

УДК 536.24

## **Расчет течения и теплообмена в сверхзвуковом сопле**

**Л.В. Быков**

### **Аннотация**

Работа посвящена расчету газодинамических параметров течения высокотемпературного газа в сверхзвуковом сопле и расчету теплообмена в различных сечениях камеры сгорания и сопла модельного ракетного двигателя. Расчет проводился с использованием программного комплекса ANSYS CFX. Для проверки методики проведено сопоставление результатов расчета с имеющимися экспериментальными данными.

### **Ключевые слова**

конвективный теплообмен; сверхзвуковые турбулентные течения; жидкостные ракетные двигатели; коэффициент теплоотдачи; тепловая защита.

Расчет газодинамических параметров и теплообмена в камере сгорания и сверхзвуковом сопле жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) представляет собой важнейшую задачу, решение которой необходимо при проектировании изделий новой техники.

В данной работе проведена проверка возможности использования программного комплекса ANSYS CFX для решения данной задачи.

В более ранней работе [1] проведены численные исследования различных методов охлаждения камеры сгорания. Данная работа посвящена исследованию конвективного охлаждения.

Для проверки методики использовались данные из экспериментальных исследований, приведенных в работе [2].

При проведении эксперимента проводились измерения полного давления в камере сгорания, температуры газа в камере, давлений в различных сечениях на стенке, а также температуры стенки в различных сечениях.

Полное давление измерялось с помощью трубок Пито. Тепловой поток в стенку определялся с использованием дифференциальных термопар, расположенных в различных сечениях камеры сгорания и сопла.

Для проведения расчета рассмотрена область камеры сгорания и сопла, приведенная на рис. 1.

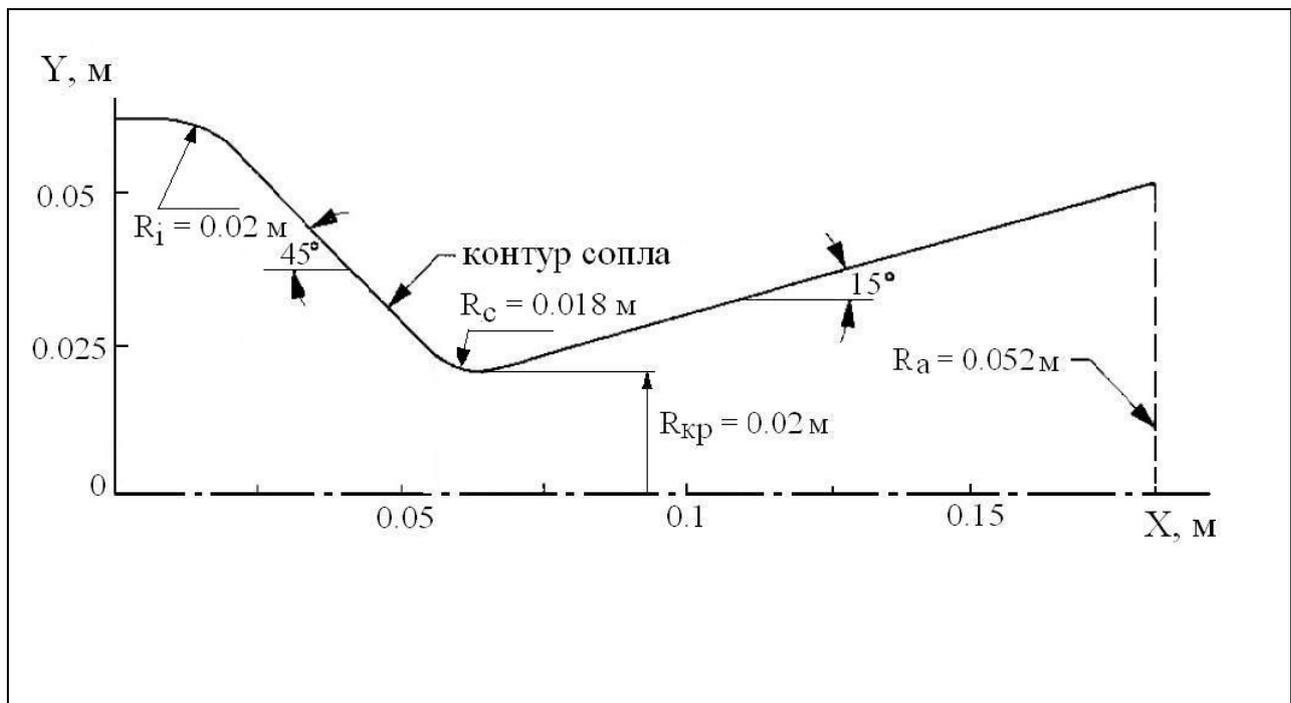


Рис. 1. Схема расчетной области

Для расчета использовалась конечно-элементная сетка HEXA (сектор, составляющий  $20^\circ$ ). Она представлена на рис.2.

