO ($\square$, $\blacksquare$) в продуктах горения от коэффициента избытка окислителя α

Экспериментальные исследования процесса горения проводили в объемных горелочных устройствах различной формы и размера. Для изготовления матриц использовали различные материалы: перфорированную керамику, металлический войлок, сетки из тугоплавких металлов, пенометаллические материалы из тугоплавких сплавов. По конструкционным и теплофизическим свойствам в качестве наиболее подходящего материала был выбран пенохромаль, с использованием которого было получено большинство описанных ниже результатов. Полость матриц различной формы изготавливали из пластинок

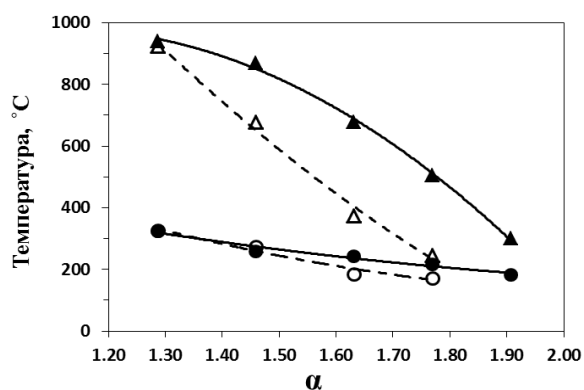
пенохромаль состава: Cr-18.0%; Al-6.5%; Co-1.5%; остальное – Fe. Толщина пластин – 8 мм, средний диаметр ячеек $d_{cp}=1.22\pm0.20$ мм или 34 поры на линейный дюйм. Большинство описанных ниже результатов было получено с использованием объемной матрицы с полостью в виде прямоугольной шестигранной призмы из пластинок пенохромаль толщиной 8 мм с общей площадью внутренней поверхности 192 см². Метан и воздух подавали в смеситель через калиброванные регуляторы расхода фирмы Bronkhorst. Термопарами типа К измеряли температуру рабочей и обратной поверхности матрицы. Концентрации NO_x, CO, CO₂ и остаточную концентрацию O₂ в продуктах сгорания измеряли калиброванным газоанализатором Optima-7. Замеры производили в стабильном режиме работы горелочного устройства, т.е. когда температура поверхности матрицы оставалась неизменной ($\pm 2^\circ\text{C}$) в течение не менее 10 минут.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты демонстрируют существенное расширение предела горения бедных смесей при переходе от плоской матрицы к горелочному устройству на основе объемной матрицы. Это происходит в основном за счет значительного увеличения температуры внутренней (рабочей) поверхности объемной матрицы по сравнению с температурой поверхности плоской матрицы. При этом при коэффициенте избытка окислителя $\alpha=1.7$ концентрация CO в продуктах горения не пре-

вышла 15 ppm (рис. 2), а концентрация NO_x во всех экспериментах была менее 5 ppm.

Дальнейшее повышение температуры внутренней поверхности матрицы и, соответственно, расширение пределов горения может быть достигнуто за счет введения в полость матрицы параллельно ее внутренней поверхности тонкого отражающего экрана из перфорированного металла или металлической сетки. Нагреваемый за счет конвективного теплообмена с продуктами горения почти до температуры фронта пламени, значительно превышающей температуру поверхности матрицы, экран становится интенсивным вторичным источником ИК излучения, направленного на поверхность матрицы. Это приводит к дополнительному нагреву поверхности матрицы и расширению пределов горения. Приведенные на рис. 3 результаты показывают, что введение отражающего экрана из нержавеющей стали толщиной 0.1 мм заметно повышает температуру поверхности матрицы и расширяет предел устойчивого горения до значения $\alpha = 1,9$.



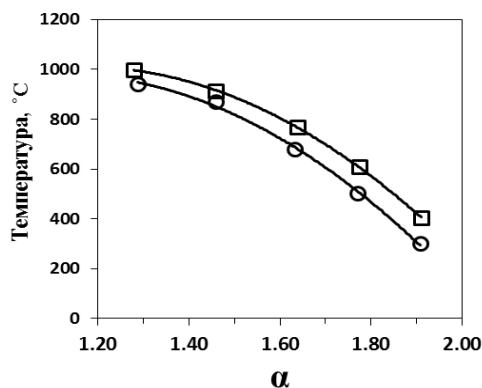
Сплошные линии и заполненные символы – горелочное устройство с использованием отражающего экрана; пунктирные линии и полые символы – горелочное устройство без отражающего экрана.

