

УДК 004.65

СОЗДАНИЕ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДЛЯ ГТД ДГ-90

Т. С. ХАРИСОВ¹, Д. В. СКИБА², Д. А. МАКСИМОВ³, Р. С. КАШАПОВ⁴

¹ kharisov_ts@mail.ru

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)
^{2,3,4} ООО «Научно-производственная фирма «Теплофизика»»

Поступила в редакцию 10.05.2021

Аннотация. На базе результатов собственных экспериментальных и теоретических исследований ООО «НПФ «Теплофизика»» разработала технологию организации малоэмиссионного горения в камерах сгорания ГТУ – технологию ПСТ (предварительное смешение топлива), являющуюся аналогом известной зарубежной технологии DLE (Dry Low Emission). Рассматриваются этапы создания малоэмиссионной камеры сгорания ПСТ для газотурбинного двигателя ДГ-90. Целями данной разработки являются унификация конструкции камеры сгорания для семейства двигателей ДГ-90, снижение стоимости ремонта, улучшение экологических и эксплуатационных показателей, повышение надежности запуска, увеличение ресурса жаровых труб.

Ключевые слова: малоэмиссионная камера сгорания; предварительное смешение топлива; виброгорение; оксиды углерода; оксиды азота.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач импортозамещения является создание унифицированной конструкции малоэмиссионной камеры сгорания (МЭКС) для двигателя серии ДГ-90. В ПАО «Газпром» оборотный фонд двигателей серии ДГ-90 производства ГП НПКТ «Зоря» – «Машпроект» составляет 309 единиц (ДГ-90Л2, ДГ-90Л2.1, ДГ-90П, ДГ-90П2), в которых установлены 11 вариантов конструкции камеры сгорания – результат поэтапных изменений, направленных на устранение таких недостатков и неисправностей, как:

- ненадежный розжиг;
- прогар горелочных устройств и жаровых труб;
- высокие уровни выбросов NO_x и CO (рис. 1).

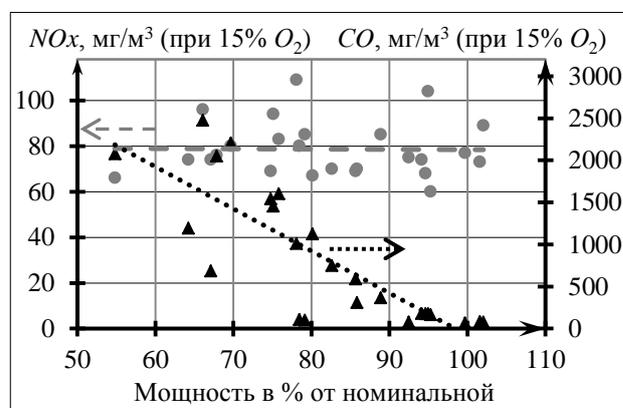


Рис. 1. Эмиссионные характеристики двигателя ДГ-90 со штатной камерой сгорания (двухканальное горелочное устройство)

Результаты изучения причин отказов, дефектов штатной камеры сгорания (КС) двигателя ДГ-90 показали, что для этого двигателя требуется не только совершенная конструкция горелочных устройств, жаро-

вых труб, системы розжига и контроля пламени, но и развитие систем управления процессом горения в зависимости от нагрузки и климатических условий.

В отличие от зарубежных разработчиков МЭКС на основе концепции DLE ООО «НПФ «Теплофизика»» применительно к российским условиям и возможностям использует более простые решения – технологию ПСТ (предварительное смешение топлива), которая в условиях эксплуатации, естественным образом, оказывается и более надежной.

