

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФОРСУНОК МНОГОФОРСУНЧАТОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОРПУСОВ ФОРСУНОК

Речкалов Г.Е., Ревков В.Д., Рассказчиков Д.С., Кондратьев В.С.
ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, re4kalovg@yandex.ru

Ключевые слова: камера сгорания, центробежная форсунка, пневмомеханическая форсунка, параметры распыла, термические повреждения, окружная неравномерность.

Функцией камеры сгорания (КС) как модуля газотурбинного двигателя (ГТД) является подвод тепла к рабочему телу путем сжигания топлива. Топливные форсунки предназначены для распыления топлива с целью обеспечения его равномерного распределения в КС. Качество распыливания жидкого топлива является одним из ключевых факторов, определяющих эффективность работы КС ГТД, полноту сгорания и эмиссию вредных веществ. Более того, нестабильность параметров распыла влечет за собой изменение процесса горения в первичной зоне, что в свою очередь может привести к ухудшению теплового состояния корпусных элементов фронтального устройства (ФУ).

Поддавливающая часть исследований качества распыливания топливных форсунок нацелена на определение расходных и дисперсных характеристик, а именно таких параметров, как расходы воздуха и топлива через форсунку, угол конуса распыла и средний диаметр капель по Заутеру [1-5]. Однако, немаловажным фактором, влияющим на качество распыла, является неравномерность распределения топлива за срезом сопла форсунки.

Неравномерность распыливания топлива – это неравномерное распределение капель топлива в окружном направлении за срезом сопла форсунки. Увеличение неравномерности приводит к непрогнозируемому изменению коэффициента избытка воздуха (α) за срезом сопла форсунки, что в свою очередь ведёт к образованию неравномерности поля температур в первичной зоне горения. Наличие локальных зон повышенных температур, расположенных вблизи элементов ФУ, приводит к образованию термических повреждений [6].

Объектом исследования данной работы является пневмомеханическая форсунка (рис. 1), которая входит в состав (ФУ) рассматриваемой конструкции КС. Подготовка топливовоздушной смеси (ТВС) осуществляется внутри корпуса форсунки, подача топлива в зону смешения с воздухом осуществляется центробежным четырехканальным распылителем. В корпусе форсунки устанавливается воздушный осевой лопаточный завихритель для интенсификации процессов смесеобразования.

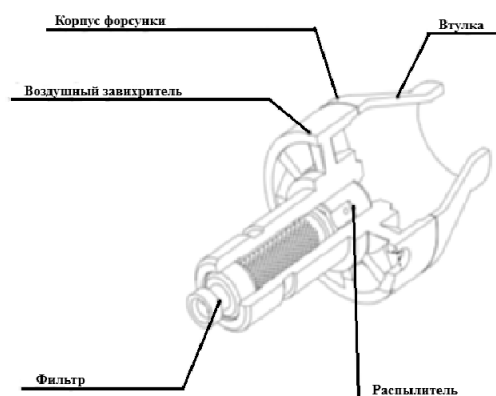


Рис. 1 – конструкция пневмомеханической форсунки

В ходе выполнения работ проводился анализ накопленной статистики по результатам испытаний рассматриваемых форсунок на определение неравномерности распыливания топлива. Испытания проводятся при изготовлении форсунок на пневмогидравлической испытательной установке с 36-секторным барабаном, расположенном на расстоянии 190 ± 2 мм от сопла форсунки. Объект испытания устанавливается в оснастку, имитирующую посадочное место ФУ, так, чтобы ось форсунки совпадала с центральной осью барабана. Образующаяся ТВС распределяется по секторам барабана, неравномерность определяется по объему жидкости в каждом из секторов к концу испытания. По результатам анализа более 140 результатов выявлено, что более 50% изготовленных форсунок не соответствует требуемым нормам по окружной неравномерности распыливания топлива. Кроме штатных испытаний, заложенных технологией изготовления форсунок, дополнительно проводились экспериментальные исследования распыла рассматриваемых форсунок [7], по результатам которых также отмечалось наличие областей повышенного локального расхода топлива в поперечном сечении факела.