Удельная тепловая нагрузка 30 Вт/см²

Рис. 3 – Зависимость температуры рабочей поверхности матрицы T_1 (▲, Δ) и температуры обратной поверхности матрицы T_2 (●, ○) от коэффициента избытка окислителя α

Горелочные устройства на основе объемных матриц могут работать в широком диапазоне удельных тепловых нагрузок $W=10-40$ Вт/см². В этом диапазоне пределы горения хотя и не сильно зависят от тепловой нагрузки, но, тем не менее, несколько снижаются с ее повышением. Например, хотя при удельной тепловой нагрузке $W=30$ Вт/см² выделяется больше тепла, чем при $W=20$ Вт/см², измеря-

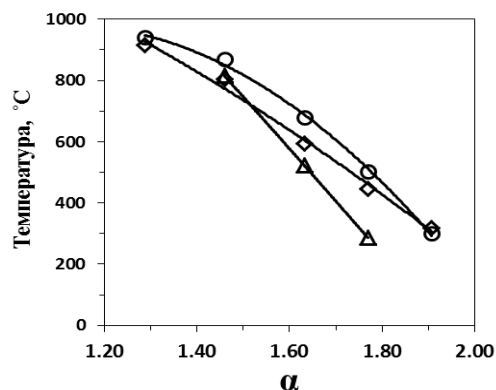
мая температура поверхности матрицы при этом немного ниже (рис. 4). Вероятно, это связано с тем, что с увеличением тепловой нагрузки увеличивается линейная скорость топливоздушной смеси в порах матрицы и, тем самым, скорость ее охлаждения за счет теплоотвода от матрицы к газовому потоку.



$W=20$ Вт/см² (□) и $W=30$ Вт/см² (○)

Рис. 4 – Зависимость температуры рабочей поверхности матрицы от коэффициента избытка окислителя α при удельной тепловой нагрузке

Эксперименты в специальном горелочном устройстве с двумя плоскопараллельными матрицами с изменяемым расстоянием между ними показали, что в закрытой полости процесс горения не очень чувствителен к расстоянию между поверхностями, образующими матрицу (рис. 5). Тем не менее, это расстояние не должно быть меньше расстояния между поверхностью и фронтом пламени, т.е. должно быть не менее 10 мм.



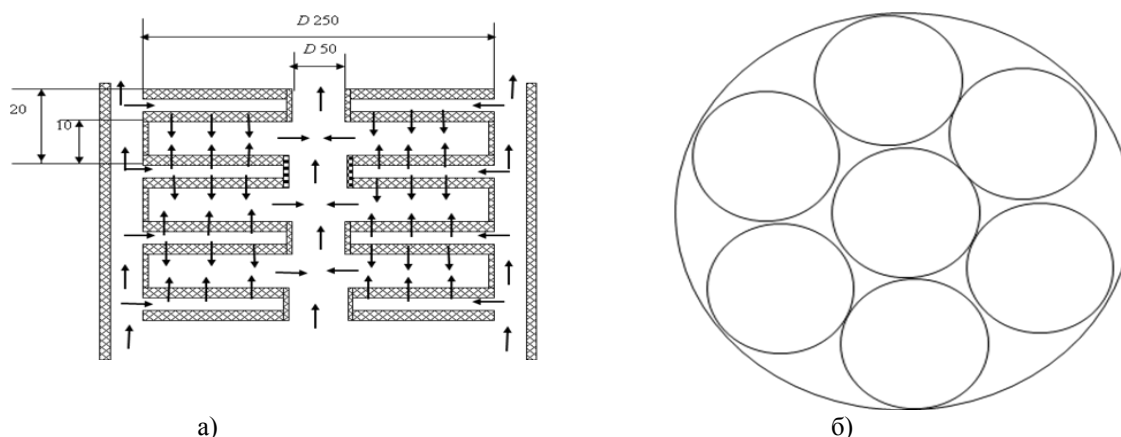
Δ - 10 мм; ○ - 20 мм; ◇ - 30 мм. $W = 27$ Вт/см²