На основании выполненного расчетного анализа, а также используя опыт и наработки, полученные при создании МЭКС MS3002 ПСТ+, была предложена концепция МЭКС для двигателя ДГ-90, включающая следующие элементы:

- одnogорелочная компоновка фронтального устройства;
- двухканальная подача топливного газа;
- применение внешнего конвективного и (или) ударно-конвективного охлаждения жаровой трубы, а также термобарьерного покрытия;
- отсутствие пламяпереносных патрубков, установка запальных устройств в каждой индивидуальной КС;
- управление работой КС по расчетному значению среднemasсовой температуры продуктов сгорания в первичной зоне T_g ;
- применение автономного блока управления работой МЭКС на базе промышленного контроллера.

Выбор одnogорелочной компоновки индивидуальной КС противоречит основным принципам концепции ПСТ и обусловлен жесткими требованиями к габаритным размерам жаровой трубы в связи с необходимостью располагать новую МЭКС в габаритных размерах штатной КС без изменений в конструкции корпусных узлов двигателя ДГ-90.

Применение системы зажигания с запальными устройствами в каждой индивидуальной КС позволяет организовать оптимальное охлаждение жаровой трубы (без применения пленочного охлаждения), но предъявляет повышенные требования к надежности системы зажигания.

Для разработки и доводки новой конструкции КС и новой системы управления процессом горения в рабочий цикл двигателя ДГ-90 потребовалось выполнить большой объем стендовых исследований и опытно-промышленных испытаний в условиях эксплуатации приводных двигателей серии ДГ-90.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

После обработки результатов измерений параметров рабочего цикла и основных характеристик штатной КС двигателя ДГ-90, полученных при испытаниях двигателя в составе ГПА № 64 Пангодынского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск», а также с учетом опытных данных Тюменского моторного завода для трех различных работающих агрегатов ДГ-90 при различных атмосферных условиях была составлена и доработана обобщенная математическая модель двигателя ДГ-90. Данная термогазодинамическая модель позволила восстановить параметры рабочего цикла камеры сгорания для всего диапазона атмосферных условий и мощности, детализировать исходные требования для проектирования новой МЭКС.

В табл. 1 приведены расхождения данных, снятых с работающих газоперекачивающих агрегатов Тюменского моторного завода и значений, полученных с помощью расчета математической модели, соотнесены частоты вращения КНД, КВД, давления за ними и температуры перед СТ.

Таблица 1

Расхождения опытных и расчетных данных математической модели

№ ГТД	N , %	ΔP_{01} , %	ΔP_{02} , %	$\Delta n_{\text{КВД}}$, %	$\Delta n_{\text{КНД}}$, %	ΔT_{04} , %
Д190700 90Л	25	7,1	-1,2	-7,8	1,1	-3,2
	50	7,5	0,5	-5,9	1,5	-3,5
	75	1,7	-1,3	-3,3	0,1	1,2
	100	-1,1	-3,0	-2,4	0,2	2,5
Д190600 59Л	25	6,1	2,5	-7,4	2,4	-1,2
	50	7,5	5,3	-6,6	2,1	-1,8
	75	1,8	2,9	-2,6	0,5	3,7
Д190400 23П1	100	-2,1	1,8	-1,4	1,1	5,5
	25	0,4	-0,7	-5,7	1,0	-6,5
	50	2,7	2,5	-3,4	2,7	-6,5
	75	-4,3	1,3	0,1	1,6	-0,8
	100	-7,8	0,8	1,3	2,3	1,1

Можно утверждать, что характеристики данной математической модели совпадают с опытными данными. Разброс по погрешностям объясняется тем, что модель создана не для конкретно работающего агрегата, а для «семейства» ГТД ДГ-90 в целом.

