

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ПЛАМЕНИ ФОРСАЖНЫХ КАМЕР АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Кислицын В.К., Кишалов А.Е.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, [vitalik-kislicyn@mail.ru](mailto:vitalik-kislicyn@mail.ru)

*Ключевые слова:* форсажная камера, стабилизация пламени, газодинамическая стабилизация

С началом активного применения газотурбинных двигателей (ГТД) в военной авиации возникла необходимость кратковременного увеличения тяговых характеристик авиационных ГТД для обеспечения скоростного и маневренного превосходства летательного аппарата (форсирование ГТД). В настоящее время основным методом форсирования авиационного ГТД является сжигание дополнительного топлива за турбиной в форсажной камере (ФК) [1, 2].

При сгорании стехиометрической топливовоздушной смеси ( $\alpha = 1$ ) температура газа перед турбиной может достигать 2600 К, что превышает рабочую температуру материалов наиболее нагруженных узлов, таких как сопловой аппарат (СА) и рабочие лопатки (РЛ) турбины высокого давления (ТВД). К примеру, рабочая температура материала ЖС-26, который применяется в РЛ ТВД, составляет 1323 К [3]. Для обеспечения условий прочности ТВД, сгорание топлива в основной камере сгорания организовано при значительном коэффициенте избытка воздуха ( $\alpha_{кc} = 2\dots5$ ), обеспечивающем приемлемый уровень температуры газа перед ТВД (1400 – 1800 К). Допустимая температура материала СА и РЛ обеспечивается за счет охлаждения турбины с выдувом охлаждающего воздуха в проточную часть ГТД, помимо этого, перед ФК происходит смешение потока внутреннего и наружного контура. С учетом этого, коэффициент избытка воздуха в потоке горячего газа перед ФК авиационного ГТД составляет  $\alpha_{fk} = 3\dots7$ , что является достаточным для организации процесса стабильного горения авиационного топлива [4].

Основная проблема при проектировании форсажной камеры заключается в том, что скорость газа в ФК (более 100 м/с) значительно превышает скорость распространения пламени (1...10 м/с). Таким образом, существует необходимость стабилизировать процесс горения топлива. В настоящий момент на серийных изделиях применяется стабилизация в виде размещения в потоке горячего газа плохообтекаемых тел (рис. 1). Суть метода заключается в образовании зоны обратных токов позади плохообтекаемого тела (V-образного стабилизатора), что позволяет добиться циркуляции потока и горения топлива за стабилизатором [5].

Данный метод стабилизации имеет серьезные недостатки, такие как снижение тяги и КПД, увеличение массы и удельного расхода топлива, что являются следствием наличия плохообтекаемых тел, загромождающих поток (степень загромождения 25 – 35 %) и значительно повышающих гидравлическое сопротивление ФК (коэффициент восстановления полного давления ФК с V-образными стабилизаторами  $\sigma_{fk} = 0,92 – 0,95$ ) [2, 5, 6].

Альтернативным методом стабилизации пламени является аэродинамическая стабилизация, основанная на струях воздуха, вдуваемых в газовый поток ФК, за которыми создается зона обратных токов (рис. 2 а). Основным преимуществом данного метода является отсутствие загромождения потока стабилизаторами в виде плохообтекаемых тел, что значительно снижает гидравлические потери на бесфорсажном режиме, а также снижение массы изделия ввиду отсутствия фронтового устройства.

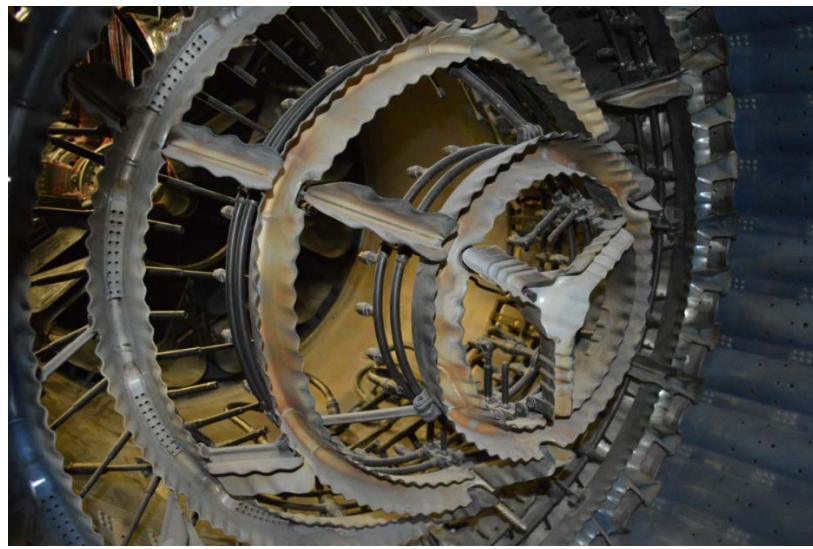
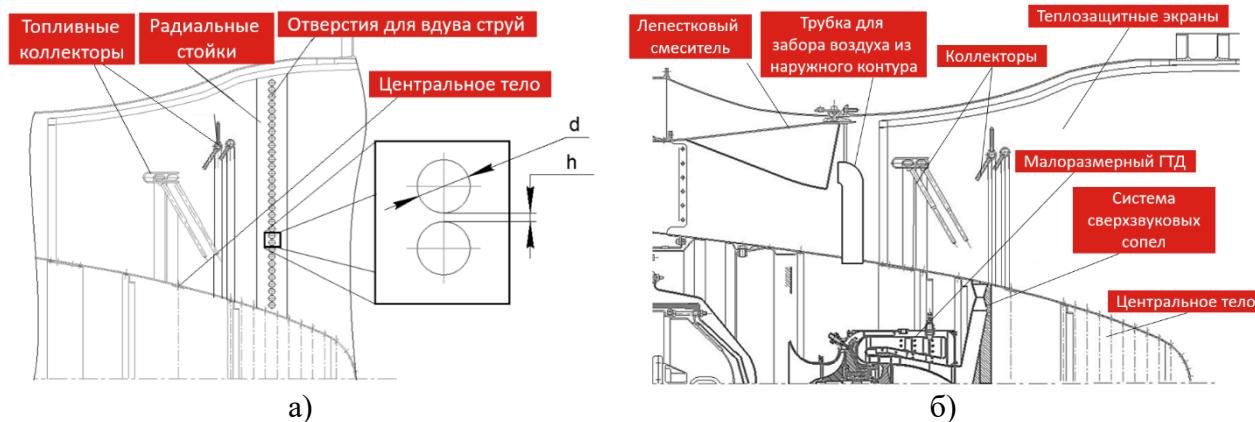


