

Емельянов Дмитрий Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
г. Воронеж

Елисеев Сергей Яковлевич,
кандидат химических наук, старший преподаватель,
ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
г. Воронеж

Соколов Денис Аркадьевич, курсант,
ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
г. Воронеж

Базов Андрей Михайлович, курсант,
ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
г. Воронеж

РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛОВ УСТАНОВКИ ЛОПАТОК ЗАВИХРИТЕЛЯ

Аннотация: В статье рассмотрена конструкция регулятора поворота лопаток завихрителя фронтального устройства. Предложено использование специального устройства для поддержания оптимального коэффициента избытка воздуха в зоне горения. Указаны основные преимущества системы контроля и изменения угла установки завихрителя при использовании в камерах сгорания газотурбинных двигателей.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, камера сгорания, завихритель, фронтальное устройство, угол установки лопаток.

Повышение требований к характеристикам и надежности камер сгорания приводит к увеличению объема расчетно-конструкторских работ и экспериментальной отработке отдельных узлов и элементов камеры сгорания при создании перспективных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). Данная проблема серьезно усугубляется при создании камер сгорания для перспективных высокотемпературных двигателей с величиной $T^*_{г} \geq 2000$ К, поскольку такие камеры сгорания должны содержать элементы регулирования рабочего процесса. Камеры сгорания с регулирующими элементами получили название камер сгорания адаптивного типа [1].

Одним из направлений регулировки является управление углом установки лопаток завихрителя фронтального устройства.

Регулятор поворота лопаток завихрителя фронтального устройства оснащен компонентом, состоящим из форсунки, содержащей топливные каналы, и цилиндрического корпуса, который образует кольцевую полость. Внутри этой полости расположен кольцевой поршень, установленный с одной стороны и подпружиненный для обеспечения определенного напряжения. Другой конец полости соединен с топливным каналом форсунки, обеспечивая подачу топлива [2].

Завихритель в данном устройстве разделен на наружный и внутренний компоненты, размещенные радиально. Внутренний завихритель включает в себя цилиндрическую втулку, которая жестко закреплена и связана с кольцевым поршнем. Втулка обладает продольными вырезами, количество которых соответствует числу лопаток внутреннего завихрителя.



Эти вырезы имеют зубчатые рейки на одной стороне, которые выступают во взаимодействии со шлицами поводков поворотных хвостиков лопаток внутреннего завихрителя.

Кроме того, поводки хвостиков лопаток наружного завихрителя также выступают в зацепление с зубчатыми рейками, выполненными в вырезах внутреннего завихрителя. Такое конструктивное решение обеспечивает согласованное и синхронное движение лопаток обоих компонентов завихрителя, что позволяет эффективно контролировать и регулировать поток воздуха и создавать оптимальное завихрение для достижения требуемых характеристик фронтального устройства [3].

Обычно нерегулируемые завихрители традиционных камер сгорания имеют угол установки лопаток около 50-55 градусов. Однако, для работы высокотемпературных газотурбинных двигателей на максимальной мощности следует установить угол установки лопаток завихрителя около 20-25 градусов, чтобы достичь необходимых параметров закрутки потока $S = 0,25-0,30$

($S = \frac{2}{3}\text{tg}\varphi$) и создать центральную рециркуляционную зону обратных токов в центральной части жаровой трубы и при этом значение параметра закрутки потока должно превышать критическое значение $S_{кр} = 0,6$. Когда ГТД работает на минимальной мощности и запуск осуществляется на высоте в полете, угол установки лопаток завихрителя должен быть максимально возможным, чтобы значительно снизить расход первичного воздуха и переобогащения топливовоздушной смеси в первичной зоне. Однако, максимальный угол установки лопаток завихрителя ограничен потерей эффективности закручивающего устройства при определенных углах установки, соответствующих значению $S = 2$ ($\varphi_{лз} = 700$). Требуемый максимальный угол установки лопаток завихрителя для камер сгорания высокотемпературных ГТД выше указанного предела ($\varphi_{лз} = 800$). Таким образом, для определенного типа газотурбинных двигателей с высокой температурой газа существует ограничение, связанное с изменением угла установки лопаток завихрителя [4].

Для решения данной задачи предлагается использовать специальное устройство, в котором углы отклонения задней части лопаток внутреннего завихрителя регулируются в узком диапазоне с помощью давления топлива перед форсунками, а углы отклонения задней части лопаток наружного завихрителя регулируются в широком диапазоне (от полностью закрытого до полностью открытого) за счет степени повышения давления воздуха в компрессоре двигателя.

Регулятор задней части лопаток внутреннего завихрителя функционирует следующим образом: в состоянии, когда двигатель находится в нерабочем состоянии, когда топливо и воздух не подаются в камеру сгорания, элементы устройства находятся в исходном положении. Хвостики лопаток внутреннего завихрителя находятся на предельно возможном угле с минимальным сечением межлопаточных каналов, а поршень с цилиндрической втулкой находятся в крайнем исходном положении, опираясь на упор. Хвостики лопаток наружного завихрителя установлены на максимальный конструктивный угол (завихритель закрыт), а сиффон имеет максимальный объем.