Математическая модель состоит из элементов, имитирующих узлы ГТД, соединительных связей, модели автоматического управления и подпрограммы расчета состава продуктов сгорания. Стоит отметить, что она не позволяет точно определить характеристики конкретно отдельно взятого двигателя ДГ-90, а лишь необходима для понимания поведения двигателей типа ДГ-90 на различных режимах работы.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ МЭКС ПСТ ДГ-90

Разработка МЭКС ПСТ ДГ-90 проводилась на стенде ООО «НПФ «Теплофизика»» и ФГБОУ ВО «УГАТУ». Стенд состоит из 11 следующих основных элементов, устройств и систем:

- экспериментальная (модельная) КС;
- теплообменный аппарат;
- топливная система;
- система охлаждения;
- воздушная система;
- система зажигания;
- контрольно-измерительная аппаратура;

– система автоматического управления (САУ) стендом.

Данный стенд спроектирован и доработан для экспериментальных исследований процесса горения применительно к условиям работы КС двигателя ДГ-90, а также для испытаний полномасштабных моделей и опытных образцов камеры сгорания ПСТ ДГ-90.

Горелочное устройство (ГУ) – наиболее сложный и ответственный элемент малоэмиссионной камеры сгорания, в наибольшей степени определяющий ее экологические и эксплуатационные характеристики.

Были проведены многочисленные компьютерные расчеты и моделирования для подбора в ГУ оптимальных диаметров центрального и наружного контуров подачи топливовоздушной смеси для получения минимальных выбросов СО.

Проводились исследования шести принципиально отличающихся типов ГУ, фотографии которых приведены на рис. 2. Каждый тип ГУ проходил испытания в нескольких исполнениях, и, таким образом, общее количество вариантов ГУ составило 30 единиц.

В случае необходимости конструкция ГУ подвергалась доработкам и повторным испытаниям, либо отвергалась при невозможности обеспечения требуемых характеристик.



Рис. 2. Фотографии исследованных ГУ для ПСТ ДГ-90

Неудовлетворительные результаты испытаний первых пяти вариантов ГУ обусловили также необходимость пересмотра конструктивного облика горелочного устройства в части организации подачи топлива в диффузионный контур. С целью предотвращения возможности самовоспламенения смеси в диффузионном контуре взаимное расположение по потоку отверстий подачи топлива основного и диффузионного контура было изменено. Особенностью этой конструкции является неприменяемое ранее другими разработчиками расположение отверстий подачи топлива в диффузионный контур выше по потоку относительно отверстий основного контура через длинные сопла, направленные от периферии к центральной втулке горелочного устройства. При такой конструкции полностью отключенный контур заполняется воздухом, а оптимальное для каждого режима работы двигателя поле концентраций обеспечивается за счет изменения относительных расходов между контурами.

Габаритный размер шестого варианта ГУ в осевом направлении уменьшен до уровня, допускающего применение смесителя штатной конструкции за счет применения тангенциального входного устройства с цилиндрическим хонейкомбом и плавным поворотом воздушного потока на 90° . После поворота располагается аксиальный завихритель.

Данная конструкция ГУ, приведенная на рис. 3, удовлетворяла требованиям технического задания, обеспечивая необходимые уровни эмиссии и имела наименьшие амплитуды пульсаций давления.

При проведении испытаний перспективных конструктивных схем ГУ изначально для снижения амплитуды пульсаций давления применялся кольцевой резонатор Гельмгольца, рассчитанный на частоту 600 Гц, встроенный во фронтное устройство жаровой трубы и позволивший обеспечить для окончательного варианта ГУ приемлемый уровень амплитуды пульсаций давления на основных режимах (при расходе топлива через диффузионный контур $G_{ТД} = 0\%$). Однако, в интервале относительно низких значений $G_{ТД} < 6\%$ наблюдались достаточно высокие уровни амплитуды пульсаций дав-

ления с более низкой частотой 200...300 Гц. Задача снижения амплитуды пульсаций давления с двумя различными частотами была решена путем применения принципиально новой конструктивной схемы двухчастотного резонатора Гельмгольца с поглощением колебательной энергии на двух частотах. Результаты данной разработки представлены на рис. 4.