Рис. 5 – Зависимость температуры рабочей поверхности матрицы от коэффициента избытка окислителя α при наличии экрана и различном расстоянии между плоскостями матрицы

При расстоянии между пластинами 20 и 30 мм температура поверхности матрицы практически совпадает, а концентрационный предел горения одинаков (рис. 5). При расстоянии между пористыми пластинками 10 мм уже наблюдается снижение температуры поверхности матрицы и сужение пределов горения. Скорее всего при работе горелочного устройства с величинами $\alpha > 1,5$ фронт пламени становится шире и располагается несколько дальше от поверхности, и при расстоянии между поверхностями матрицы в 10 мм этого пространства оказывается недостаточно для стабильного горения.

Одним из важнейших параметров камер сгорания реальных ГТУ является удельная мощность на единицу объема камеры сгорания. При факельном горении высокая удельная мощность достигается за счет развитой поверхности фронта турбулентного пламени топливовоздушной смеси. При ламинарном горении вблизи поверхности проницаемой матрицы высокая удельная мощность может быть

достигнута за счет развитой внутренней поверхности матрицы. Одна из возможных конструкций, обеспечивающих достаточно большую поверхность горения на единицу объема камеры сгорания, представлена на рис. 6. Единичный модуль представляет собой набор колец из пенометалла (рис. 6а), расположенных параллельно друг другу, с общим подводом топливовоздушной смеси вдоль наружной стенки модуля и общим отводом продуктов сгорания вдоль его оси. При расстоянии между проницаемыми поверхностями ~ 10 мм и шаге ячейки ~ 20 мм такая компоновка позволяет получать достаточно большую поверхность горения и, соответственно, удельную мощность на единицу объема камеры сгорания, а общая тепловая мощность модуля может быть доведена до 500 кВт. Для получения мощности, соответствующей реальной ГТУ, несколько модулей могут быть скомпонованы в единую камеру сгорания, например, так как показано на рис. 6б.

