

Гистерезис при сверхзвуковом обтекании осесимметричного тела с кольцевой ступенькой под углами атаки

*Кузьмин А.Г., Гувернюк С.В.,
Симоненко М.М., Бабарыкин К.В.*

*a.kuzmin@spbu.ru, guv@mail.ru,
sim1950@mail.ru, konst20@mail.ru*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Научно-исследовательский институт механики
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Ключевые слова: удлиненное тело, прямая кольцевая ступенька, отрыв потока, гистерезис.

Сверхзвуковое обтекание удлиненного осесимметричного тела под углом атаки сопровождается возникновением отрывных структур на подветренной стороне поверхности тела. При этом вдоль подветренной поверхности происходит уменьшение толщины пограничного слоя и формируется узко локализованное высоконапорное сверхзвуковое течение, которое может вызывать повышение давления на выступающих препятствиях [1]. Локальное повышение давления на подветренной стороне прямой кольцевой ступеньки, расположенной на поверхности цилиндрического тела, под углом атаки было зарегистрировано ранее экспериментально и численно [2]. Имеющиеся экспериментальные данные [2] позволяют заключить, что при сверхзвуковом обтекании рассмотренного тела с прямой кольцевой ступенькой возможен гистерезис по углу атаки.

В настоящей работе представлены результаты численного исследования сверхзвукового обтекания заостренного на конус удлиненного осесимметричного цилиндрического тела с прямой кольцевой ступенькой на поверхности. Целью работы являлось определение границ области возможного гистерезиса по углу атаки и изучение эволюции структуры течения при увеличении и уменьшении угла атаки.

Рассматриваемое осесимметричное тело состоит из цилиндрического корпуса (диаметр $d=30$ мм) с коническим наконечником с углом полураствора 20° . Кольцевая ступенька высотой $h=8$ мм расположена на цилиндрической поверхности тела на расстоянии $L=136$ мм от основания конического наконечника.

Численное исследование выполнено на основе модели вязкого совершенного газа в предположении, что течение турбулентное и подчиняется уравнениям Рейнольдса (URANS), замыкаемым с помощью двухпараметрической дифференциальной модели турбулентности $k-\omega$ SST. На поверхности тела ставятся условия прилипания и адиабатичности. На внешних границах расчетной об-

ласти - условие сверхзвуковой скорости течения. Решения строятся методом установления с помощью решателя пакета ANSYS-15. В качестве граничных условий брались параметры набегающего потока [2]: число Маха $M_\infty = 3$, показатель адиабаты $\gamma = 1.4$, полное давление $P_0 = 430$ кПа, температура торможения $T_0 = 275$ К, единичное число Рейнольдса $Re_1 = 3.7 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Угол атаки варьировался в диапазоне $\alpha = 8^\circ - 13^\circ$. В качестве начального условия при расчете поля течения для текущего угла атаки использовалось решение, полученное для меньшего или большего угла атаки, в зависимости от выбранного направления его изменения.

В результате проведенных исследований получены границы области гистерезиса по углу атаки, а также найдены интервалы угла атаки, в которых развиваются автоколебания потока.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект 19-01-00242, расчеты проведены с использованием ресурсов Вычислительного центра СПбГУ (<http://cc.spbu.ru>).

Литература

- [1] Guvernyuk S. V., Kuzmin A. G. Simonenko M. M. Development of the vortex flow structure on the leeward side of an axisymmetric body in supersonic free stream at an angle of attack // Fluid Dynamics. 2020. Vol. 55, № 5. P. 653-656. DOI: 10.1134/S0015462820050080
- [2] Simonenko M. M., Zubkov A. F., Kuzmin A. G. On the supersonic three-dimensional flow over an axisymmetric body with a forward-facing annular step // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 1959, Article ID 050031. DOI: 10.1063/1.5034659