

УДК 621.438.34

Логинов В.В., Рублёв В.И.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ФОРСАЖНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ
АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ***Харьковский университет Воздушных Сил*

Преимуществами перспективных конфигураций летательных аппаратов являются уменьшенные масса и лобовое сопротивление, возможность уменьшения сечения радиолокационного захвата. Принципиальная задача заключается в обеспечении соответствующего управления самолетом, чтобы его маневренность не ухудшалась. Наиболее перспективным подходом к выполнению этой задачи является интеграция системы управления вектором тяги и системой управления самолетом. Новые ЛА оснащаются двигателями с отклонением вектора тяги в горизонтальной и вертикальной плоскостях [1]. Поэтому исследование рабочего процесса в форсажной камере сгорания (ФКС) и выходном устройстве является актуальной задачей [2, 3].

Для обеспечения наибольшей газодинамической эффективности ФКС необходимо уменьшать потери полного давления на выходе из камеры, которые оцениваются с помощью коэффициента восстановления полного давления и тепловых потерь полного давления, обусловленных подводом тепла. Гидравлические и тепловые потери целесообразно рассматривать отдельно. Это связано с тем, что большая доля гидравлических потерь приходится на диффузор и фронтное устройство, т.е. на элементы, расположенные до зоны тепловыделения. В данной работе основное внимание уделяется рассмотрению первого участка камеры.

В настоящее время для газодинамических расчетов камер сгорания применяются универсальные программные пакеты, например, Star-CD, Fluent, CFDRC и др. На этапах предварительного проектирования использование существующих программных пакетов требует значительных затрат времени на формирование геометрических моделей, подготовку исходных данных, проведение расчетов [4, 5, 6].

Для решения задач предварительного проектирования создан пакет программ для газодинамического расчета течения потоков в ФКС ТРДДФ, который ориентирован на расчеты дозвуковых и сверхзвуковых внутренних течений. С помощью этого пакета программ можно проводить параметрические исследования течения газовых потоков в ФКС авиационных двигателей. Расчет течения дает возможность получить распределение полных и статических параметров по всему тракту форсажного и выходного устройств.

Потери в ФКС исследуются без учета химических реакций (холодная продувка). Такое допущение позволяет определить структуру потока во всех сечениях расчетной области. В процессе проектирования ФКС часто возникает необходимость детального исследования структуры течения. Это обусловлено не только определением потерь полного давления и распределения газоздушных потоков по тракту камеры сгорания, но и обеспечением заданной эпюры давления, температуры и скорости газа на выходе из сопла.

Течение в ФКС рассчитывается с помощью усовершенствованного Эйлер-Лагранжевого подхода, основанного на использовании метода частиц в ячейках. Дви-

жение трехмерного нестационарного сжимаемого турбулентного потока совершенного газа описывается системой уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу [7].

Численное решение находится методом установления на сетке с вычислительными ячейками, которые представляют собой произвольные шестигранные замкнутые объемы. Это позволяет сформировать расчетную область достаточно сложной геометрической формы.

В качестве расчетной области взята типичная форсажная камера сгорания ГТД. Численные эксперименты проводились для 4 типов расчетных областей:

1. ФКС без внутренних элементов.
2. ФКС только с антивибрационным экраном.
3. ФКС с антивибрационным экраном, стабилизатором пламени типа “уголок-кольцо” (рис. 1).
4. ФКС с антивибрационным экраном и стабилизатором пламени радиального типа (рис. 2).