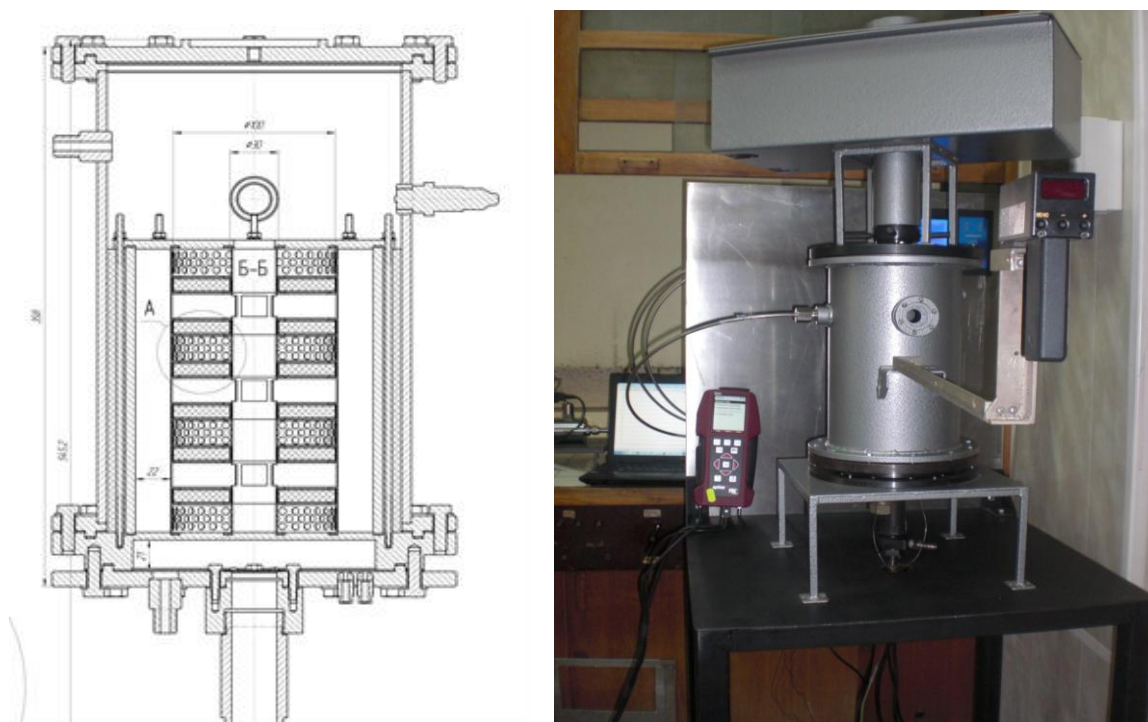


а) схема единичного модуля камеры сгорания;
б) схема компоновки 7 единичных модулей в камере сгорания

Рис. 6 – Концептуальная схема малоэмиссионной камеры сгорания

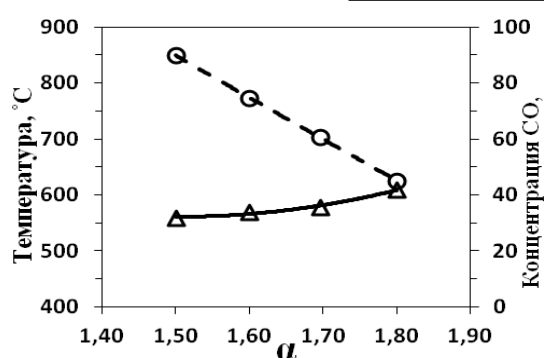
Для проверки работоспособности схемы, представленной на рис. 6, было изготовлено многокамерное горелочное устройство, моделирующее единичный модуль, эскиз которого представлен на рис. 7а, а общий вид – на рис. 7б. Горелочное устройство состоит из расположенных попарно 6 параллельных пенометаллических колец. Расстояние между кольцами 20 мм. Между каждой парой колец помещен отражающий экран из нержавеющей стали толщиной 0,1 мм.

Проведенные испытания такого многокамерного горелочного устройства показали, что при атмосферном давлении в интервале значений коэффициента избытка окислителя $\alpha=1,4-1,8$ концентрация СО в продуктах сгорания не превышает 40 ppm (рис. 8), а концентрация NOx не превышает 3 ppm. Это уникально низкие значения по сравнению с горелочными устройствами обычного типа.



а) эскиз внутреннего устройства; б) общий вид

Рис. 7 – Многокамерное горелочное устройство, изготовленное на основе схемы рис. 6

Рис. 8 – Зависимость температуры рабочей поверхности матрицы (○) и концентрации CO в продуктах сгорания (Δ) от коэффициента избытка окислителя α . $W=20 \text{ Вт/см}^2$

Поскольку современные газотурбинные установки работают при давлениях 10-20 атм и выше, большое значение имело испытание данного типа горелочного устройства при повышенных давлениях.

В соответствии с возможностями данного лабораторного образца, эксперименты были проведены в диапазоне давлений от 1 до 5 атм (рис. 9).

Повышение давления приводит к заметному расширению предела горения вплоть до $\alpha=2,20$, при этом концентрация CO в продуктах

сгорания снижается вплоть до 1 ppm, а концентрация NOx до 2 ppm. Эти уникально низкие показатели на два порядка ниже тех, к которым стремятся производители современных газотурбинных установок. Расширение предела горения с увеличением давления, скорее всего, связано с увеличением плотности газа и, соответственно, тепловыделения на единицу поверхности матрицы.