Использовались 2 домена: Fluid – Solid, где

Fluid – течение в сопле, Solid – стенка камеры.

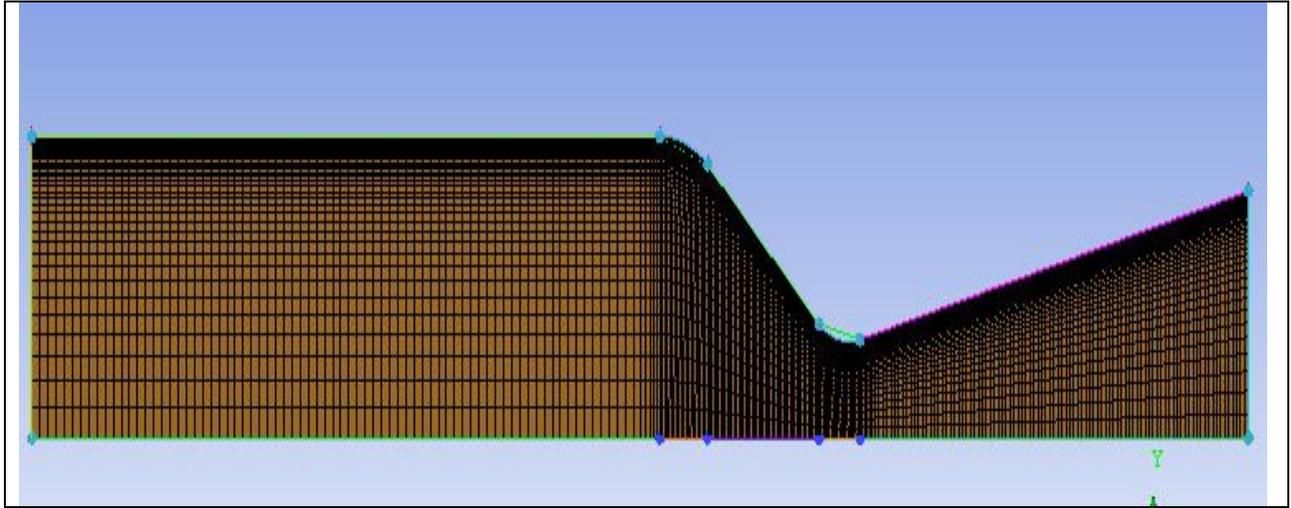


Рис. 2. Расчетная сетка

Расчет проводился для определения коэффициента теплоотдачи вдоль стенки камеры для различных условий эксперимента, получения полей скоростей течения газа и определения относительного давления вдоль стенки камеры сгорания.

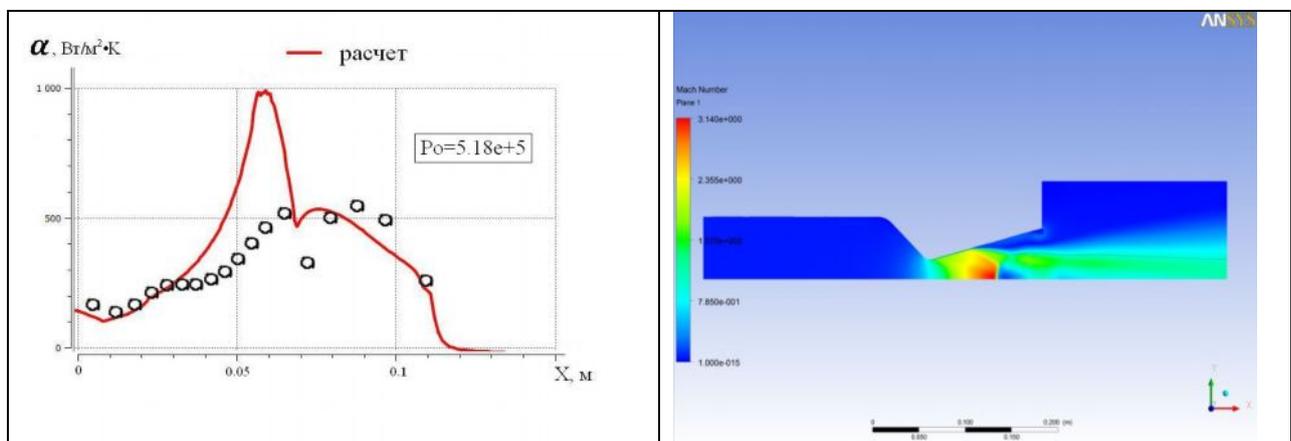
При расчете коэффициента теплоотдачи использовалась формула

$$\alpha = \frac{q_W}{T_0 - T_W} \quad (1.1)$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи,  $q_W$  - плотность теплового потока в стенку,  $T_0$  - температура торможения в камере сгорания,  $T_W$  - температура стенки.