Рис. 3. Компьютерная 3D-модель ГУ

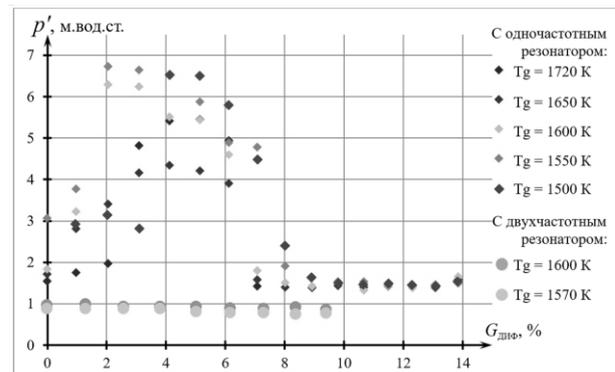


Рис. 4. Амплитуды колебаний в КС в зависимости от доли расхода диффузионного топлива и среднемаховой температуры пламени в первичной зоне МЭКС ПСТ ДГ-90

Конструктивный облик жаровой трубы определяется двумя основными требованиями, установленными в техническом задании:

- ресурс не менее 18 000 часов;
- эмиссия CO не более 50 мг/м^3 на режиме номинальной мощности и не более 300 мг/м^3 на режимах пониженной мощности.

Нетрудно заметить, что эти требования взаимно противоречивы: для снижения эмиссии СО температура внутренней поверхности жаровой трубы должна быть максимально высокой, недопустимо подмешивание воздуха к продуктам сгорания в пристенной области, в то же время лучшие жаростойкие никелевые сплавы сохраняют работоспособность до температур не выше 800–900 °С.

Оптимизация конструкции жаровой трубы проводилась с использованием расчетно-экспериментальных методов. Конструктивная схема жаровой трубы приведена на рис. 5. Она включает: узел для установки горелочного устройства 1, силовой корпус 2, теплозащитный экран 3. Теплозащитный экран состоит из: фронтальной доски 4, цилиндрического участка 5, одного из видов элементов жесткости 6 и может иметь термобарьерное покрытие 7.

Исследовалось пять вариантов конструктивного исполнения жаровой трубы, отличающихся конструкцией системы охлаждения фронтальной доски и цилиндрической части экрана, расходом охлаждающего воздуха и геометрией узла жесткости.

Целью оптимизации конструкции жаровой трубы являлся подбор конструктивных характеристик системы охлаждения, обеспечивающих максимальную температуру металла экрана не более 800 °С в натуральных условиях при выполнении требований по эмиссии СО.

В окончательном варианте применено ударно-конвективное охлаждение цилиндрической части экрана, расход охлаждающего воздуха составляет 13 %, выштамповка (зига) является элементом жесткости. Эти характеристики позволяют выполнить одновременно требования по эмиссии СО и максимальной температуре экрана.

Также разработана система распределения топлива по контурам (основной и пусковой) ГУ для распределения расхода топлива между двумя контурами в зависимости от режима работы двигателя и температуры пламени.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПСТ ДГ-90

Особенности выбранной концепции МЭКС ПСТ ДГ-90 (наличие запального устройства в каждой индивидуальной КС, отсутствие пламяперекидных патрубков) обуславливают повышенные требования к надежности системы зажигания.

Конструктивные ограничения и условия эксплуатации определяют жесткие требования к конструкции свечи зажигания:

- наружный диаметр рабочего торца не более 10 мм;
- большая длина консольной части (расстояние от узла крепления до рабочего торца) порядка 130 мм;
- температура рабочего торца до 900 °С;
- герметичность узла герметизации при давлении до 25 кг/см² и температуре до 300 °С.

