

**Расчет влияния источника тепловыделения на аэродинамические характеристики удлиненных тел**

**Научный руководитель – Арафайлов Сергей Игоревич**

*Дашиев Батор Жаргалович*

*Студент (специалист)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Механико-математический факультет, Кафедра аэромеханики и газовой динамики,  
Москва, Россия  
*E-mail: bator.five@mail.ru*

В работе поставлена и численно решена задача стационарного осесимметричного обтекания тела сверхзвуковым потоком идеального газа с локальным источником тепла. В качестве модели использована система уравнений Эйлера с учётом уравнения энергии; система приведена к дивергентному виду и нормализована по радиальной координате. Для инициализации использовано автомодельное решение обтекания прямого кругового конуса в сечении  $z = z_0$ ; далее решение строится маршевым методом по временноподобной координате  $z$ .

Численная реализация опирается на двухэтапную схему МакКормака (R. W. McCormack). Для корректных граничных условий на поверхности тела применён метод коррекции простой волной (метод Аббета, M. J. Abbet), а на ударной волне — метод Томаса для условий Ранкина–Гюонио (P. D. Thomas). Модель теплоисточника задаётся экспоненциально убывающей функцией с параметрами  $q_0$  и  $L_q$  при условии малости безразмерной интенсивности  $\Omega \leq 1/20$ , что позволяет считать возмущение относительно малым.

Программа реализована на C++, визуализация — на Python. Проведён спектральный анализ устойчивости через собственные числа матриц Якоби; получено условие ограничения шага по  $z$ . На границах использованы односторонние аппроксимации с последующей корректировкой по Аббету и Томасу для восстановления физически корректных плотности, давления и скоростей.

Численные эксперименты показали, что подвод тепла нарушает осевую симметрию: вблизи источника возникают асимметричные возмущения плотности, давления и скоростей, линии тока деформируются. Исследовано влияние положения источника  $z_q$  на аэродинамику — получены зависимости подъемной силы и момента, позволяющие выбирать оптимальные местоположения источника. Сравнение с линеаризованным аналитическим решением показало качественное соответствие. Предложенная методика пригодна для дальнейших исследований и оптимизации систем активного термоуправления в сверхзвуковой аэродинамике.

**Источники и литература**

- 1) К.В. Краснобаев, Р. А. Сюняев. «Расчет обтекания рентгеновского источника звездным ветром». Изв. АН СССР. Серия МЖГ, №4, 1983, с. 106-111
- 2) К.В. Краснобаев. «Сверхзвуковое обтекание слабых источников излучения». Изв. АН СССР. Серия МЖГ, №4, 1984, с. 133-136
- 3) С.И. Арафайлов. «Влияние энергосвечения в ударном слое на сверхзвуковой полет». Изв. АН СССР. Серия МЖГ, №4, 1990.
- 4) П.Ю. Георгиевский, В.А. Левин. «Сверхзвуковое обтекание тела при подводе тепла перед ним». Тр. мат. ин-та АН СССР. 1989. т.186. с.197-202.

- 5) М.И. Фоллэ. «Аэромеханика и газовая динамика». 2001. №1. с. 82-85
- 6) Л.Г. Лойцянский «Механика жидкости и газа» – 7-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с. – с.348–354..
- 7) McCormack R.W. «The effect of Viscosity in Hypervelocity Impact Cratering», AIAA Paper 69, 354, 1969.
- 8) Abbet MJ. «Boundary Condition Calculation Procedures for Inviscid Supersonic Flow Fields.» Proc AIAA Congr. Fluid Dynamic conference. Palm Springs. Calif, p.153-172.
- 9) Thomas P.D., Vinokur A., Bastianon R.A., Conty R.J. «Numerical Solution for Tree-Dimensional Inviscid Supersonic Flow.» AIAA J. 1972, V. 10, No 7