Результаты расчета коэффициентов теплоотдачи и чисел Маха в зависимости от различных условий эксперимента приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

Значения коэффициентов теплоотдачи, полученные экспериментальным путем, обозначены значками.



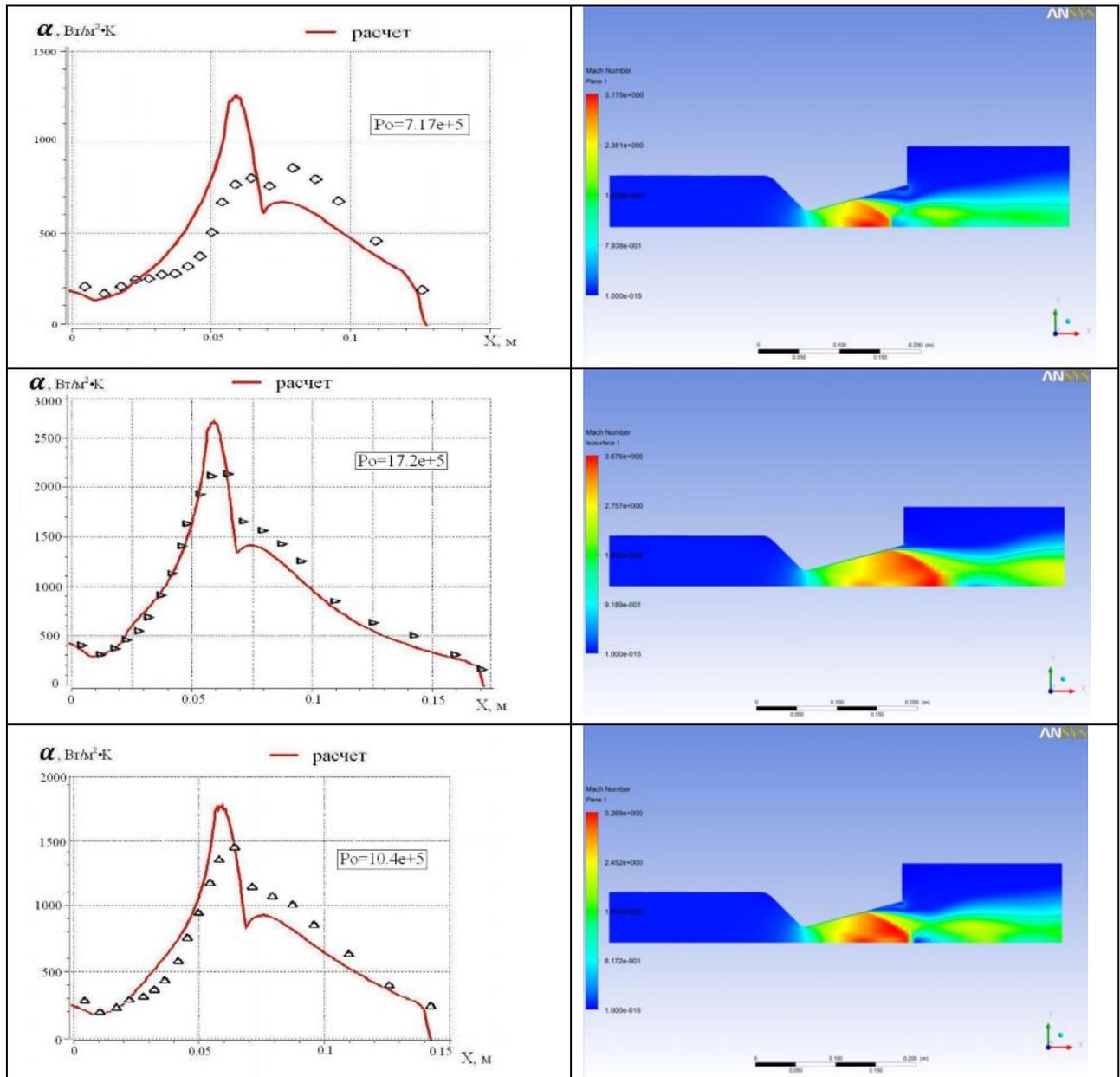


Рис. 3. Распределение коэффициента теплоотдачи вдоль стенки камеры для различных условий эксперимента.

Рис. 4. Картина течения (число Маха) для различных условий эксперимента.

На рис.5 приведены измеренные и расчетные значения изменения относительного давления вдоль стенки камеры.