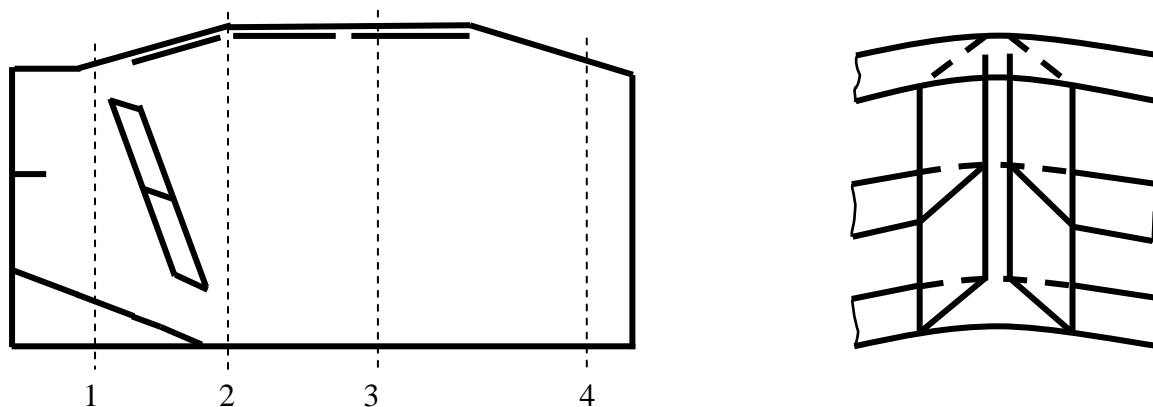


Рисунок 1 – Продольное сечение расчетной области ФКС № 3 и расчетная модель стабилизатора пламени типа “уголок-кольцо”

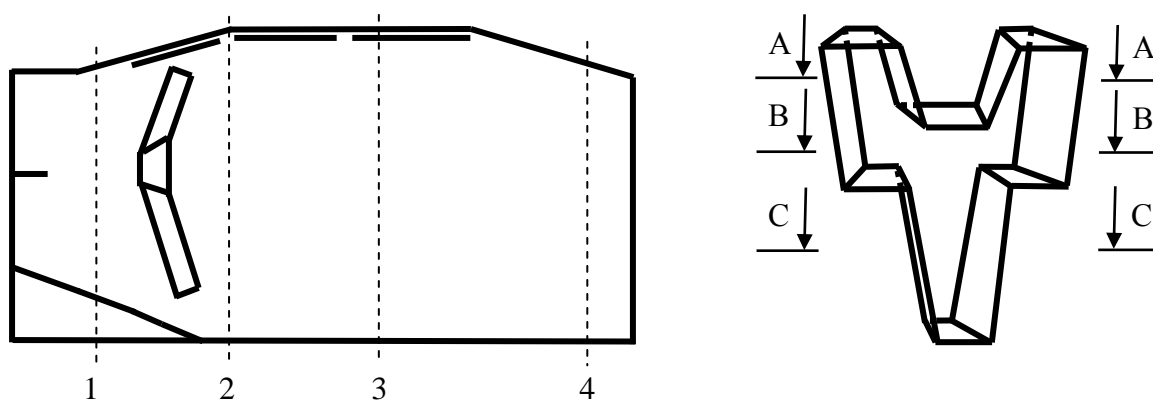


Рисунок 2 – Продольное сечение расчетной области ФКС № 4 и расчетная модель стабилизатора пламени радиального типа

Расчетная область для всех типов ФКС делилась на 148000 расчетных ячеек.

Рассмотрим течение в ФКС для наиболее, на наш взгляд, интересного – 4 типа расчетной области, которая состоит из корпуса, цилиндрического смесителя, диффузора, стабилизатора пламени, антивибрационного экрана, сопла (рис.2).

На входе в расчетную область задавались: отношение полных давлений $\bar{p}^* = \frac{p_2^*}{p_1^*} = 1.07$, отношение полных температур $\bar{T}^* = \frac{T_2^*}{T_1^*} = 0.4$, степень двухконтурности $m = \frac{G_2}{G_1} = 1.06$.

На выходе из расчетной области задавалось значение статического давления. На всех твердых границах задавалось условие непротекания. На участке после затурбинного кока задавалось условие симметричности.

Степень загромождения стабилизатором пламени канала принималась равной $\frac{F_{no}}{F_{ear}} = 0.41$. Результаты расчета течения в ФКС представлены в виде полей скоростей (рис. 3 - 10).

