

## Список литературы

1. Свириденков А.А., Третьяков В.В. Характеристики факела распыливания за центробежными форсунками при повышенном давлении в камере сгорания // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т. 15. № 4. С. 143-149. DOI: 10.18287/2541-7533-2016-15-4-143-149.
2. Свириденков А.А., Третьяков В.В. Зависимость размеров капель и угла факела распыла от давления воздушной среды в камерах сгорания ГТД // Модели и методы аэродинамики. Материалы семнадцатой международной школы-семинара, с 148-150. М.: ЦАГИ, 2017. 192 с.
3. Wang X. F. and Lefebvre A.H. Mean drop sizes from pressure-swirl nozzles // J. Propul. Power, vol. 3, pp. 11–18, 1987.

УДК 621.452.3.034

## ФОРСАЖНАЯ КАМЕРА СГОРАНИЯ С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

Тесля Д.Н., ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, [patmi@rambler.ru](mailto:patmi@rambler.ru)  
Маяцкий С.А., ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, [MSLO@mail.ru](mailto:MSLO@mail.ru)  
Грасько Т.В., ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, [grasko83@mail.ru](mailto:grasko83@mail.ru)

*Ключевые слова:* форсажная камера сгорания, процесс горения топлива, адаптивная система управления.

Анализ развития двигателестроения для высокоманевренного авиационного комплекса свидетельствует о непрерывном повышении требований к тактико-техническим характеристикам силовой установки [1, 2]. Исходя из выше указанных требований актуальными направлениями модернизации являются:

- снижение радиолокационной и инфракрасной заметности;
- уменьшение удельного расхода топлива на всех режимах работы силовой установки;
- снижение массогабаритных характеристик;
- повышение суммарного коэффициента полезного действия всего двигателя.

Реализация этих направлений обеспечит существенный прирост удельной эффективности авиационного комплекса.

Модернизация существующих образцов и создание новых перспективных типов силовых установок в последние годы становится весьма сложной задачей, где нередко проводимые исследования указывают на то,

что затраты на исследование и модернизацию не получают должного эффекта и не находят отражения в серийном изделии.

В данной работе предлагаются конструктивные мероприятия по снижению массогабаритных характеристик газотурбинного двигателя. В современной промышленности в этом направлении наибольшее внимание уделяется элементам компрессора и газовой турбины. Менее изученным направлением является вопрос снижения массы и длины форсажной камеры сгорания и реактивного сопла, которые занимают значительную часть (до пятидесяти процентов) от всей длины газотурбинного двигателя.

В рамках решения задач снижения инфракрасной заметности одним из возможных вариантов специалистами предлагается установка сопла плоского сечения с целью обеспечения затенения наиболее нагретых элементов конструкции газотурбинного двигателя в задней полусфере. Внедрение таких конструктивных изменений приведет к существенному увеличению длины газотурбинного двигателя.

В настоящее время габаритные размеры форсажной камеры сгорания подбираются расчетно-экспериментальным путем с целью обеспечения максимального значения полноты сгорания топлива во всем эксплуатационном диапазоне режимов работы газотурбинного двигателя [3]. Экспериментальные данные показывают, что большая длина форсажной камеры сгорания необходима для обеспечения полного сгорания топлива с учетом смещения фронта пламени по потоку в зависимости от режима работы силовой установки и факторов внешней среды. Экспериментально подтверждено, что полнота сгорания топлива в первичной зоне форсажной камеры сгорания изменяется в пределах от 0,55 до 0,85. Непрореагировавшее топливо догорает по длине форсажной камеры сгорания. Чем меньше минимальная расчетная полнота сгорания топлива в первичной зоне форсажной камеры сгорания, тем больше длина проектируемой форсажной камеры сгорания [4].

В рамках данной работы предлагается проведение теоретических, численных и экспериментальных исследований с целью обоснования и разработки конструктивного облика форсажной камеры сгорания с наименьшей массой. Предлагаемая форсажная камера сгорания должна удовлетворять заданным тактико-техническим требованиям предъявляемым к существующим образцам силовых установок, при этом обладая меньшей массой и габаритными характеристиками. При этом конструкция должна позволять контролировать и управлять величиной полноты сгорания топлива в первичной зоне форсажной камеры сгорания на заданном уровне не ниже 0,8 во всем эксплуатационном диапазоне работы силовой установки с учетом факторов внешней среды.

Проведение расчетных и экспериментальных исследований показывает, что одним из возможных способов обеспечения заданных характеристик является управление местом подачи и углом впрыска топлива в газо-

вый поток перед стабилизатором пламени. В данном случае значительную роль играет качество распыла и величина подогрева топлива в процессе образования топливоздушнoй смеси. В зависимости от различных факторов расстояние от задней кромки стабилизатора до места впрыска топлива на всем эксплуатационном диапазоне находится в пределах от 1 до 6 характерных размеров стабилизатора пламени.

