

## ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ

А.Л. Винник, В.А. Дуреев  
(представил д.т.н., проф. И.М. Приходько)

Предложена оценка коэффициента конвективной теплоотдачи с учетом особенности течения продуктов сгорания в предсопловом объеме камеры сгорания ракетного двигателя твердого топлива (РДТТ).

В настоящее время тепловая защита корпусов РДТТ осуществляется, как правило, с использованием различных теплозащитных покрытий (ТЗП). Знание основных зависимостей теплообмена между газом и внутренней поверхностью камеры сгорания необходимо для определения толщины ТЗП, предохраняющего металлическую стенку корпуса РДТТ от нагрева. Если корпус двигателя проектируется из пластмассы, то необходимо заранее оценить, насколько в процессе работы двигателя уменьшается толщина его стенки вследствие абляции [1].

В [1] рассмотрен пример расчета ТЗП (с внешним уносом массы) предсопловой части РДТТ со скрепленным зарядом, имеющим форму звезды. Величина коэффициента конвективной теплоотдачи  $\alpha_{\text{ж}}$  у нижнего основания заряда рассчитывается по эмпирической зависимости Крауссольда

$$\alpha_{\text{ж}} = 0,023 \frac{\lambda}{d} \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,4},$$

где  $d$  - характерный размер, равный в данном случае  $D_{\text{ж}}$ , м;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности, Вт/(мК);  $\text{Pr}$  - критерий Прандтля;  $\text{Re}$  - критерий Рейнольдса, рассчитываемый как

$$\text{Re} = \frac{w D_{\text{ж}} \rho_{\zeta}}{\mu} = \frac{G D_{\text{ж}}}{\mu F_{\text{ж}}},$$

где  $D_{\text{ж}}$  - диаметр камеры сгорания, м;  $G$  - средний расход газа, кг/с;  $F_{\text{ж}}$  - площадь сечения камеры сгорания у нижнего основания заряда, м<sup>2</sup>;  $\mu$  - коэффициент динамической вязкости, Нс/м<sup>2</sup>;  $\rho_{\zeta}$  - плотность газового потока, кг/м<sup>3</sup>.

Следовательно, значение скорости продуктов сгорания  $w$  в данном сечении определено из уравнения неразрывности  $w = \frac{G}{\rho_{\zeta} F_{\text{ж}}}$ .

В [1] также приводится расчет толщины ТЗП у нижнего основания заряда при определенных числовых значениях параметров. В результате

расчета, получившаяся величина коэффициента конвективной теплоотдачи в выбранном сечении меньше величины коэффициента теплоотдачи излучением. Кроме того, при проведении расчета по изложенной методике для одного из существовавших ранее РДТТ в аналогичном сечении получен сходный результат: величина коэффициента конвективной теплоотдачи меньше величины коэффициента теплоотдачи излучением.

Указанные выше результаты не согласуются с данными, изложенными в [1]: "Поверхность днища и камеры омывается беспорядочными вихрями и направленными потоками, движущимися в различных направлениях с относительно высокой скоростью. Основным фактором теплоотдачи остается вынужденная конвекция".

В некоторых источниках приводятся приближенные методы расчета скорости газового потока в данной области. Так в [4] указано, что максимальное значение скорости рециркуляции за уступом (топливным рядом) можно принять равным  $\approx 40\%$  от скорости основного потока.

В [2,3] приводятся данные по скоростям продуктов сгорания в предсопловой зоне РДТТ. В [3] указано, что скорость продуктов сгорания в зоне соплового днища достигает 300 - 350 метров в секунду, а в [2], что скорость потока в предворотнике равна 100 - 500 метров в секунду.

Следовательно, определение скорости газового потока в предсопловом объеме РДТТ из уравнения неразрывности недостаточно корректно, так как данное уравнение справедливо только для одномерного течения газового потока. В связи с этим, необходимо вносить некоторое уточнение в порядок расчета величины коэффициента конвективной теплоотдачи: не определять скорость продуктов сгорания из уравнения неразрывности, а принимать ее равной величинам, указанным в [2-4].

Итак, внося некоторое уточнение в порядок расчета величины коэффициента конвективной теплоотдачи, получим более близкие к реальным значения толщину ТЗП (с внешним уносом массы) у нижнего основания зряда.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов Б.В., Мазинг Г.Ю. Термодинамические и баллистические основы проектирования ракетных двигателей на твердом топливе. – М.: Машиностроение, 1968. – 536 с.
2. Ехорин Б.Т. Теоретические основы проектирования РДТТ. – М.: Машиностроение, 1982. – 206 с.
3. Абугов Д.И., Бобылев В.М. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
4. Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива. – М.: Машиностроение, 1987. – 326 с.

*Поступила в редколлегию 22.02.2001*

---