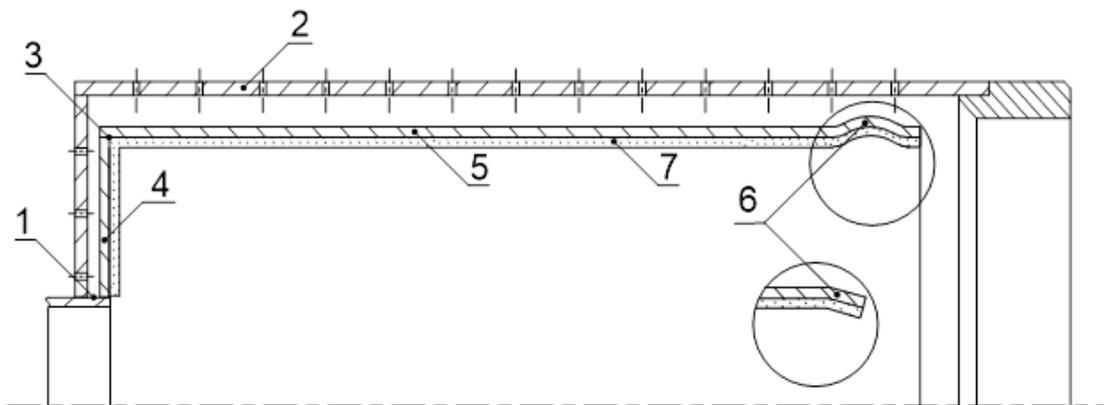


Рис. 5. Конструктивная схема жаровой трубы:

- 1 – узел для установки горелочного устройства; 2 – силовой корпус; 3 – теплозащитный экран; 4 – фронтальная доска экрана; 5 – цилиндрический участок экрана; 6 – элементы жесткости; 7 – термобарьерное покрытие

Системы зажигания со свечами поверхностного разряда широко применяются в газотурбинной технике. Однако ни одна из серийно выпускаемых в РФ свечей не соответствует требованиям по условиям эксплуатации и конструктивным ограничениям ДГ-90. Поэтому применительно к условиям данной камеры сгорания свеча разрабатывалась заново.

Система зажигания для камеры сгорания ПСТ ДГ-90 должна состоять из шестнадцати каналов, каждый из которых включает электрический источник питания высокого напряжения, высоковольтный кабель и запальную свечу, установленную непосредственно в горелочное устройство.

Работы по созданию системы зажигания включали следующие этапы:

- выбор принципиальной схемы;
- разработка и оптимизация конструкции свечи зажигания по результатам стендовых испытаний;
- уточнение (по результатам стендовых испытаний) требований к конструкции источника питания и высоковольтного кабеля, изготовление и испытания макетов источника питания;
- изготовление и комплектация опытного образца системы зажигания.

Исходя из собственного опыта ООО «НПФ «Теплофизика» и анализа доступных литературных источников, были выделены два перспективных направления разработки системы зажигания, которые были успешно реализованы: на базе свечи поверхностного разряда и на базе свечи накаливания.

Необходимо отметить, что работу системы зажигания нельзя рассматривать изолированно от конструкции горелочного устройства. Надежное воспламенение возможно при соблюдении ряда условий (наличие горючеспособной топливовоздушной смеси у рабочего торца свечи в широком диапазоне режимных параметров, оптимальный уровень массообмена у рабочего торца и т.д.). Эти условия напрямую зависят от конструктивных параметров горелочного устройства. С целью их оптимизации производились проектно-конструкторские работы, математические расчеты и испытания для выбора и доводки конфигурации систе-

мы основного и диффузионного топливных контуров, а также способа подачи топлива в газовоздушный поток горелочного устройства.

Системы зажигания на базе свечей накаливания не нашли применение в турбостроении на сегодняшний день, несмотря на то, что есть патент US3138924 от 30 июня 1960 г. Основной проблемой является охлаждение нагревательного элемента свечи до температур, при которых воспламенение невозможно, в связи с наличием высокоскоростного потока топливовоздушной смеси, а разрабатываемая для данного горелочного устройства форкамерная система розжига позволяет решить ее.