В работе предлагается:

1. Создание стабилизирующего топливного коллектора. Коллектор включает ряд индивидуальных форсунок для каждого стабилизатора пламени с жестким креплением в едином корпусе коллектора и стабилизатора пламени и имеет основные и резервные пояса форсунок вдоль корпуса. В отличие от серийных коллекторных систем на режиме «Полный Форсаж» все форсунки не задействованы, а имеется возможность включения и отключения ближних и дальних поясов форсунок при сохранении постоянного значения расхода топлива в форсажную камеру сгорания.

2. Разработка, проверка и адаптация новой системы автоматического управления подачей топлива в форсажную камеру сгорания. Создание алгоритмов и обоснование программ управления системой подачи топлива с целью обеспечения высокого значения полноты сгорания топлива в первичной зоне форсажной камеры сгорания при сохранении постоянного расхода топлива.

3. Косвенная оценка величины полноты сгорания топлива на основе контроля динамических характеристик газового потока, путем определения нагрузки на силовых элементах конструкции реактивного сопла. Получение данных о динамических характеристиках потока позволит создать систему автоматического управления системой подачи топлива в форсажную камеру сгорания с обратной связью. Данная разработка является одним из перспективных направлений, поскольку на сегодняшний день не существует систем контроля параметров газового потока в сечении на входе в реактивное сопло с включением этих параметров в систему автоматического управления.

4. Применение полученных результатов при проектировании газотурбинных двигателей, прямоточных сверхзвуковых и гиперзвуковых силовых установок последующих поколений.

### Список литературы

1. *Першин Н.А., Федоров В.В.* Оценка эффективности при проектировании боевых летательных аппаратов: учебное пособие. Иркутск: ИВАИИ, 2003. 89 с.
2. Теория авиационных двигателей: Функциональные элементы серийных силовых установок: учебное пособие / *А.А. Пахольченко, А.Н. Черкасов, А.А. Алексеев, Г.П. Корень, В.А. Москаев.* Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. 231 с.
3. Основы конструирования, производства и эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок в системе CALS техноло-

гий: в 3 кн. 2-е изд., перераб. и доп. / Н.Н. Сиротин, А.С. Новиков, А.Г. Пайкин, А.Н. Сиротин. М.: Наука, 2011

4. Кудрявцев А.В., Медведев В.В. Форсажные камеры и камеры сгорания ПВРД. Инженерные методики расчета характеристик. Москва: ЦИАМ, 2013. 113 с.

УДК 621.45

## **ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННЕЙ СТЕНКИ СЕРИЙНОЙ ЖАРОВОЙ ТРУБЫ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД-110**

Румянцева С.А., ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск, [valeriy.tashkinov@npo-saturn.ru](mailto:valeriy.tashkinov@npo-saturn.ru)  
Василюк Д.К., ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск, [valeriy.tashkinov@npo-saturn.ru](mailto:valeriy.tashkinov@npo-saturn.ru)

После наработки в эксплуатации более 6000 часов дефектация камеры сгорания двигателя ГТД-110 показала прогары внутренней стенки жаровой трубы. Анализ выявленных дефектов и конструктивных особенностей жаровой трубы и горелочного устройства позволил сделать вывод, что возможной причиной возникновения дефекта является недостаточный перепад давления на внутренней стенке жаровой трубы и горелочном устройстве. Для устранения дефекта был разработан ряд конструктивных мероприятий.

С целью детального анализа причин возникновения дефекта и оценки эффективности мероприятий была выполнена серия газодинамических 3D расчетов с учетом горения и сопряженного теплообмена пяти вариантов жаровых труб (исходная и с мероприятиями).

Расчеты выполнены с помощью комплекса программ вычислительной газодинамики ANSYS CFX 17.2 на кластерном вычислительном комплексе Т-100 на 104 расчетных узлах. Расчетная сетка неструктурированная, тетраэдрическая. Размер каждой сетки свыше 30 миллионов узлов и 210 миллионов элементов.

После расчета модели исходной конструкции было подтверждено, что в системе охлаждения внутренней стенки жаровой трубы недостаточный перепад статического давления из-за большой загроможденности канала подвода воздуха. К увеличенному сопротивлению, в том числе, приводит разделитель потока на выходе из пилотной зоны. Для увеличения расхода воздуха на охлаждение были рассчитаны варианты: с частичной и полной подрезкой разделителя, с увеличением площади отверстий охлаждения, с добавлением дефлектора для направления потока воздуха в полость охлаждения.

По результатам расчетного анализа вариантов жаровых труб камеры сгорания:

- определены потери полного и статического давлений, полная температура газового потока на выходе из камеры сгорания, полнота сгорания топлива, максимальные значения радиальной и максимальной неравномерности газового потока на выходе из камеры сгорания;