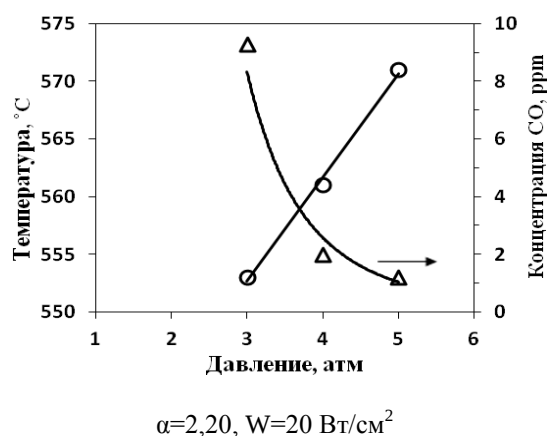


Рис. 9 – Зависимость температуры обратной поверхности матрицы (○) и концентрации CO в продуктах сгорания (Δ) от давления в горелочном устройстве

Таким образом, объемные матричные горелки обладают таким сочетанием свойств, как уникально низкая (1200-1300°C) температура фронта пламени при высокой полноте сгорания даже очень бедных смесей. Можно также прогнозировать, что применение таких горелочных устройств позволит существенно упростить конструкцию камеры сгорания и снизить ее габаритно-весовые характеристики за счет отсутствия протяженной зоны догорания топлива. Ламинарный режим горения в объемной матрице и более низкая максимальная температура в матричной КС обеспечат более высокую стабильность горения и значительно меньший уровень пульсации потоков. Наряду с более низкой температурой продуктов сгорания это позволит снизить требования к конструкционным материалам камеры сгорания и повысит ее рабочий ресурс, а также снизит уровень шума (шумовое загрязнение) при работе ГТУ. Новый тип камеры сгорания позволяет отказаться от таких сложных компонентов традиционных КС как жаровая труба и система ее охлаждения, а также система подачи вторичного воздуха, что не только облегчит и упростит конструкцию, но и еще более повысит ресурс работы КС. Новый тип камер сгорания может также расширить возможности использования в ГТУ дешевых и доступных низкокалорийных альтернативных топлив, например, биогаза.

Разработка реальной камеры сгорания для ГТУ – сложная инженерная задача, которая потребует большого объема дополнительных экспериментальных исследований и доводок. На начальной стадии разработки нового типа КС речь, скорее всего, будет идти о разработке выносной камеры сгорания как отдельного элемента общей схемы наземной ГТУ без рассмотрения вопросов ее сопряжения с остальными элементами ГТУ (компрессором, турбиной и др.). Тем более речь пока не идет о применении данного типа КС в авиационных ГТД. Тем не менее, мы сочли возможным провести сопоставление ожидаемых параметров малоэмиссионной камеры сгорания на основе проницаемых объемных матриц с аналогичными параметрами типовой камеры сгорания ГТУ традиционного типа.

В табл. 1 дано сопоставление основных ожидаемых характеристик матричной камеры сгорания и характеристик камеры сгорания вертолетного ГТД марки ТВ3-117ВМ компании АО «Мотор Сич» номинальной мощностью 1,1 МВт. Этот двигатель стоит в ряду лучших мировых образцов по топливной экономичности и весовым характеристикам (сухая масса 294 кг) и используется в качестве двигателя для вертолетов Ми-14, Ми-17, Ми-8АМТ, Ми-8МТ, Ми-80МТ, Ми-28, Ми-171, Ми-172, Ми-8МТВ, а также в качестве привода наземных ГТЭС мощностью 1 МВт.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики КС ТВ3-117ВМ и концептуальной матричной КС

№	Показатель	КС ГТД ТВ3-117ВМ	Концептуальная матричная КС
1	Мощность, МВт	1,1	1,2
2	Давление в камере сгорания, кг/см ²	9,4	10
3	Температура на выходе из камеры сгорания, °С	990	1250
4	Скорость газа на выходе из камеры сгорания, м/с: При диаметре выходного сечения КС 400 мм При диаметре выходного сечения сборки КС 250 мм	~20,8	19,8
5	Расход газа, м ³ /с (расход керосина – 0,09 кг/с)	~0,15	0,1
6	Расход воздуха, м ³ /с (при сжигании керосина – кг/с)	7,5 (8,7-10 кг/с)	1,7
7	Коэффициент избытка окислителя α , полный	5	2
8	Диаметр камеры сгорания, мм	400	750
9	Длина камеры сгорания, мм	250	250
10	Длина двигателя, мм	2055	-
11	Вес камеры сгорания, кг	15	
12	Удельная объемная тепловая мощность, МВт/м ³	~100 (30)	30-50
13	Выбросы NO _x , мг/м ³ (7,5 г/кг топлива)	100	<10
14	Выбросы CO, мг/м ³ (10,8 г/кг топлива)	144	<10
15	Ресурс, ч	7500	