Рис. 1 – Расположение V-образных стабилизаторов горения (плохообтекаемых тел) форсажной камеры ТРД

Метод аэродинамической стабилизации не получил реального применения на существующих изделиях ввиду того, что для организации данного вида стабилизации необходима большая пробивная способность струи и ее высокая энергонасыщенность. По этой причине воздух для вдува струй отбирается из-за компрессора высокого давления (КВД), что приводит к значительным ухудшениям характеристик газогенератора и падению экономичности двигателя в целом [4, 6].



а) - аэродинамическая стабилизация, б) - газодинамическая стабилизация

Рис. 2 – Схемы конструкции форсажной камеры

Для решения проблемы стабилизации пламени ФК при обеспечении минимального влияния на работу КВД предложен перспективный метод газодинамической стабилизации пламени. Метод основан на вдуве высокоэнергетических сверхзвуковых горящих струй в поток газа после турбины через систему малоразмерных сверхзвуковых сопел, расположенных на стенках затурбинного кока (рис. 2 б) [6, 7].

Основное отличие газодинамической стабилизации от аэродинамической заключается в том, что обеспечение высокой пробивной способности струй и их энергонасыщенности достигается за счет применения дополнительного малоразмерного ГТД. Воздух для работы малоразмерного ГТД может быть отобран из внешнего контура ТРДДФсм [6]. Помимо этого, увеличивается импульс струи за счет увеличении температуры при сгорании топлива. Данный метод не требует отбора сжатого воздуха за КВД, тем самым не вызывает снижения параметров работы ГТД, а также обеспечивает более стабильную и эффективную работу ФК за счет постоянного воспламенения форсажного топлива при взаимодействии с горящими струями.

Разработка оптимальной схемы расположения сверхзвуковых струй, подготовка математических моделей, описывающих взаимодействие сверхзвуковой стабилизирующей струи и потока газа, разработка схемы подвода, распыла и воспламенения форсажного топлива являются ключевыми задачами при разработке и внедрении данного метода газодинамической стабилизации пламени форсажных камер ГТД.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания № FEUE-2023-0007 (УУНиТ).

### **Список литературы**

1. П.К. Казаджан, Н.Д. Тихонов, В.Т. Шулекин. Теория авиационных двигателей. М.: Транспорт, 2000. – 287с.
2. Р.И. Гусева. Особенности конструкции, организация работы авиационных двигателей: учеб. пособие/ Р.И. Гусева. — Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. – 100с.
3. С.В. Фалалеев. Конструкция ТРДДФ АЛ-31Ф [Электронный ресурс]: электрон. учебное пособие/ С. В. Фалалеев; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (Нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (22,59 Мбайт). – Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
4. А.А. Иноземцев, В.Л. Сандрацкий. Газотурбинные двигатели. ОАО «Авиадвигатель»: Пермь 2006. – 1203 с., ил.
5. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М. Машиностроение.
- Самолеты и вертолеты. Т. IV-21. Авиационные двигатели. Кн. 3 / В.А. Скибин В.И. Солонин, Ю.М. Темис и др.; под ред. В.А. Скибина, Ю.М. Темиса и В.А. Сосунова. 2010. – 720с., ил.
6. А. Лефевр Процессы в камерах сгорания ГТД: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 566 с., ил.
7. Способ стабилизации зоны горения в форсажной камере сгорания турбореактивного двигателя и форсажная камера сгорания турбореактивного двигателя [Текст]: пат. 2680781 Рос. Федерация: МПК F23R3/18 / А. В. Костерин, Г. Ф. Мингалеев, Р. И. Салимов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский нац. исслед. технич. ун-т им. А. Н. Туполева – КАИ» – заявл. 27.12.2017; опубл. 26.02.2019

### **Сведения об авторах**

Кишалов Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, преподаватель кафедры авиационных двигателей ФГБОУ ВО «УУНиТ».

Кислицын Виталий Константинович – аспирант кафедры авиационных двигателей ФГБОУ ВО «УУНиТ».

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»  
450008, Уфа, Россия, ул. Карла Маркса, д. 12.

## **GAS DYNAMIC FLAME STABILIZATION OF AFTERBURNER CHAMBERS OF AIRCRAFT ENGINES**

Kislitsyn V.K., Kishalov A.E.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, vitalik-kislicyn@mail.ru

*Keywords:* afterburner, flame stabilization, gas dynamic stabilization

Gas dynamic flame stabilization of afterburner chambers of aircraft engines. A brief description of the existing methods of flame stabilization of afterburners is performed, the advantages and disadvantages are described. A promising method of gas-dynamic flame stabilization using supersonic jets with external energy supply has been determined.