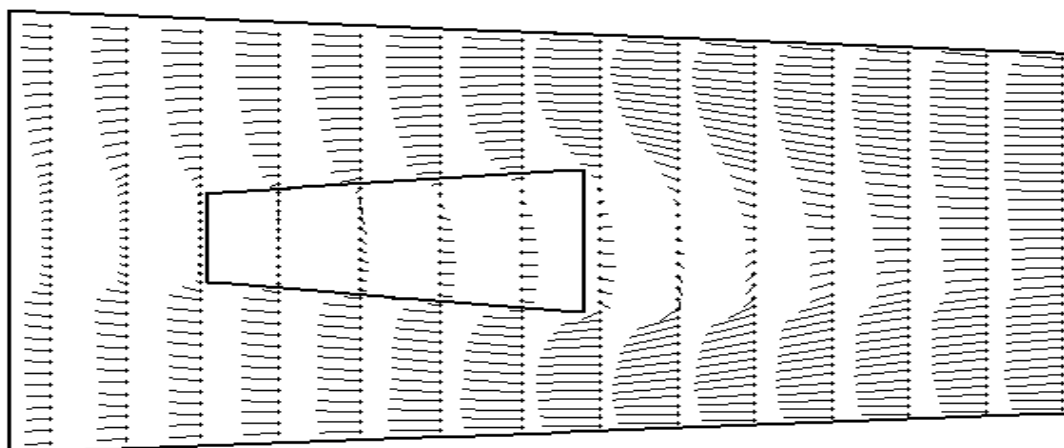


Рисунок 3 – Поле скорости в области сечения А-А

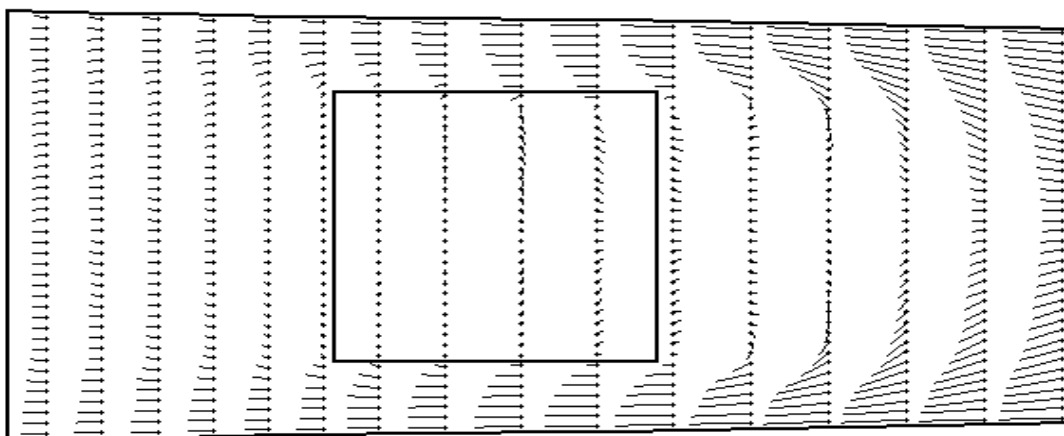


Рисунок 4 – Поле скорости в области сечения Б-Б

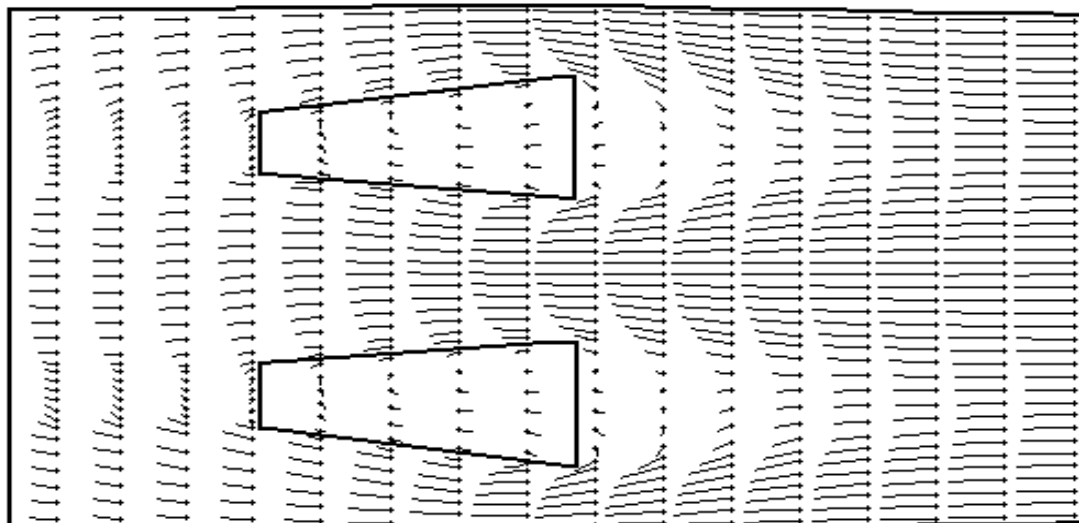


Рисунок 5 – Поле скорости в области сечения В-В

