

УДК 519.95: 629.7

А.С. Жуков, Б.В. Борисов, С.С. Бондарчук

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ КОРПУСА РДТТ С ВКЛАДНЫМ КОМБИНИРОВАННЫМ ЗАРЯДОМ

Рассматривается задача о газодинамической защите корпуса РДТТ с вкладным многошашечным зарядом последовательного снаряжения. Для этого головную шашку выполняют в виде составного коаксиального цилиндра, по внешнему радиусу которого размещается топливная композиция с существенно более низкой температурой горения. Продукты сгорания низкотемпературного топлива создают газовую завесу вдоль внутренней поверхности камеры сгорания, тем самым обеспечивая ее тепловую защиту. Устойчивому движению газовой завесы в области сопловой шашки способствует конструкция межшашечной диафрагмы. Приводятся результаты численного анализа эффективности выбранного способа тепловой защиты корпуса модельного двигателя в рамках двухмерной газодинамической постановки.

Ключевые слова: *ракетный двигатель на твердом топливе (РДТТ), тепловая защита, газодинамика течения.*

Вкладные многошашечные заряды нашли широкое применение в твердотопливных ракетных двигателях (РДТТ) различного класса благодаря своей простоте, технологическим и эксплуатационным параметрам [1, 2]. Одним из недостатков вкладных зарядов является оголенность внутренней поверхности корпуса двигателя для теплового воздействия продуктов сгорания твердого ракетного топлива. Это существенно ограничивает прямое использование перспективных топливных составов с высокими температурами горения. Одним из способов снижения тепловых нагрузок на корпус является конструкция с комбинированной головной шашкой, наружная часть которой состоит из слоя твердого ракетного топлива с низкой температурой горения (рис. 1).

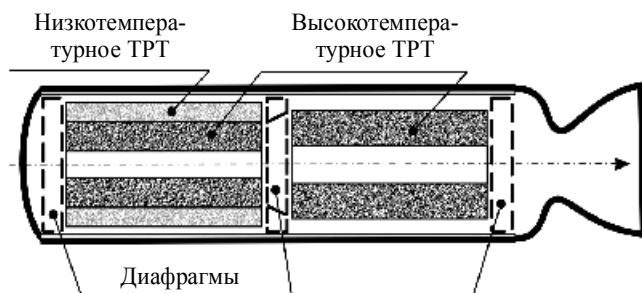


Рис. 1. Схема РДТТ с вкладным комбинированным зарядом

Подобная конструкция заряда обеспечивает структуру течения, при которой низкотемпературные продукты сгорания формируют газовую завесу, ограждающую стенку камеры сгорания от теплового воздействия продуктов сгорания топливного состава с существенно более высокой температурой горения и, соответ-

ственно, высокой температурой потока. Для более эффективной организации газовой завесы предполагается профилирование раскрепляющих межшашечных диафрагм с целью направления потока низкотемпературных продуктов сгорания под некоторым углом к корпусу двигателя.

Для оценки эффективности данного способа тепловой защиты корпуса проведено математическое моделирование внутрикамерных процессов в модельном РДТТ с вкладным комбинированным зарядом. При моделировании учитывались основные процессы, сопровождающие течение многокомпонентной смеси продуктов сгорания по тракту двигателя: нестационарное и эрозионное горение топлива, трение и тепломассообмен с элементами конструкции [3].

В процессе численного моделирования анализировались стационарные распределения газодинамических величин для различных геометрических параметров сопловой топливной шашки, соответствующих различной степени выгорания заряда. Использовались модельные топливные композиции со следующими значениями основных параметров продуктов сгорания: состав для «горячего газа» имел температуру горения $T_p = 3900$ К, газовую постоянную $R = 220$ Дж/(кг·К), показатель адиабаты $k = 1,122$. Топливо «холодного газа» характеризовалось параметрами $T_p = 2700$ К, $R = 330$ Дж/(кг·К), $k = 1,226$.

