

рованную сборку, состоящую из размероста- бильной несущей конструкции платформы (РСНКП) и двух конструкций объективов (РСНКОБ). РСНКП представляет собой кар- кас с силовым набором из углепластиковых профилей сформованными закладными эле- ментами.

Основными характеристиками РСНК являются допустимые отклонения зеркал и элементов служебных систем ОЭЖ.

Для повышения точности измерения и сокращения трудоёмкости испытаний пред- лагается применить метод "обратной угло- вой засечки".

Разработанная методика контроля со- хранности положений посадочных мест с использованием высокоточного измеритель- ного прибора (лазерного трекера) позволяет сократить трудоёмкость испытаний в 3–4 раза.

УДК 621.43

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВА ЗА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ СТАБИЛИЗАТОРОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВПРЫСКА ТОПЛИВА

©2018 В.В. Третьяков В.В., А.А. Свириденков

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И.Баранова, г. Москва

## A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FUEL DISTRIBUTION BEHIND OF GAS-DYNAMIC FLAME HOLDER AT VARIOUS INJECTION WAYS

Tretyakov V.V., Sviridenkov A.A. (Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, Moscow, Russian Federation)

*The paper deals with the issues of liquid fuel spraying and distribution in a swirling flow behind the front gas-dynamic flame holder intended for use in GTE combustion chambers. The problem of comparison of the liquid fuel droplet distribution in the Wake of the flame holder during its injection from the side and end surfaces of the device under consideration.*

Объектом проведённого исследования является газодинамический стабилизатор, предназначенный для работы в составе фронтального завихрительного устройства основных камер сгорания ГТД. Идея использо- вания таких стабилизаторов связана с воз- можностью управления рабочим процессом в камерах сгорания путём регулирования размеров зон обратных токов (ЗОТ) за ста- билизатором в зависимости от режима рабо- ты камеры. Это регулирование осуществ- ляется поперечной подачей воздушных струй в основной закрученный поток. Предвари- тельные эксперименты и расчёты показали, что регулирование размеров ЗОТ может быть осуществлено лишь в определённых диапазонах управляющих параметров тече- ния: закрутки основного воздушного потока  $Sw = 0,4 \div 0,6$  и интенсивности вдува попе- речных воздушных струй  $Uj = 0,4 \div 1,6$  (см. [1]), где  $Sw = U\varphi/U_0$ ,  $Uj = Ur/U_0$ ;  $U\varphi$  – вра- щательная компонента скорости воздуха на выходе из осевого завихрителя,  $Ur$  – ради-

альная компонента скорости вдува воздуш- ной струи,  $U_0$  – среднерасходная скорость течения через завихритель. В данной работе ставится задача сравнения распределений капельножидкого топлива в следе за стаби- лизатором при его впрыске с боковой и тор- цевой поверхностей рассматриваемого уст- ройства.

Исследование носит расчётный харак- тер и включает в себя определение структу- ры течения воздуха, нахождение configura- ций вытекающих в воздушный поток жидких струй и плёнок, расчёт характеристик их распада на капли и расчёты распределения концентраций капель в следе за стабилиза- тором. Данный этап исследований посвящён разработке методики расчётов, учитываю- щей нестационарный характер течения воз- духа. Этот учёт производится следующим образом. Предполагается, что нестационар- ное движение воздушного потока связано с его неустойчивостью, приводящей при чис- ленных расчётах к полям скоростей, имею-

щих хаотичный характер. Считается, что эти хаотичные поля, полученные при расчётах на различных этапах итерационного процесса, представляют собой реальные «мгновенные» распределения скоростей. Осреднение по реализациям совокупности полученных распределений скорости даёт в результате некоторое осреднённое поле течения. Результат расчёта концентраций топлива в этом осреднённом поле течения представляет собой стационарное распределение концентраций. Учёт влияния нестационарности воздушного потока на движение топливных капель производится следующим образом. Вначале, как и в стационарном случае, рассчитываются «мгновенные» поля скоростей. В каждом из этих мгновенных полей рассчитываются траектории движения капель и определяются поля концентраций, условно называемые «мгновенными». На последнем этапе полученная совокупность мгновенных полей концентраций осредняется по реализациям и принимается в качестве осреднённого нестационарного поля концентраций.

В данной работе рассматривается формирование факелов распыливания и распределение концентраций капельно-жидкого топлива в следе за газодинамическим стабилизатором при подаче топлива с его боковой и торцевой поверхностей. Рассматривается случай истечения нестационарного закрученного воздушного потока в открытое пространство. Отметим, что с боковой поверхности стабилизатора топливо подаётся в виде отдельных струй, а с торцевой поверхности – из центробежной форсунки в виде топливной плёнки. На данном этапе предполагается одинаковость дисперсных характеристик обоих факелов распыливания, т.е. среднезауэтеровских диаметров капель и их распределений по размерам. Другим упрощением использованной методики является предположение о том, что при расчёте движения и распада струй и плёнок можно пренебречь силами поверхностного натяжения жидкости по сравнению с аэродинамическими силами. При этом процесс распада на капли с приемлемой для практики точностью описывается упрощённой моделью [2]. Вследствие этого принимается, что начальное распределение капель по размерам подчиняется закону Розина-Раммлера с показателем  $n = 3$ :  $\Omega = 1 -$

$\exp[-(D/D_m)^n]$ , а распределение капель в окружном (по углу  $\varphi$ ) и продольном (по углу  $\psi$ ) направлениях – нормальному закону. Здесь  $\Omega$  – относительная доля капель, диаметр которых меньше  $D$ ,  $D_m$  – среднемедианный диаметр капель. Начальные скорости вылета капель  $V_0$  задаются модулем скорости  $V_0$  и значениями продольного и окружного углов:  $\psi_k$  и  $\varphi_k$ . Начальные координаты вылета капель определяются из решения задач о движении и распаде топливных струй и плёнок, углы вылета – по экспериментальным данным распыливания в открытом пространстве.