Для воспламенения топливовоздушной смеси необходим подвод энергии извне либо ко всей массе свежего заряда, либо к небольшой ее части за счет местного разогрева до высокой температуры. Этой энергии должно быть достаточно, чтобы в некотором объеме горючей смеси обеспечить за счет химических реакций превышение скорости тепловыделения над скоростью теплоотвода в окружающую более холодную горючую смесь.

При вынужденном воспламенении или зажигании с помощью источника зажигания в небольшой области горючей газовой смеси создаются условия для протекания быстрой химической реакции окисления, которая приводит к возникновению горения. Горение, первоначально возникнув вблизи источника зажигания, в дальнейшем распространяется на всю горючую смесь.

Принципиально, по своей физической сущности, зажигание (или вынужденное воспламенение) не отличается от процесса самовоспламенения, так как в обоих случаях самоускорение реакции взаимодействия горючего и окислителя наступает после превышения температуры смеси определенного значения. В случае зажигания вся масса реакционноспособной горючей смеси может оставаться относительно холодной, а до температуры воспламенения достаточно быстро нагревается только незначительная ее часть около нагревательного элемента свечи накаливания. К тому же при зажигании процесс воспламенения происходит значительно быстрее, так как разогрев сме-

си от внешнего источника тепла производится локально, но значительно быстрее и до более высокой температуры. Поэтому индукционный период зажигания почти отсутствует или очень мал, а возникшее пламя распространяется из зоны его возникновения на всю остальную реакционноспособную смесь достаточно быстро.

Свеча накаливания представляет собой нагреватель и преобразует электрическую энергию в тепло, разогреваясь на рабочем участке до достаточно высоких температур. Свечи накаливания подразделяются на свечи с металлическим стержнем (с одной или с двумя спиралями) и керамические свечи. Эти два типа свечей имеют разные температурные характеристики.

В связи с большими расходами воздуха и топлива в горелочном устройстве ПСТ ДГ-90 для применения в системе зажигания рассматривались только более высокотемпературные и надежные керамические свечи накаливания, выполненные по технологии ННТС – New High Temperature Ceramic. Они достигают температуры 1000 °С менее чем за три секунды и могут поддерживать остаточный накал более десяти минут.

После проведения испытаний 12 различных вариаций с определенными особенностями ГУ и свечи накаливания для ограничения конвективного массопереноса вокруг нагревательного элемента свечи был наварен наконечник в виде полого цилиндра с отверстиями. Фотография данной свечи представлена на рис. 6.



Рис. 6. Окончательный вариант свечи накаливания

Таким образом, впервые в РФ была разработана и запатентована (RU 2697121) принципиально иная система зажигания для газотурбинного двигателя на базе свечи накаливания для розжига камер сгорания газотурбинных двигателей наземного применения. Экспериментальная оценка эффективности работы системы зажигания была осуществлена в стендовых условиях, а затем подтверждена в условиях эксплуатации двигателя ДГ-90 (рис. 7).

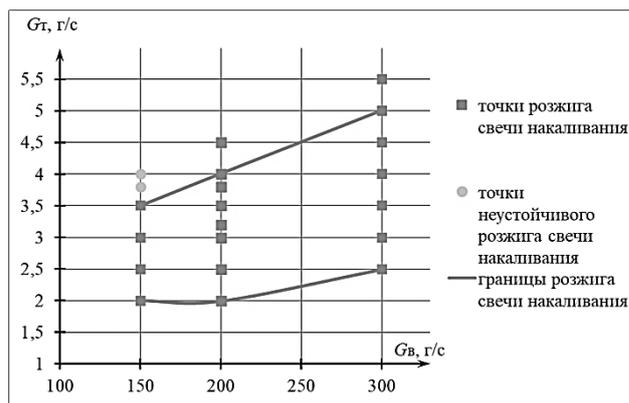


Рис. 7. Границы розжига системы зажигания ПСТ ДГ-90 со свечой накаливания в зависимости от расходов воздуха и топлива

РАЗРАБОТКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ ПСТ ДГ-90

Возможности штатной САУ двигателя ДГ-90 не позволяют организовать управление работой МЭКС ПСТ ДГ-90 с необходимым качеством и надежностью, поскольку отсутствуют устройства регистрации и обработки быстропеременных процессов (пульсации давления), не предусмотрена возможность управления дополнительными устройствами для перераспределения расхода топливного газа. Для выполнения этих функций применен специальный автономный блок управления камерой сгорания БУКС.

БУКС обеспечивает выполнение следующих задач:

- управление исполнительными механизмами кранов распределения топлива;
- обеспечение связи со штатной САУ ГПА по аналоговым и дискретным входам/выходам для передачи сигналов и команд управления как от БУКС к штатной САУ ГПА, так и от САУ ГПА к БУКС;
- контроль работоспособности вспомогательного оборудования и внутренних узлов и элементов БУКС, а также передача сигналов о готовности и исправности камеры сгорания и БУКС в САУ ГПА и на пульт оператора;
- анализ уровня амплитуды пульсаций давления в камере сгорания. В случае превышения предельно допустимого уровня амплитуды колебаний на пульт оператора должно передаваться информационное сообщение.

Помимо всего, корректная работа МЭКС ПСТ ДГ-90 невозможна без вспомогательного оборудования, выполняющего такие функции, как:

- измерение температуры воздуха на входе в камеру сгорания;
- измерение давления в камере сгорания;
- регистрация пульсаций давления в индивидуальной КС;
- измерение температуры газов за турбиной низкого давления.

Диагностика работоспособности МЭКС и ее вспомогательного оборудования производится постоянно при включенном питании по специальному алгоритму контроллером БУКС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выполнение комплекса исследовательских и проектно-конструкторских работ допускает возможность создания работоспособной во всем климатическом диапазоне малоэмиссионной камеры сгорания и позволило решить основную задачу по разработке конструкции, системы управления и розжига МЭКС ПСТ ДГ-90. Стендовые испытания опытных образцов индивидуальных камер сгорания ПСТ ДГ-90 показали, что эксплуатационные (надежность розжига, устойчивость по срыву пламени, полнота сгорания) и эмиссионные (выбросы NO_x , CO и пульсации давления) параметры соответствуют не только требованиям технического задания на данное изделие, но и современным мировым стандартам (рис. 8).