При запуске двигателя, начинается подача топлива в камеру сгорания и под воздействием давления топлива поршень начинает осуществлять движение, сжимая упругий элемент и перемещая цилиндрическую втулку. Через зубчатые передачи втулка поворачивает поводок хвостиков лопаток внутреннего завихрителя, открывая их на меньший угол и одновременно увеличивая площадь сечения межлопаточных каналов. В то же время давление воздуха за компрессором $p^*_{к}$ начинает повышаться. Рост давления $p^*_{к}$ вызывает сжатие сиффона и его перемещение в сторону фланца наружного кольца. Это, в свою очередь, приводит к перемещению цилиндрической втулки и повороту поводка хвостиков лопаток



наружного завихрителя, открывая их с увеличением площади сечения межлопаточных каналов.

Угол установки хвостиков лопаточного завихрителя зависит от давления подаваемого топлива в форсунки в работающем газотурбинном двигателе и определяется жесткостью и упругостью упругого элемента.

Выбор угла установки основан на нескольких критериях, включая поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха в зоне горения, обеспечения необходимого уровня закручивания потока воздуха на всех режимах работы ГТД и допустимого уровня гидравлических потерь.

Угол установки хвостиков лопаток наружного завихрителя определяется давлением подаваемого топлива и зависит от жесткости сильфона. Жесткость сильфона выбирается таким образом, чтобы на режимах запуска и при низком расходе газа наружный завихритель был полностью закрыт, а на режиме максимальной мощности – полностью открыт.

При переходе газотурбинного двигателя на пониженные режимы работы происходит снижение давления топлива, что приводит к перемещению поршня и сильфона в направлении исходного положения. В результате угол установки хвостиков лопаток внутреннего и наружного завихрителей увеличиваются, что, в свою очередь приводит к уменьшению площади проходных сечений межлопаточных каналов.

Это достигается путем независимого управления внутренним и наружным завихрителем в соответствии с режимами работы ГТД и изменяющимися условиями полета летательного аппарата.

Характер течения воздушных потоков с учетом изменения угла установки лопаточного завихрителя представлен на рисунке 1.

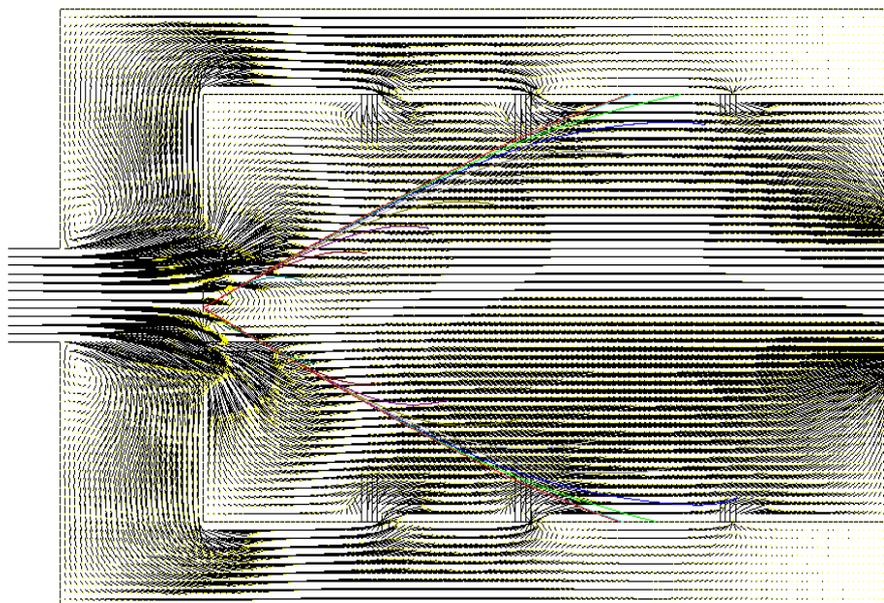


Рисунок 1 – Характер течения воздушных потоков в основной камере сгорания при изменении угла установки лопаточного завихрителя

Основным преимуществом использования в камере сгорания системы контроля и изменения угла установки завихрителя с возможностью поворота лопаток перед другими известными системами является ее способность воздействовать на процесс горения топливовоздушной смеси во время переходных процессов. В данной камере сгорания



поддерживается оптимальное значение коэффициента избытка воздуха $\alpha = \alpha_{\text{опт}}$ и высокое значение полноты сгорания топлива $\eta_{\Gamma} = 0,97 \div 0,99$.

Список литературы:

1. Кобельков В.Н. Термодинамика и теплопередача. Учебник для вузов ВВС / В.Н. Кобельков, В.Д. Улас, Р.М. Федоров – Воронеж: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2004. – 328 с.
2. Кулагин В.В. Теория расчёта и проектирования авиационных двигателей и энергетических установок / В.В. Кулагин – Москва: Машиностроение, 2005. – 336 с.
3. Григорьев А.А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок / А.А. Григорьев – Пермь: ПГТУ, 2010. – 368 с.
4. Белоусов А.Н. Основы теории, расчета и проектирования воздушно-реактивных двигателей / А.Н. Белоусов, С.К. Бочкарев, В.А. Григорьев и др. – Москва: Машиностроение, 2011. – 198 с.