Ниже приводятся результаты расчётов для режима  $Sw = 0,6$  и  $Vj = 0,6$  при расходе впрыскиваемого топлива  $Gt = 2,5$  г/с. Топливо – керосин ТС-1. Расчёты показали, что в рассматриваемом случае распад струи в сносщем воздушном потоке происходит на расстояниях  $3 \div 4$  мм; при этом угол наклона струи к оси стабилизатора составляет около  $\psi_m \approx 30^\circ$ , а среднемедианный диаметр образующихся капель  $D_m \approx 50$  мкм. Расход топлива принят равным  $Gt = 2,5$  г/с.

Сравнение результатов расчётов, выполненных по стационарной и нестационарной моделям, показывает, что полученные распределения концентраций даже качественно различаются. Так, стационарные расчёты указывают на существенную сепарацию капель на внешнюю границу течения, в то же время при нестационарном подходе топливо концентрируется в центральной области, причём в обоих рассматриваемых вариантах подачи топлива картины распределения топлива оказываются похожими. Так, основная часть капельножидкого топлива находится в пределах 40 мм радиального расстояния от оси стабилизатора и 50 мм от его торца вдоль продольной оси. Объёмная концентрация капель на этих расстояниях составляет приблизительно  $Cv = 3 \cdot 10^{-3}$ . Следовательно в первом приближении можно считать, что оба варианта подачи топлива (с боковой и торцевой поверхностей стабилизатора) в рассматриваемом режиме с точки зрения распределения топлива являются эквивалентными.

Таким образом, решена задача о распределении капельножидкого топлива в следе за газодинамическим стабилизатором для

режима течения  $Sw = 0,6$  и  $Vj = 0,6$  при подаче топлива с его боковой и торцевой поверхностей.

Показано, что расчёты, выполненные по стационарной модели, качественно отличаются от нестационарных.

В первом приближении оба варианта подачи топлива (с боковой и торцевой поверхностей стабилизатора) с точки зрения распределения топлива являются эквивалентными.

#### Библиографический список

1. В.В. Третьяков, А.А. Свириденков, П.Д. Токталиев. Распыливание топлива и

смесеобразование в нестационарных закрученных течениях за газодинамическим стабилизатором. // Изв. Вузов. Авиационная техника. 2017. №3, с. 106-112.

2. В.В. Третьяков, А.А. Свириденков. Нестационарный теплообмен и распределение топлива в течениях за газодинамическим стабилизатором. // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т.15. № 4. С.162 – 173.

Работа поддержана РФФИ. Проект № 17-01-00213

УДК 621.43

## РАСЧЁТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕЧЕНИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТОПЛИВА В СЛЕДЕ ЗА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ СТАБИЛИЗАТОРОМ

©2018 А.А. Свириденков, В.В. Третьяков

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова», г. Москва

## THE CALCULATION OF THE UNSTEADY FLOW AND FUEL DISTRIBUTION BEHIND GAS-DYNAMIC FLAME HOLDER

Sviridenkov A.A., Tretyakov V.V. (Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, Moscow, Russian Federation)

*The object of the study is a gas-dynamic flame holder, designed to work in the front swirling device of the combustion chambers of GTE. The aim is the development of methodology for calculating distribution drip of liquid fuel in the trace for the considered flame holder taking into account the unsteady nature of the air flow. A comparison of the calculation results performed on stationary and non-stationary models is carried out. It is shown that the obtained concentration distributions in the two cases are qualitatively different.*

Идея использования газодинамических стабилизаторов, предназначенных для работы в составе фронтового завихрительного устройства основных камер сгорания ГТД, связана с возможностью управления рабочим процессом в камерах сгорания путём регулирования размеров зон обратных токов (ЗОТ) за стабилизатором в зависимости от режима работы камеры. Это регулирование осуществляется поперечной подачей воздушных струй в основной закрученный поток. Основными варьируемыми параметрами задачи при этом являются закрутка основного воздушного потока  $Sw = U_{\phi} / U_0$  и интенсивность вдува поперечных воздушных струй  $Vj = Ur / U_0$ , где  $U_0$  – среднерасходная скорость течения через завихритель,  $Ur$  – скорость воздушных струй в канале подачи,

$U_{\phi}$  – вращательная компонента скорости на входе в рабочий объём модели.

Целью данного расчётного исследования является нахождение распределения капельножидкого топлива в следе за рассматриваемым стабилизатором. Для нахождения искомым характеристик смесеобразования проводятся расчёты течения воздуха, процессов распространения и распада в воздушном потоке топливных струй и плёнок и смешения образующихся топливных капель с воздухом. Рассматривается истечение воздуха из завихрителя в открытое пространство, расчеты гидродинамики течения проводится по методике работы [1]. Конфигурация жидкой струи, впрыскиваемой в сносящий закрученный поток, рассчитывается в предположении, что форма поперечного сечения струи остаётся постоянной вдоль направле-