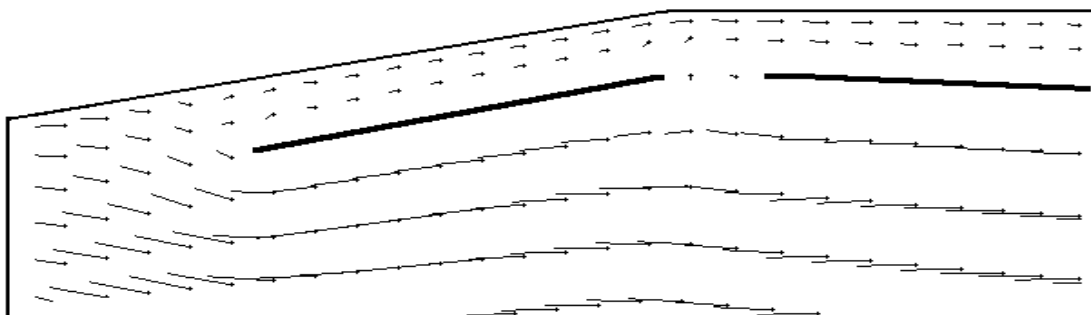


Рисунок 6 – Поле скорости в области обтекания экранов

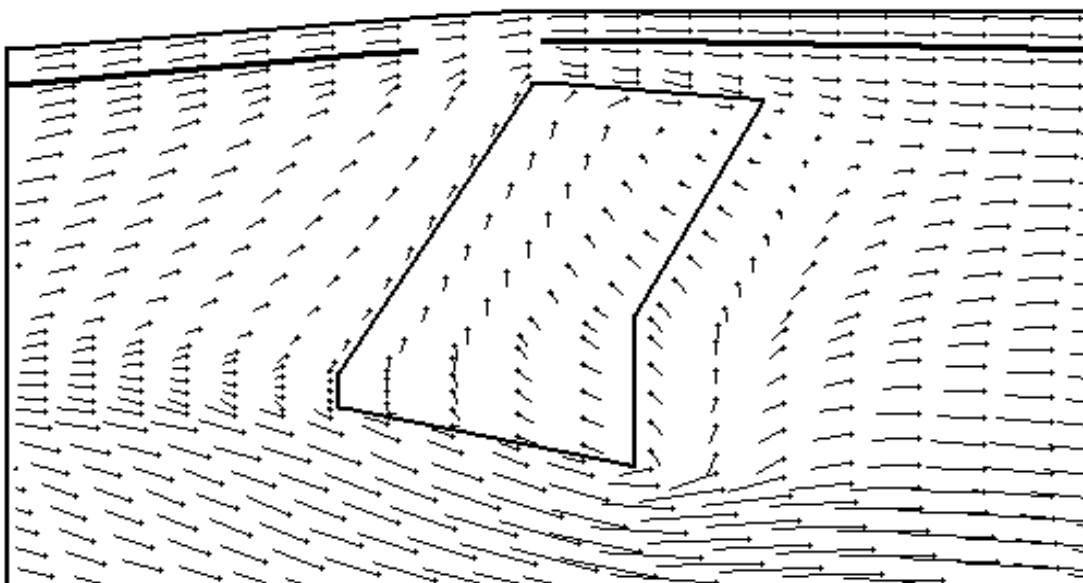


Рисунок 7 – Поле скорости в области продольного сечения верхней части стабилизатора пламени

