

## ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СКАЧКА УПЛОТНЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ТЯГИ ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ ТЯГИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КОРМОВОГО ДИФФУЗОРА

©2018 А.Д. Максимов, Т.А. Чубенко, В.М. Зубанов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### INFLUENCE POSITIONS OF SHOCK WAVE ON THE VALUE OF THRUST LIQUID ROCKET ENGINE LOW-THRUST AT USE CYLINDRICAL AFT DIFFUSER

Maximov A.D., Chubenko T.A., Zubanov W.M. (Samara National Research University,  
Samara, Russian Federation)

*The article presents the numerical results of workflows in low-thrust liquid rocket engine when tested with a cylindrical diffuser. The graphs of the thrust dependence on the position of shock wave were obtained. The recommendations on the magnitude of the pressure at the exit from the cylindrical diffuser when performing high-altitude fire tests of the low-thrust liquid rocket engine were developed for correctly determining the thrust of the engine.*

Перед принятием ракетного двигателя (РД) к работе необходимо проводить испытания для определения и подтверждения его характеристик и показателей надёжности. Один из видов проведения испытания РД – высотные испытания, где в свою очередь одним из главных элементов является кормовой диффузор.

Применение кормового диффузора расширяет возможности вакуумной системы стенда для обеспечения высотных огневых испытаний жидкостного ракетного двигателя малой тяги (ЖРДМТ). При одинаковых условиях эксперимента вакуумные системы с кормовым диффузором позволяют значительно увеличить длительность испытаний ЖРДМТ на стенде с обеспечением безотрывного течения продуктов сгорания в соплах, эффективно использовать стенд для изучения воздействий различных факторов на работоспособность двигателя.

Цель исследования - определение значения давления на выходе из цилиндрического кормового диффузора (ЦКД) для обеспечения режима безотрывного течения продуктов сгорания в жидкостном ракетном двигателе и определение влияния положения скачка уплотнения на величину тяги.

Параметры исследуемого двигателя:  $p_k=0,68$  МПа,  $\dot{m}=22$  г/с,  $P=50$  Н,  $I_y=3300$  м/с,  $\alpha_{ок}=0,85$ , компоненты топлива: несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и азотный тетраоксид (АТ).

Для исследования положения скачка уплотнения были построены в программе

NX 7.5 геометрии камеры РД с диаметром на выходе 61 мм, ЦКД диаметром 66 мм, 81 мм и 96 мм, для которых имелись экспериментальные данные. Расстояние между выходом из сопла и входом в диффузор принято равным нулю, граница между выходным диаметром двигателя и входным диффузора моделировалась в виде стенки (весь расход рабочего тела поступал в диффузор). Также в первой модели для упрощения расчёта задачи не моделировалась область зазора между диффузором и камерой, в которую мог втекать газ, поскольку с учётом толщины буртика сопла зазор был менее 1 мм, но она была смоделирована для последующих моделей.

Механизм горения НДМГ и АТ является очень сложным, поэтому моделирование проводилось в замороженном течении, а в качестве рабочего тела использовались продукты сгорания топлива, компонентный состав которых был определён с помощью термодинамического расчёта в программе TERRA [3]. Мольные концентрации были переведены в массовые, при этом пренебрегли ионами, электронами и веществами, массовая доля которых составила менее  $10^{-10}$ .

Расчёт течения рабочего тела проводился в программе ANSYS CFX с замороженным течением в стационарной постановке по методике [2]. Сходимость решения оценивалось по математическим и интегральным параметрам, которые были постоянны для установившегося решения. Было проведено исследование положения скачка

уплотнения в ракетном двигателе малой тяги при использовании цилиндрического кормового диффузора при изменении давления на выходе из диффузора. Получены картины распределения числа Маха по камере РД и ЦКД, графики зависимости величины тяги от положения скачка уплотнения. Даны рекомендации по проведению высотных огневых испытания ЖРДМТ с целью правильного определения величины тяги двигателя.

#### Библиографический список

1. Гальперин Р.Н., Гуляев Ю.И., Ивашин Ю.С., Нигодюк В.Е., Рыжков В.В., Сулинов А.В. Исследование эффективности применения кормовых диффузоров в вакуумных системах стендов для высотных огневых испытаний жидкостных ракетных двигателей ма-

лой тяги // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т. 15, № 4. С. 20-32.

2. Егорычев, В.С. Моделирование внутрикамерного рабочего процесса РДМТ на газообразных кислороде и водороде в ANSYS CFX: учеб. пособие / В.С. Егорычев, Л.С. Шаблей, В.М. Зубанов.– Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2016. – 136 с.

3. Трусов, Б.Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // III Международный симпозиум «Горение и плазмохимия». 24 – 26 августа 2005. Алматы, Казахстан. – Алматы: Казак университеті, 2005. – С. 52 – 57.

УДК 539.621:004.942

## КОНТАКТНАЯ ПРИСПОСОЛЯЕМОСТЬ В СТЫКОВОМ СОЕДИНЕНИИ БАНДАЖНЫХ ПОЛОК РОТОРА ГТД

©2018 М.Ю. Александрова

Самарский государственный технический университет

## SHAKEDOWN IN THE CONTACT ROTOR SHROUDS OF BLADE WHEELS FROM THE GAS TURBINE ENGINES

Alexandrova M. Yu. (Samara State Technical University, Samara, Russian Federation)

*The procedure for reducing fretting in the joint junction of the shrouds was tested on the model of the second stage of the rotor with forces and inertial loads corresponding to the operating conditions. On the basis of numerical analysis, recommendations were made for applying the microrelief on one of the surfaces of the connection of the shrouds, which provides contact shakedown in the joint.*

Критическими с точки зрения эксплуатационных характеристик ротора являются стыковые соединения бандажных полок лопаток. Натяг обеспечивает неподвижное соединение бандажных полок между собой, жёсткость и динамические характеристики конструкции. Определение мест локализации скольжения контакта и принятие мер по снижению интенсивности фреттинга в стыке бандажных полок ротора газогенератора является актуальной проблемой.

Рассматривается снижение фреттинга на стыковом соединении бандажных полок лопаток 2 ступени рабочего колеса ротора универсального газогенератора. Метод снижения фреттинга на основе теории контактной приспособляемости позволяет, исполь-

зуя модель стыкового соединения бандажных полок, установить характер контактного взаимодействия в зависимости от величин постоянно действующих усилий от предварительного натяга и от величин циклических прикладываемых – вибрационных внешних нагрузок, определить локализацию зон скольжения на контактных поверхностях. Отслеживая изменение зон скольжения в контакте, можно определить условия безопасного контакта, который обеспечивает надёжное сцепление стыка за счёт процесса контактной приспособляемости.

Методика снижения фреттинга в стыковом соединении бандажных полок отработывалась на модели второй ступени ротора с силами и инерционными нагрузками, соот-