Хотя такое сопоставление не совсем корректно, т.к. камеры сгорания авиационных ГТД не оптимизированы на достижение высоких экологических показателей, а изменения, вносимые при их конверсии для стационарных наземных ГТУ, трудно выявить, мы считаем данное сопоставление достаточно показательным. Оно подтверждает, что прогнозируемые энергетические параметры матричной КС вполне сопоставимы с параметрами КС традиционного типа. При этом эмиссионные характеристики матричной КС значительно превышают аналогичные характеристики камер сгорания традиционного типа.

Заключение

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования убедительно показывают, что на основе объемных проницаемых матричных горелок могут быть созданы низкоэмиссионные камеры сгорания для ГТУ, практически не уступающие традиционным камерам сгорания по основным энергетическим характеристикам. При этом КС на основе объемных проницаемых матричных горелок обеспечивают уникально низкий уровень выбросов NOx и CO, на уровне всего нескольких ppm.

Основное преимущество матричных КС заключается в замене турбулентного факельного горения топлива его ламинарным горением вблизи внутренней поверхности объемной матрицы. Низкая (1200-1300°C) температура фронта пламени в матричной КС при высокой полноте сгорания даже очень бедных смесей позволяет обеспечить снижение объема вредных выбросов до уровня, недоступного в других известных типах горелочных устройств.

Можно также прогнозировать, что за счет ламинарного режима горения в матрице и более низких максимальных температур матричная КС обеспечит более высокую стабильность горения и, соответственно, значительно меньший уровень пульсации потоков. Это позволит снизить требования к конструкционным материалам камеры сгорания и повысить ее рабочий ресурс, а также снизить уровень шума, создаваемого при работе ГТУ.

Новый тип камеры сгорания позволяет отказаться от таких сложных и ненадежных

компонентов традиционных КС как жаровая труба и система ее охлаждения, а также система подачи вторичного воздуха, что не только облегчит и упростит конструкцию, но и повысит ресурс работы КС. Матричные камеры сгорания также расширяют возможность использования в ГТУ дешевых и доступных низкокалорийных альтернативных топлив.

За счет упрощения конструкции КС и отсутствия протяженной зоны догорания топлива можно ожидать снижения габаритно-весовых характеристик матричных КС по сравнению с типовыми КС ГТУ и приближения их к параметрам КС лучших авиационных ГТД.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Госконтракта № 14.516.11.0046 и Программы фундаментальных научных исследований Президиума РАН №26 «Горение и взрыв».

Литература

1. Брюханов О.Н. Радиационно-конвективный теплообмен при сжигании газа в перфорированных системах. Л.: ЛГУ, 1977. С. 238.
2. Брюханов О.Н., Крейнин Е.В., Мастрюков Б.С. Радиационный газовый нагрев. Л.: Недра, 1989. С. 296.
3. Bouma P.H., Goey L.P.H. Combustion and flame. 1999. V. 119. P. 133.
4. Nemoda S., Trimis D., Zivkovic G. Thermal Science. 2004. V.8. №1. P. 3.
5. Шмелев В.М., Николаев В.М., Арутюнов В.С. Эффективные энергосберегающие горелочные устройства на основе объемных матриц. Газохимия. 2009. №4(8). С.28-34. (Shmelev V.M., Nikolaev V.M., and Arutyunov V.S. Energy-efficient combustors based on volumetric matrixes. Gazokhimiya. 2009. No.4 (8). P.28-34.)
6. Шмелев В.М. Горение природного газа на поверхности матриц из высокопористой металлической пены. Химическая физика. 2010. Т.29. №7. С.1-10. (Shmelev V.M. Combustion of natural gas at the surface of a high-porosity metal matrix. Russian Journal of Physical Chemistry B. 2010. V.4. P.593-601.)