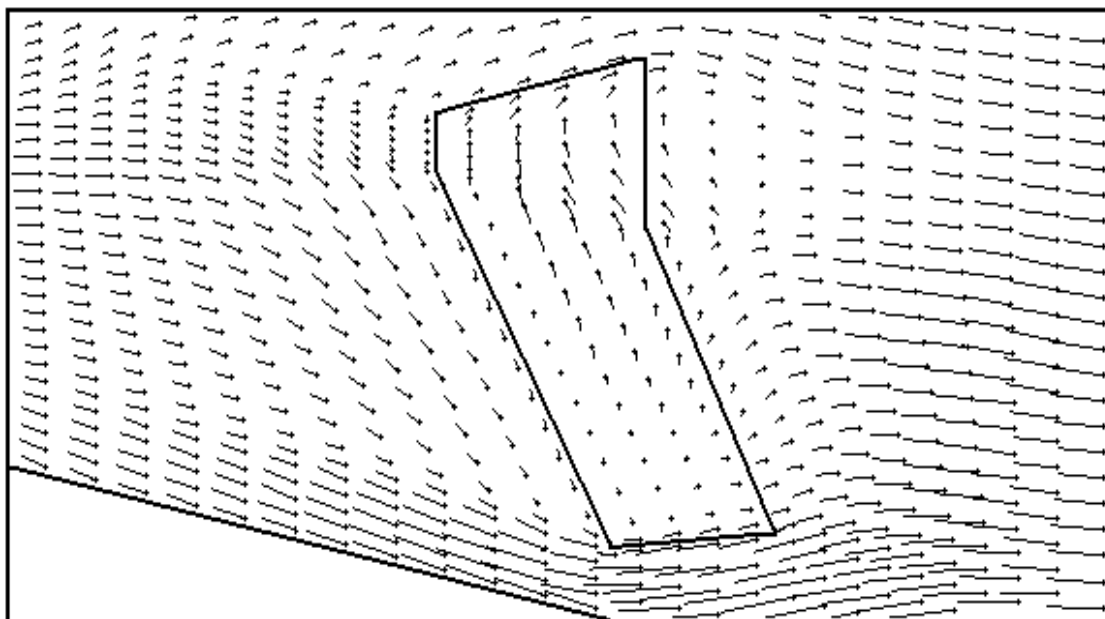


Рисунок 8 – Поле скорости в области продольного сечения нижней части стабилизатора пламени

