

О ВОЗМОЖНОСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В КОСМИЧЕСКОЙ РАКЕТЕ-НОСИТЕЛЕ

А.Л. Карташев, И.С. Шулев

Характерной особенностью гибридного ракетного двигателя (ГРД) является использование в нем горючего и окислителя, находящихся в различных агрегатных состояниях (рис. 1), т. е. топливо двигателя можно назвать гибридным, откуда и произошел термин ГРД. Конструкция ГРД предполагает наличие твердого заряда одного компонента и емкости с жидким (или газообразным) вторым компонентом. В зависимости от того, какой из компонентов топлива является твердым, а какой жидким, разли-

чают две основные схемы ГРД – прямую и обратную.

Прямая схема (наиболее распространенная) подразумевает использование твердого горючего и жидкого окислителя, а обратная – твердого окислителя и жидкого горючего.

Наличие твердого и жидкого компонентов топлива обуславливает специфические особенности ГРД, в частности характерной особенностью процесса горения является зависимость скорости газификации U_{Γ} твердого горючего в основном от массовой плотности тока ρw продуктов сгорания (ПС), омывающих поверхность горения ($U_{\Gamma} = f(\rho w)$). Это вызывает определенные трудности при выборе и проектировании формы заряда твердого горючего и организации оптимального рабочего процесса в ГРД с точки зрения обеспечения необходимых тяговых, энергетических и массовых характеристик двигательной установки [1].

Для достижения максимальной эффективности работы гибридного ракетного двигателя (ГРД), требуется поддерживать на постоянном уровне такие параметры, как:

- 1) массовый расход жидкого компонента топлива $G_{ж}$;
- 2) давление в камере $p_{кс}$;
- 3) соотношение компонентов топлива на выходе из канала заряда K_2 [2].

Известно, что U_{Γ} является немонотонной функцией координаты как при разгаре поперечного сечения, так и по длине канала L . Тип заряда, который может обеспечить постоянство основных параметров и как следствие максимальную эффективность на всем протяжении времени работы двигательной установки, является «вагонное колесо» (рис. 2), где каждое сечение представляется правильным треугольником, разгар которого происходит параллельными слоями, но с различными локальными скоростями газификации U_{Γ} . Помимо этого, «вагонное колесо» обладает развитой поверхностью газификации, которая обеспечит требуемый газоприток горючего в каналы заряда.

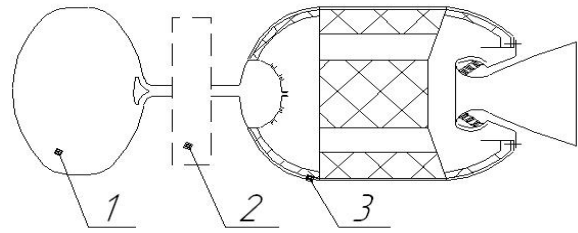


Рис. 1. Схема ГРД: 1 – бак с жидким компонентом; 2 – система подачи жидкого компонента в камеру сгорания; 3 – камера сгорания с твердым компонентом топлива

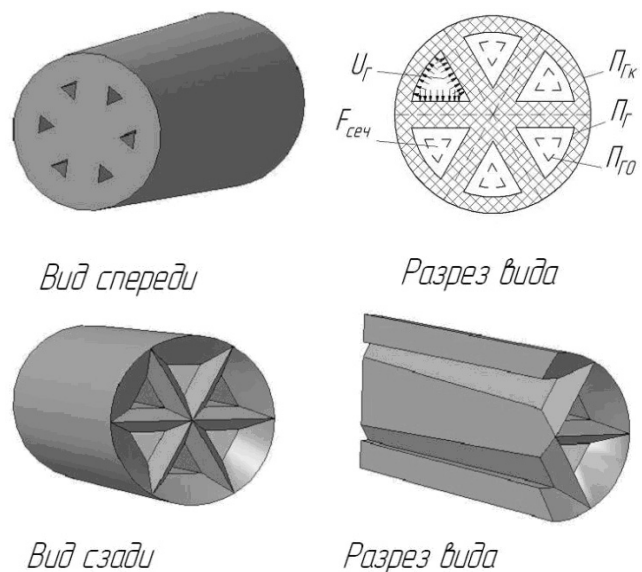


Рис. 2. Форма заряда твердого компонента топлива типа «вагонное колесо»

Проектирование заряда проходит в несколько этапов. Сначала подбирается начальная длина канала L_0 и начальная площадь поперечного сечения канала $F_{\text{сеч}0}$, которая должна быть минимальна и создавать устойчивое горение топлива, а суммарный периметр газификации ($\Pi_{\text{Г}\Sigma} = \Pi_{\text{Г}} L$) обеспечивать требуемый газоприток на начальном этапе работы двигательной установки.

С разгаром поперечного сечения канала, плотность тока ПС ρw падает, что в свою очередь приводит к изменению скорости газификации $U_{\text{Г}}$. Помимо этого скорость газификации $U_{\text{Г}}$ имеет локальную зависимость по длине канала L в каждый момент времени.

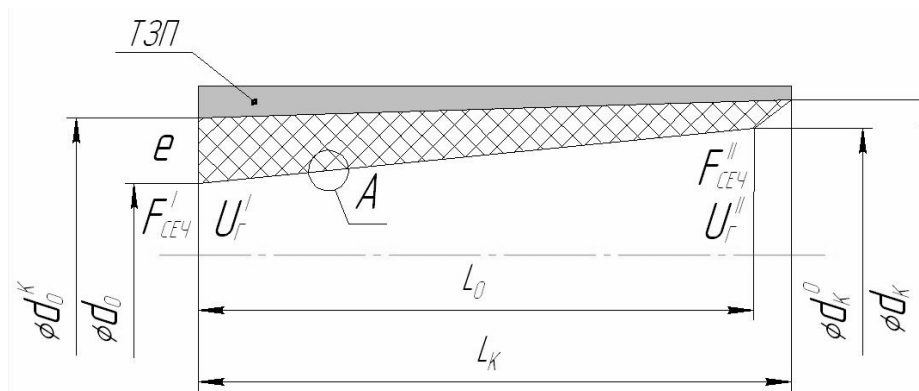


Рис. 3. Профиль канала: e – свод канала; ТЗП – теплозащитные материалы

Для того чтобы скорость газификации была одинаковой по длине канала в каждый момент времени, изначально канал профилируется определенным образом, исходя из учёта газопритока и зависимости скорости газификации твердого компонента топлива от плотности потока ПС. Постепенное раскрытие канала компенсирует нарастание скорости потока, что в свою очередь влияет на скорость газификации в определенной степени. Это обеспечивает постепенное выгорание всей поверхности параллельными слоями и способствует уменьшению дигрессивных остатков.

Таким образом, расчет состояний формы каналов в каждый момент времени, исходя из экспериментальных зависимостей скорости газификации $U_{\text{Г}}$ от плотности тока ρw , позволяет подобрать площади поперечных сечений и длину канала, которые меняются с течением времени разгара.

В итоге получается заряд с профилированными каналами и торцами, который обеспечивает высокую эффективность работы двигательной установки в течение всего времени работы двигательной установки, а также способствует уменьшению дигрессивных остатков.

Библиографический список

1. Процессы в гибридных ракетных двигателях / А.М. Губертов, В.В. Мионов, Р.Г. Голлендер и др.; под ред. А.С. Коротеева. – М.: Наука, 2008. – 405 с.
2. Головков, Л.Г. Гибридные ракетные двигатели / Л.Г. Головков. – М.: Воениздат, 1976. – 168 с.