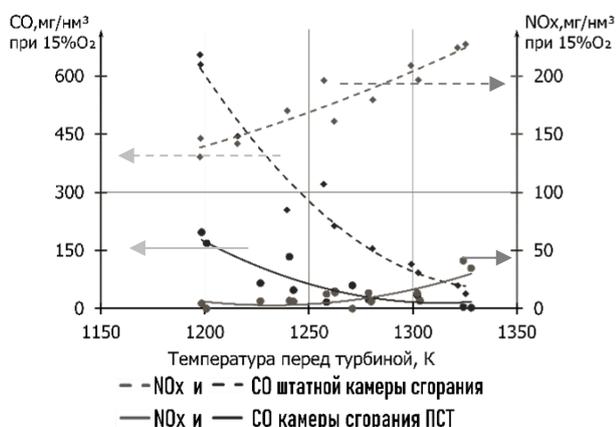


Рис. 8. Эмиссионные характеристики МЭКС ПСТ ДГ-90

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тухбатуллин Ф. Г., Кашапов Р. С.** Малотоксичные горелочные устройства газотурбинных установок. М.: ОАО НЕДРА, 1997. 153 с. [F. G. Tukhbatullin, R. S. Kashapov, Low-toxic burner devices of gas turbine plants, (in Russian). Moscow: ОАО NEDRA, 1997.]
2. **Инженерный проект:** Система автоматического управления и регулирования ГПА-Ц-16С Алгостар 05.03. Проект для ООО «Тюментрансгаз» КС «Пангоды» КЦ-6 // Инженерная документация. В 2 т. CCC № 11529. 2004. Т. 1. 520 с. [*Engineering project: Automatic control and regulation system GPA-Ts-16S Algostar 05.03. Project for LLC "Tyumentransgaz" CS "Pangody" KC-6*, (in Russian), Engineering documentation in 2 vol. CCC no. 11529. Vol. 1, 2004.]
3. **Lefebvre A. H., Ballal D. R.** Gas Turbine Combustion: Alternative Fuels and Emissions, Third Edition. Boca Raton: CRC Press, 2010. 558 p. [A. H. Lefebvre, D. R. Ballal, *Gas Turbine Combustion: Alternative Fuels and Emissions, Third Edition*. Boca Raton: CRC Press, 2010.]
4. **Culick F., Heitor M., Whitelaw J.** Unsteady Combustion. Nato Science Series E. Springer Netherlands, 2012. 562 p. [F. Culick, M. Heitor, J. Whitelaw, *Unsteady Combustion. Nato Science Series E*. Springer Netherlands, 2012.]
5. **Tijdeman H.** On the propagation of sound waves in cylindrical tubes // Journal of Sound and Vibration. 1975. Vol. 39, Iss. 1. Pp. 1-33. [H. Tijdeman, "On the propagation of sound waves in cylindrical tubes", in *Journal of Sound and Vibration*, vol. 39, Iss. 1, pp. 1-33, 1975.]

ОБ АВТОРАХ

ХАРИСОВ Тимур Салаватович, асп. 4го курса УГАТУ. Вед. инж. по техническому развитию ООО «НПФ «Теплофизика»».

СКИБА Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук. Зам. науч. руководителя ООО «НПФ «Теплофизика»».

МАКСИМОВ Дмитрий Александрович, канд. техн. наук. Первый зам. директора ООО «НПФ «Теплофизика»».

КАШАПОВ Рафаэль Салихьянович, канд. техн. наук. Директор ООО «НПФ «Теплофизика»».

METADATA

Title: Creation low-emission combustion chamber for GTE DG-90.

Authors: T. S. Kharisov¹, D. V. Skiba², D. A. Maximov³, R. S. Kashapov⁴

Affiliation:

¹ Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

^{2,3,4} LLC "Scientific-Production Company "Teplofizika"", Russia.

Email: ¹kharisov_ts@mail.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 25, no. 2 (92), pp. 62-70, 2021. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Based on the results of its own experimental and theoretical research, LLC "Teplofizika" has developed a technology for organizing low-emission combustion in GTE combustion chambers – the PST technology (premixing of fuel), which is an analogue of the well-known foreign technology DLE (Dry Low Emission). The stages

of creating a low-emission combustion chamber with preliminary mixing of fuel and air for the DG-90 gas turbine engine are considered. The goals of this development are the unification of the combustion chamber design for the DG-90 family engines, reduction of repair costs, improvement of environmental and operational indicators, increase in launch reliability, and increase in the service life of flame tubes.

Key words: low emission combustion chamber; fuel pre-mix; vibroinflation; carbon oxides; nitrogen oxides.

About authors:

KHARISOV, Timur Salavatovich, postgraduate 4th year student, USATU. Leading Technical Development Engineer in LLC "Scientific-Production Company "Теплофизика".

SKIBA, Dmitry Vladimirovich, Cand. of Tech. Sci. Deputy Director for Science in LLC "Scientific-Production Company "Теплофизика".

MAKSIMOV, Dmitry Aleksandrovich, Cand. of Tech. Sci. First Deputy Director in LLC "Scientific-Production Company "Теплофизика".

KASHAPOV, Rafael Salihzyanovich, Cand. of Tech. Sci. Director LLC "Scientific-Production Company "Теплофизика".