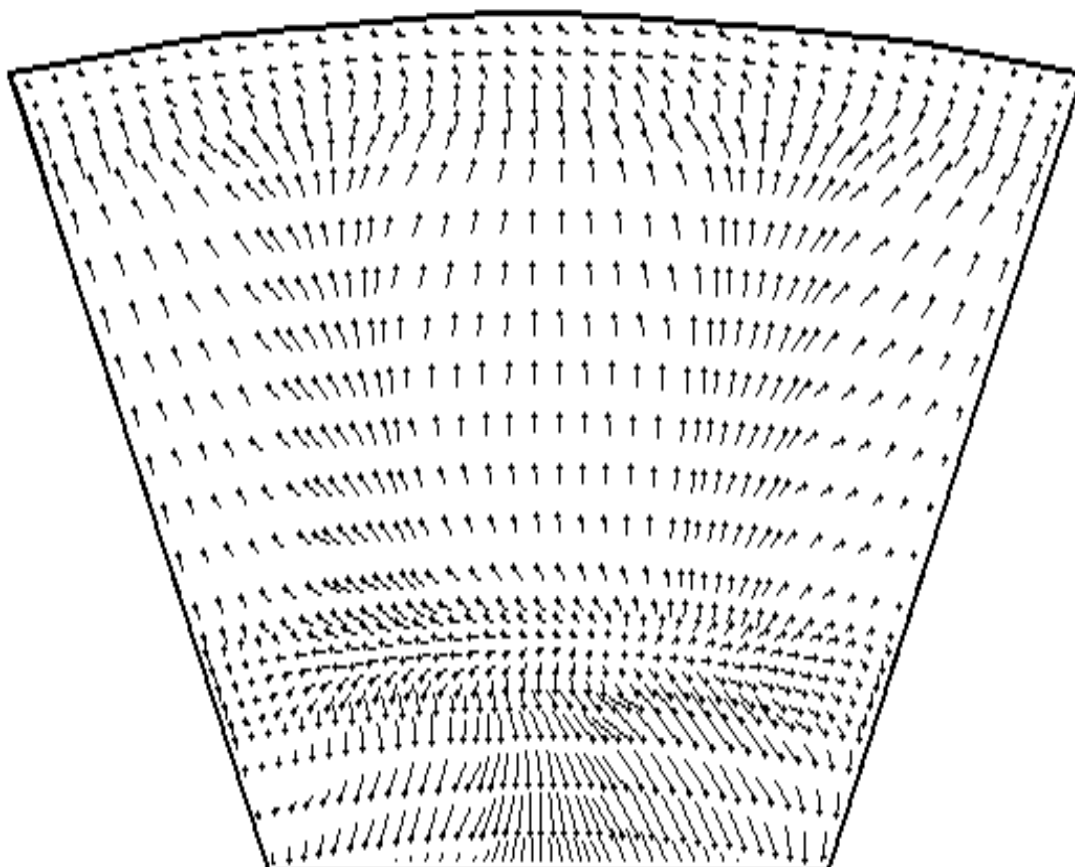


Рисунок 9 – Поле скорости в области поперечного сечения перед стабилизатором пламени

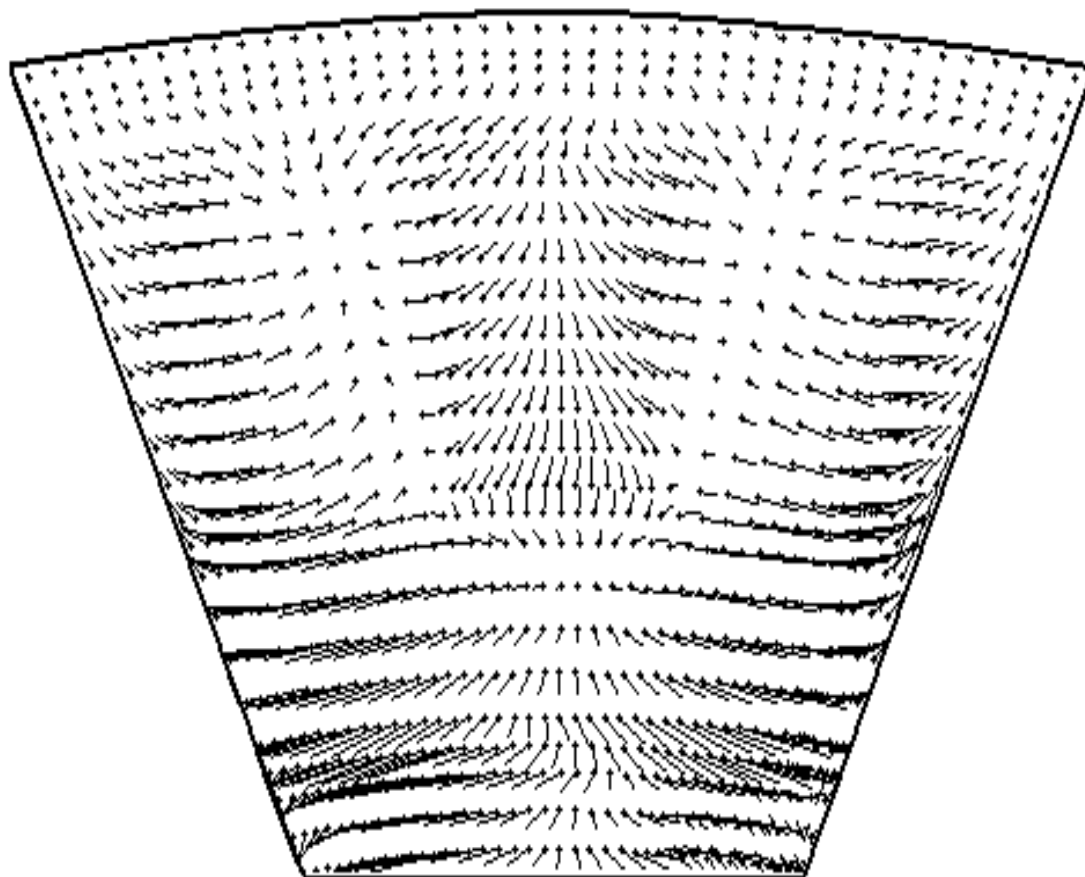


Рисунок 10 – Поле скорости в области поперечного сечения за стабилизатором пламени

Из представленных результатов расчета видно, что они правильно отображают рабочий процесс в ФКС.