Рис. 2 иллюстрирует процесс формирования низкотемпературной зоны на входе в сопловую шашку для двух моментов выгорания заряда – в начале работы и при уменьшении в результате выгорания толщины стенки заряда на 80 %. Справа указаны цветовые соответствия областей значениям температуры потока T . Массовая доля продуктов сгорания высокотемпературного топлива в общей массе продуктов сгорания полностью соответствует температуре потока, приведенной на рис. 2.

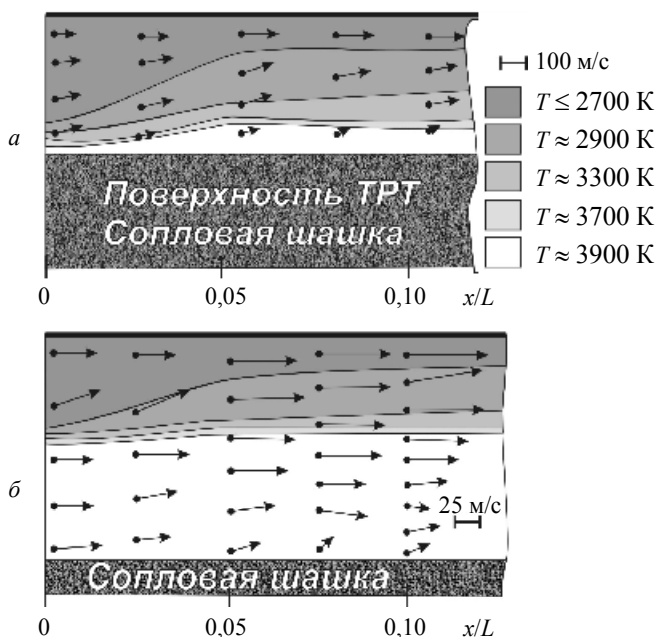


Рис. 2. Формирования низкотемпературной зоны на входе в сопловую шашку

Увеличение проходных сечений центрального канала и кольцевой области в результате выгорания заряда снижает уровень скоростей потока, и, соответственно уменьшает эрозионную составляющую скорости горения топлива и перепад давления (на 13 %) вдоль оси двигателя.

Уменьшение скорости оттока продуктов сгорания от поверхности топлива за счет снижения скорости горения для геометрии частично прогоревшего заряда (рис. 2, *b*) приводит к тому, что высокотемпературная зона расширяется, а ее граница становится практически параллельной поверхности топлива на расстояниях $x/L > 0,1$ (L – длина сопловой шашки). Характер поведения линии границы низкотемпературной газовой смеси ($T \approx 3300$ К) практически не изменился – течение определяется профилем межшашечных раскрепляющих диафрагм.

Полученные в расчетах значения радиальной составляющей скорости потока в слое, непосредственно примыкающем к поверхности горящего топлива в области кольцевого зазора и для обоих вариантов составили в $(0,9 \div 1,3)$ м/с; средняя величина радиальной скорости по сечению находится в пределах $(2,5 \div 3,6)$ м/с и определяет конвективное перемешивание разнотемпературных потоков. Начальный участок кольцевого зазора с существенно неравномерными по радиусу профилями газодинамических параметров составляет $\approx 5\%$ от длины сопловой шашки ($x/L \approx 0,05$).

Результаты расчета течения в области соплового объема представлены на рис. 3. Для начальной геометрии заряда (нулевое выгорание) отмечается обширная зона рециркуляционного течения (рис. 3, *a*), обусловленная наличием относительно широкого торца топливной шашки.