Основными конструктивными элементами рассматриваемых форсунок, влияющими на равномерность распыливания топлива, являются: распылитель, воздушный завихритель и втулка, образующая полость для смесеобразования. Указанные параметры подверглись дополнительному переконтролю изготовленных форсунок, у которых была выявлена неравномерность, превышающая допустимые значения. По результатам дополнительного контроля были выявлены отклонения у 80% контролируемых деталей, при этом не установлено зависимости между отклонением конкретного геометрического параметра и наличием неравномерности распыла.

Дальнейшие исследования будут посвящены оценке влияния отклонений геометрических параметров конструктивных элементов пневмомеханической форсунки на неравномерность распыливания топлива, определения весовых коэффициентов для каждого из параметров и поиску конструктивных решений, исключающих влияние геометрических отклонений.

Список литературы

1. Александров И.М., Криницын Д.А., Сипатов А.М. Исследование влияния геометрических особенностей топливных форсунок газотурбинного авиационного двигателя на характеристики распыла с помощью бесконтактных методов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 70. – С. 62–73. – DOI: 10.15593/2224-9982/2022.70.06.
2. Бакланов А.В., Макарова Г.Ф., Васильев А.А., Нуждин А.А. Влияние изменения геометрии газовой форсунки на угол распространения топливной струи // Труды МАИ. – 2019.
3. Гураков Н.И., Зубрилин И.А., Эрнандэс Моралес М., Якушкин Д.В., Диденко А.А., Матвеев С.Г., Комисар Ю.В. Расчёт характеристик течения жидкого топлива при его подаче через центробежные форсунки малоразмерных газотурбинных двигателей // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 19–35. – DOI: 10.18287/2541-7533-2021-20-2-19-35.
4. Ланский А.М., Лукачев С.В., Матвеев С.Г. Исследование распыливания топлива пневмомеханическими форсунками // Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва. (б/д)
5. Клинов А.В., Ким С.К., Парамошин И.В., Рябоконь М.П., Поляков А.В., Малыгина М.А., Цой А.Н., Цой Л.А. Исследование характеристик распыла пневматической форсунки высокого давления ФГЖ-1 // Казанский национальный исследовательский технологический университет. (б/д)
6. Ревков В.Д., Грязнова А.А., Миронов Н.С., Рассказчиков Д.С., Чигищев В.Д., Зубрилин И.А. Исследование причин возникновения термических повреждений форсунок камеры сгорания газотурбинного двигателя // Перспективы развития двигателестро-

ения: сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции имени Н.Д. Кузнецова. – Самара: Изд-во Самарского университета.

7. Диденко А.А., Большев С.А., Гураков Н.И., Рогалев В.В., Миронов Н.С., Разливанов А.А., Ревков В.Д., Чигищев В.Д. Экспериментальное исследование распыливания топлива форсунками многофорсуночной камеры сгорания серийного ГТД // Перспективы развития двигателестроения: материалы международной научно-технической конференции им. Н.Д. Кузнецова. / Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2025. – С. 590–593.

Сведения об авторах

Речкалов Г.Е. – инженер-конструктор. Область научных интересов: конструкция и проектирование камер сгорания ГТД

Ревков В.Д. – инженер-конструктор. Область научных интересов: конструкция и проектирование камер сгорания ГТД, тепловое состояние корпусных элементов конструкции КС, распыл жидких топлив.

Рассказчиков Д.С. – инженер-конструктор. Область научных интересов: методы расчета и доводки камер сгорания ГТД.

Кондратьев В.С. – инженер-конструктор. Область научных интересов: конструкция и проектирование камер сгорания ГТД, технологии изготовления крупногабаритных корпусных деталей.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF NOZZLE PARAMETER DEVIATIONS ON THE OCCURRENCE OF THERMAL DAMAGE TO NOZZLE BODIES IN A MULTI-NOZZLE COMBUSTION CHAMBER

Rechkalov G.E., Revkov V.D., Raskazchikov D.S., Kondratyev V.S.

JSC «UEC-Kuznetsov», Samara, re4kalovg@yandex.ru

Keywords: combustion chamber, centrifugal nozzle, airblast nozzle, spray parameters, thermal damage, circumferential non-uniformity.

The article investigates how nozzle parameter deviations in a multi-nozzle combustion chamber affect thermal damage formation in gas turbine engines, focusing on fuel spraying unevenness that creates dangerous local high-temperature zones near front device elements due to eometric design flaws like variations in blade thickness and nozzle outlet diameter.