A.N. Rakhmetov, V.M. Shmelev, V.S. Arutyunov
Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences,
Russia, 119991, Moscow, Kosygyna, 4

Abstract

One of the principal demands to modern gas turbine engines, which are widely used in systems of spread power supply and power reservation, is the decrease of emission of detrimental pollutants such as NO_x and CO. Traditional combustion chambers for gas turbine engines are based on turbulent torch combustion of fuel and need complex structural schemes for the simultaneous decreasing of both NO_x and CO emission. In this paper is proposed the principally new type of combustion chamber, primary aimed to obtaining the low emission of mentioned pollutants. Elaborated low emission combustors are based on laminar surface combustion of fuel-air mixtures in permeable for gas volumetric matrixes. Due to the intense recuperation of heat of reaction products to the surface of matrix and then to the fresh fuel-air mixture, the latter enters the flame front already preheated to significant temperature. Owing to this substance and the absence of radiation losses from the closed cavity of matrix, combustion limits of lean mixtures notably widen. The combustion of ultra lean mixtures and intensive heat transfer from flame front to matrix leads to low temperature of combustion, approximately 1200 – 1300°C, at which the yield of NO_x is extremely low. At that, the long time of location of hot combustion products in matrix cavity provide the high conversion of fuel with low yield of CO and other products of incomplete combustion. It lets to obtain in such combustion chambers extremely low yield of both NO_x and CO. To provide the high specific power in combustor it was suggested the conceptual design of combustion chamber with developed matrix surface. Performed tests of laboratory model have shown that such chambers, especially operating at enhanced pressures, provide the decrease of such detrimental pollutants as NO_x and CO to the level below 10 ppm, simultaneously providing energy and size parameters typical for combustion chambers of traditional type. At that significantly simplifies the design of combustion chamber, enhances its resource and stability of combustion.

ТӨМЕН-ЭМИССИЯЛЫҚ ГАЗ ТУРБИНАЛЫ ЖАНУ КАМЕРА НЕГІЗДЕЛГЕН ҚАЙ СУСЫМАЛЫ МАТРИЦА

А.Н. Рахметов, В.М. Шмелев, В.С. Арутюнов

Федералды мемлекеттік бюджетное ғылыми мекеме Н.Н. Семенов атындағы Химиялық физика институты
Ресей ғылым академиясы, 119991, Москва, Косыгин, 4

Аннотация

Энергия сақтау мен қосымша қуатты бытыратып орналастыруда кеңінен қолданылатын қазіргі газтурбинды қондырғыларға қойылатын талаптардың бірі зиянды заттардың эмиссиясын, ең алдымен NO_x и CO з төмендету. Дәстүрлі газ турбинді құрылғыларының жану камераларының турлерінде турбулентті факелды жануға негізделген. Жұмыста газтурбинды қондырғыларға поллютанттардың төменгі эмиссияына негізделген жану камерасының жаңа түрі ұсынылған. Газ көлемді матрицаларға арналған ламинарлы беттік жануға негізделген аз эмиссиялы оттық қондырғылар дамытылды. Матрица бетіндегі жану өнімдерінің интенсивті рекуперация нәтижесінде сонымен қатар радиациялық шығындардың болмау есебінен жарлы қоспалардың жануы жүзеге асырылады. Ультра жарлы қоспаларды қолдану нәтижесінде азот оксидтерінің шығу көлемі аз болатын, төмен температуралы 1200 – 1300°C жануға алып келеді. Осы уақытта ыстық өнімдердің матрицаларға қуыста ұзақ болуы жоғары конверсияны және CO және басқа толық жанбаған өнімдердің аз бөлінуін қамтамасыз етеді. Мұндай жану камерасында NO_x и CO көлемінің бірден-бір аз шығуына алып келеді. Зертханалық зерттеулер макеты осындай құрылымды камераларда, әсіресе атмосфералық қысымнан жоғары қысымда, энергиялық және көлемдік қасиеттерін сақтаған жағдайда NO_x и CO сияқты зиянды шығарылу дәрежесі 10 ppm дәрежесінен төмендеуін күтуге болады. Сонымен қатар жану камерасының құрылымы жайдақталып, жану процессінің тұрақталады.