Представлены интегральные характеристики течения потока в ФКС в виде коэффициента восстановления полного давления и коэффициента полноты смешения, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Интегральные характеристики расчета течения потока в ФКС

№ типа расч. обл.	Сечение №1		Сечение №2		Сечение №3		Сечение №4	
	$\sigma_{\bar{m}}$	$k_{\bar{m}}$	$\sigma_{\bar{m}}$	$k_{\bar{m}}$	$\sigma_{\bar{m}}$	$k_{\bar{m}}$	$\sigma_{\bar{m}}$	$k_{\bar{m}}$
1	0.989	0.480	0.985	0.508	0.980	0.534	0.981	0.553
2	0.989	0.481	0.980	0.512	0.982	0.536	0.980	0.558
3	0.984	0.478	0.953	0.543	0.960	0.609	0.960	0.654
4	0.983	0.491	0.938	0.564	0.945	0.648	0.948	0.685

По расчетным значениям коэффициентов видно, что наибольшие потери в сечении 2 в расчетной области № 4. Такой тип стабилизатора пламени обеспечивает полноту смешения $k_{см} = 0.558$, что превосходит это значение в расчетной области № 3. Это объясняется турбулизацией потока. Необходимо дальнейшее исследование течения с этими стабилизаторами пламени. Целесообразно провести параметрические исследова-

ния с изменением конструкции стабилизатора. Такие исследования позволят оценить влияние конструкции стабилизатора на параметры потоков.

Таким образом, предварительные расчеты показали, что предлагаемый комплекс программ может быть использован для проведения численных исследований течения потоков в ФКС на этапах предварительного проектирования. По результатам расчетов можно делать предварительные заключения о газодинамической эффективности ФКС ГТД, что снизит затраты на этапах доводки изделия.

Следующими этапами исследования течения в ФКС будут:

- разработка математической модели и программы расчета полей концентрации кислорода по всему тракту ФКС ТРДДФ;
- разработка математической модели распыления топлива струйной форсункой и распределение его по объему в ФКС ТРДДФ.

Литература

1. Ахмедзянов А.М. Информационное “запирание” в технологии проектирования авиационных ГТД // Изв. вузов. – Авиационная техника. – 2002. – №1. – С. 35-38.
2. Ахмедзянов А.М., Алексеев Ю.С., Гумеров Х.С. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение. – 2000. – 454 с.
3. Ахмедзянов А.М., Кривошеев И.А. Информационная технология разработки авиационных двигателей: состояние и перспективы // Изв. вузов. – Авиационная техника. – 2000. – №2. – С. 70-73.
4. Харитонов В.Ф. Методы, используемые при моделировании камер сгорания ГТД // Изв. вузов. – Авиационная техника. – 2001. – №3. – С. 23-25.
5. Mongia Н.С. Combustion modeling in design process. Application and future development. // AIAA Paper. – 1994. – №94-0466.
6. Мингазов Б.Г. Внутрикамерные процессы и автоматизированная доводка камер сгорания ГТД / Казань: Изд. КГТУ. – 2000. – 168 с.
7. Коновалова А.В., Кожин Д.Г., Харитонов В.Ф. Система газодинамического анализа камер сгорания // Изв. вузов. – Авиационная техника. – 2000. – №4. – С. 58-60.
8. Кислов О.В., Коткин В.В., Логинов В.В. Методика расчета трехмерных вязких потоков // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1988, – №12. – С. 139-142.

УДК 621.438.34

Логінов В.В., Рубльов В.І.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ У ФОРСАЖНІЙ КАМЕРІ ЗГОРЯННЯ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

В даній статті наведено результати моделювання газодинамічної течії потоків у форсажній камері згоряння ТРДДФ. Показано, що запропонований комплекс програм може бути використаний для проведення чисельних досліджень течії потоків у форсажній камері згоряння на етапах попереднього проектування.