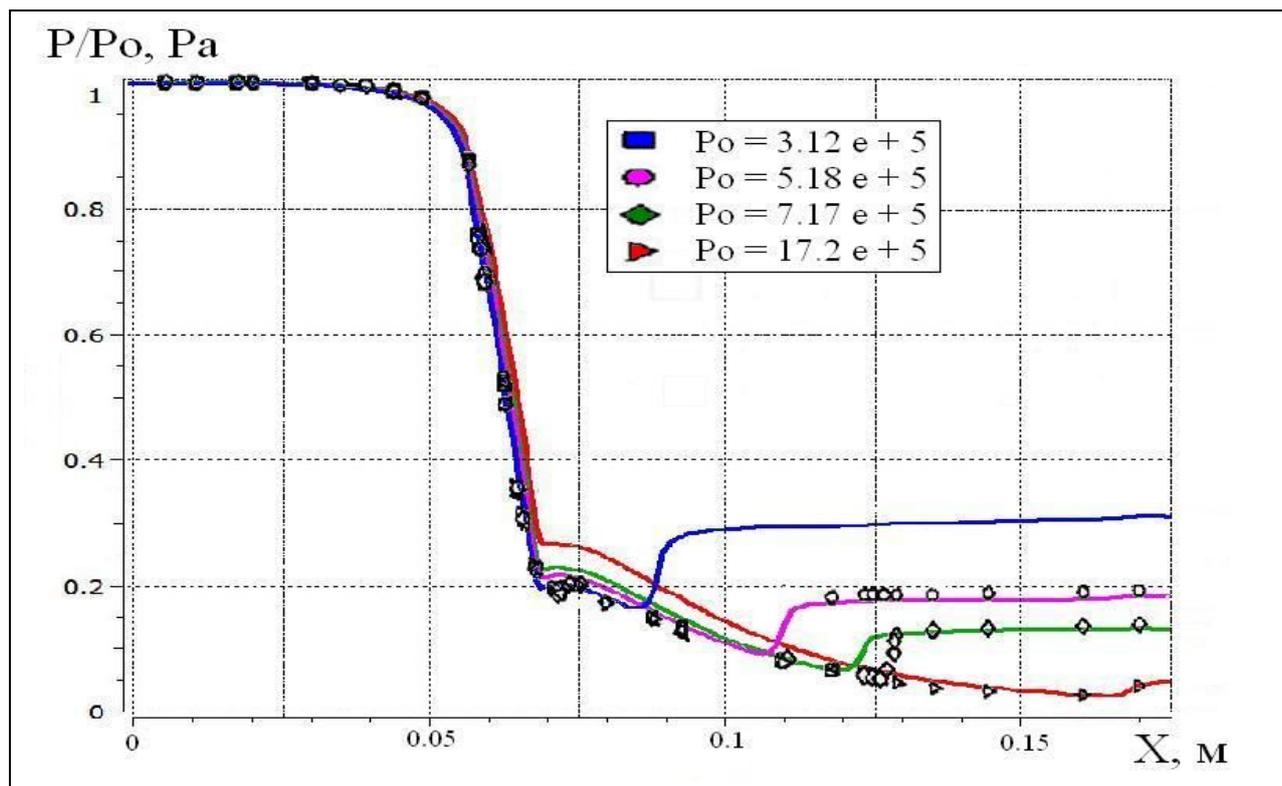


Рис. 5. Распределение относительного давления вдоль стенки камеры.

## Выводы

Проведено расчетное исследование газодинамических параметров и теплообмена в камере сгорания и сопле модельного ракетного двигателя. Сопоставление результатов расчета с имеющимися экспериментальными данными показало удовлетворительное согласование, как по распределению теплового потока вдоль стенки, так и по распределению давления, что позволяет сделать вывод о возможности использования программного комплекса ANSYS CFX для решения данной задачи.

## Библиографический список

1. Аникеев А.А., Быков Л.В., Молчанов А.М. Расчет охлаждения сверхзвукового сопла // Вестник Московского авиационного института. 2010. №3. Т.17, С.99-107.
2. Back L.H., Gier H.L., Massier P.F. "Convective heat transfer from turbulent boundary layer in convergent-divergent conical nozzle," Jet Propulsion Laboratory, Feb 15, 1965, JPL-TR-32-415; NASA-CR-57326, 58 pages.

3. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. Particle Transport Theory. Heat and Mass Transfer. [http://www.kxcad.net/ansys/ANSYS\\_CFX/help/Theory/i1308531.html](http://www.kxcad.net/ansys/ANSYS_CFX/help/Theory/i1308531.html)

### **Сведения об авторах**

Быков Леонид Владимирович, старший научный сотрудник Московского авиационного института (государственного технического университета). Тел. 8(903)132-1909, e-mail: [kowl@mail.ru](mailto:kowl@mail.ru)