

УДК 532.556.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СКАЧКА УПЛОТНЕНИЯ В РАКЕТНОМ ДВИГАТЕЛЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КОРМОВОГО ДИФфуЗОРА

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

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Перед принятием ракетного двигателя (РД) к работе необходимо проводить испытания для определения и подтверждения их характеристик и показателей надежности. 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 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 - подобрать значение давления на выходе из кормового диффузора для обеспечения режима безотрывного течения продуктов сгорания в сопле испытуемой модели ЖРДМТ. 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 НДМГ и АТ.

Для исследования положения скачка уплотнения была построена в программе NX 7.5 геометрия камеры ракетного двигателя с диаметром на выходе 61 мм и цилиндрического кормового диффузора диаметром 66 мм. 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). Для уменьшения времени расчёта использовалась 20-градусная секторная модель камеры. Создание сеточной модели выполнялось в программе ANSYS Meshing. Сетка состояла из 0.5 млн. элементов, параметр скошенности ячеек *Skewness* был более 0,94.

Для определения массового соотношения компонентов в камере сгорания был проведен термодинамический расчёт 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 (рис. 1 и 2). Было проведено исследование положения скачка уплотнения в ракетном двигателе малой тяги при использовании цилиндрического кормового диффузора при изменении давления на выходе из диффузора.

На рисунке 3 показано распределение числа Маха при давлениях на выходе из диффузора 20 и 15 кПа. Зависимость положения скачка уплотнения и измеренная при этом тяга двигателя от давления на выходе из диффузора показана на рисунке 4.

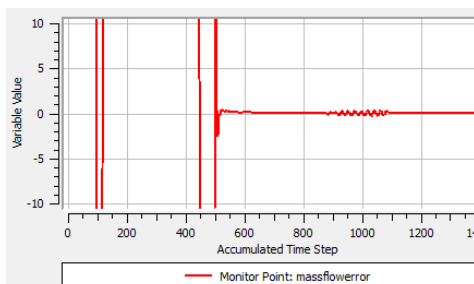


Рис. 1. Монитор погрешности массового расхода в процентах

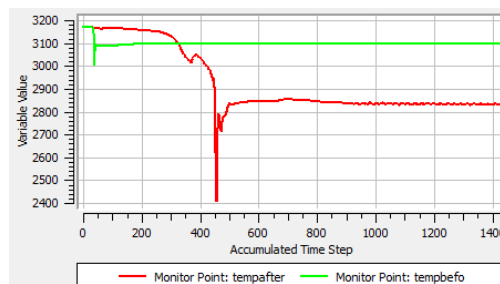
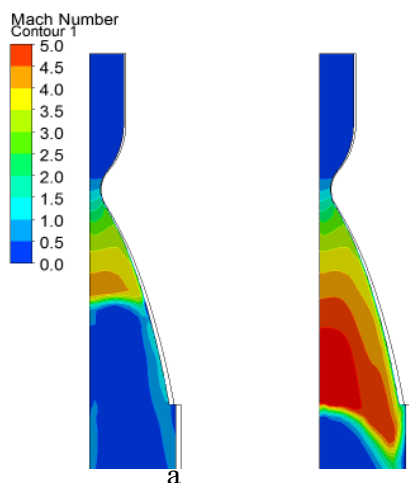


Рис. 2. Монитор статической температуры в областях до критики и после критики



б

Рис. 3. Распределение числа Маха при давлении на выходе из диффузора: а – 20 кПа, б – 15 кПа

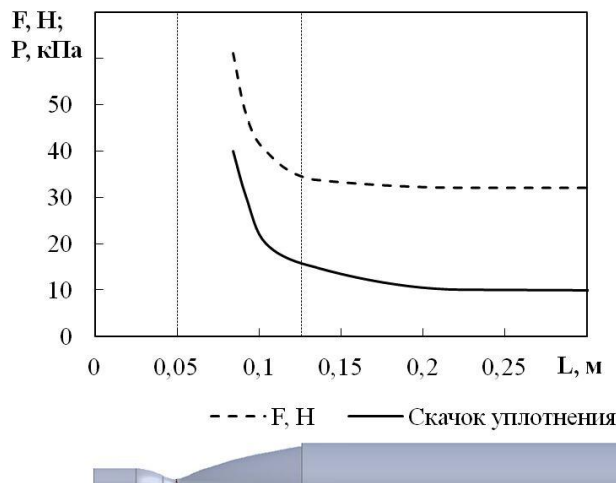


Рис. 4. Положения скачка уплотнения и измеренная тяга двигателя в зависимости от давления на выходе диффузора

Из рисунка 4 видно, что значение давления на выходе из диффузора, при котором скачок уплотнения находился на срезе сопла камеры, составил 15,5 кПа. Изменение значения уровня тяги двигателя остановилось при длине диффузора 74 мм (положение 0,2 м на рис. 4), и составило 7,8%. Таким образом, для правильного определения уровня тяги двигателя в нашем случае необходима длина диффузора более 1 калибра выходного сечения сопла.

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 малой 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. Шаблий, В. М. Зубанов.– Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2016. – 136 с.: ил.
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 университети, 2005. – С. 52 – 57.