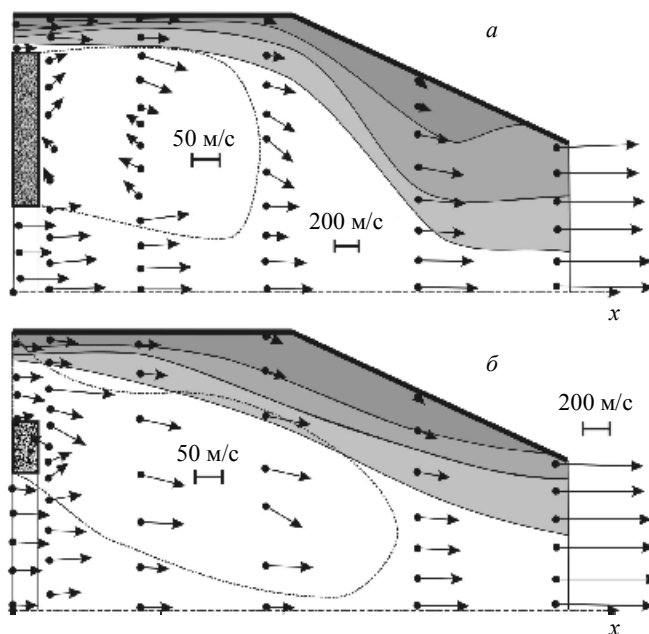


Рис. 3. Поле течения в области заднего торца соплового полузаряда (цветовая шкала соответствует рис. 2)

Наличие конфузора предсопловой области оказывает существенное влияние на структуру потока и параметры истечения продуктов сгорания из области заря-

да. Непосредственно в начале конического сужения торможение потока образует зону повышенного давления, которая разворачивает вектор скорости в сторону критического сечения сопла (рис. 3, а).

В области повышенного давления конического участка по контуру камеры и далее к соплу «холодный» газовый поток образует защитный слой из низкотемпературных продуктов сгорания. Существенное влияние на структуру течения также оказывает зона рециркуляционного движения в окрестности торца топливной пашки, образующаяся вследствие обтекания его двумя высокоскоростными потоками продуктов сгорания из канала и кольцевого зазора. Скачок площади проходного сечения на торце обуславливает формирование зоны разрежения, которая оказывает собственное влияние на вектор скорости газа.

Анализ результатов численного моделирования показывает эффективность использования комбинированных вкладных зарядов, когда тепловая защита корпуса от теплового воздействия перспективных топливных составов с высокими температурами горения частично обеспечивается газовой завесой продуктов сгорания низкотемпературного состава. Оценка тепловых нагрузок показывают возможность реального снижения теплового потока в стенку камеры сгорания для комбинированного вкладного заряда на 65 % в начальные моменты времени работы двигателя и до 35 % ко времени завершения горения низкотемпературного состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерохин Б.Т. Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ. М.: Машиностроение, 1991. 560 с.
2. Алиев А.М., Липанов А.М. Проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1995. 400 с.
3. Бондарчук С.С., Борисов Б.В., Сабырбаев А.Д. Эффективный метод расчета газодинамически напряженных течений РДТТ с вкладными зарядами // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: доклады конференции. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 31–32.

Статья поступила 30.06.2011 г.

Zhukov A.S., Borisov B.V., Bondarchuk S.S. ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF GAS DYNAMIC PROTECTION OF THE SPRM CASING BODY WITH AN INTERNAL-EXTERNAL BURNING COMBINED CHARGE. The problem of gas dynamic protection of the body of a solid propellant rocket engine with a set-in sequential multigrain charge is considered. For this purpose, the main grain is made as a coaxial cylinder with an outer cylinder made of fuel composition with significantly lower burning temperature. Low-temperature fuel combustion products form a gas-screen along the inner surface of combustion chamber serving as a thermal protection. The inter-grain retainer pad structure provides steady motion of the gas-screen. Results of numerical analysis of efficiency of the selected method of thermal protection of the model engine body for the 2D gas dynamic scenario are given.

Keywords: solid propellant rocket motor, thermal protection, gas dynamics of flow

ZHUKOV Aleksandr Stepanovich (Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences)

E-mail: asz57@mail.ru

BORISOV Boris Vladimirovich (Tomsk Polytechnic University)

E-mail: tsbbbv@yandex.ru, bvborisov@tpu.ru

BONDARCHUK Sergey Sergeevich (Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of Russian Academy of Science)

E-mail: isbi@mail.ru