

УДК 533.6.01

## ВЛИЯНИЕ ПОДВОДА ЭНЕРГИИ ПЕРЕД НОСОВОЙ ЧАСТЬЮ МОДЕЛИ НА ТЕЧЕНИЕ В ДОННОЙ ОБЛАСТИ

© 2011 г.

А.Е. Луцкий

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва

lutsky@kiam.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Представлены результаты численного исследования влияния подвода энергии перед телом на течение в донной области. Рассмотрено сверхзвуковое обтекание модели головной части ракеты-носителя. Расчеты выполнены с использованием уравнений Рейнольдса с моделями турбулентности  $k-\epsilon$  и Спаларта–Аллмараса. Показано, что в ряде режимов может происходить незначительное уменьшение донного давления. Однако и в этом случае энергетическая эффективность снижения сопротивления остается весьма высокой. Выявлены режимы вложения энергии перед носовой частью, когда происходит рост донного давления.

*Ключевые слова:* аэродинамическое сопротивление, вложение энергии в поток, течение в донной области.

К настоящему времени выполнен большой объем численных и экспериментальных работ по управлению аэродинамическими характеристиками объектов путем локализованного ввода энергии в набегающий поток. Большая часть [1–5] исследований связана с уменьшением волнового сопротивления на сверхзвуковых режимах за счет перестройки течения перед носовой частью с формированием области отрыва и возвратного течения. В этих работах была показана высокая энергетическая эффективность такого способа снижения сопротивления. Хорошо известно, однако (см. [6]), что донное сопротивление составляет значительную часть от полного сопротивления. В связи с этим возникает вопрос о влиянии вложения энергии перед телом на режимы течения в донной области, в частности, на величину донного давления.

В настоящей работе представлены некоторые результаты по численному исследованию этого вопроса. Рассмотрено обтекание модели головной части ракеты-носителя для чисел Маха  $M = 1.5, 2, 2.5$  (рис. 1). На рисунке показано обтекание модели: *а* – невозмущенным потоком, *б* – при наличии источника энергии. Использовалась система уравнений Рейнольдса с моделями турбулентности  $k-\epsilon$  и Спаларта–Аллмараса ([7]). Расчеты выполнены на многопроцессорной вычислительной системе К-100, созданной в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. На рис. 2 изображено распределение давления: *а* – на носовой и боковой частях модели, *б* – на данном срезе. Показано, что в ряде режимов

может происходить незначительное уменьшение донного давления при существенном снижении давления на носовой части. Однако и в этом случае энергетическая эффективность снижения сопротивления остается весьма высокой. Выявлены также варианты вложения энергии перед носовой частью, когда происходит рост донного давления.

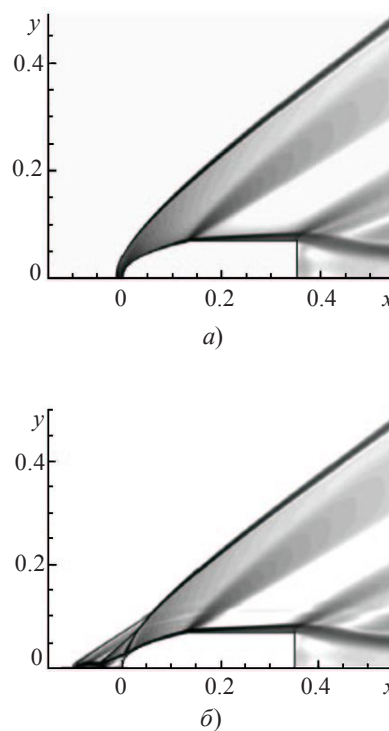


Рис. 1

Представленные результаты, таким образом,

подтверждают эффективность указанного выше подхода к снижению сопротивления тел на сверхзвуковых скоростях с учетом особенностей течения в донной области.

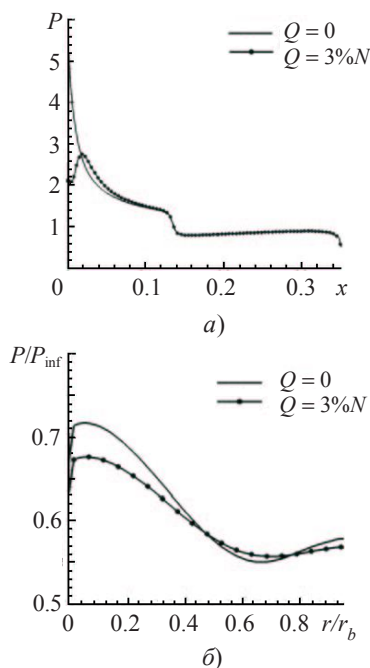


Рис. 2

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН

№ 17 «Алгоритмы и математическое обеспечение для вычислительных систем сверхвысокой производительности».

#### Список литературы

1. Георгиевский П.Ю., Левин В.А. Управление обтеканием различных тел с помощью локализованного подвода энергии в сверхзвуковой набегающий поток // Изв. РАН. МЖГ. 2003. Вып. 5. С. 154–167.
2. Гувернюк С.В., Савинов К.Г. Отрывные изобарические структуры в сверхзвуковых потоках с локализованной неоднородностью // Докл. РАН. 2007. Т. 413. Вып. 2. С. 188–192.
3. Зубков А.И. и др. Сверхзвуковое обтекание осесимметричных тел при горении в передних и донных зонах отрыва // Теплофизика и аэромеханика. 2005. Т. 12, №1. С. 1–13.
4. Fomin V.M., Tretyakov P.K., Taran J.-P. Flow control using various plasma and aerodynamic approaches (Short Review) // Aerospace Science and Technology. 2004. No 8. P. 411–421.
5. Knight D. et al. Survey of aerodynamic flow control at high speed by energy deposition // AIAA Paper 2003-0525. 2003. 19 p.
6. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. В 2 ч. М.: Высшая школа, 1976. Ч. 1. 383 с; Ч. 2. 368 с.
7. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. М.: Физматлит, 2008. 368 с.

#### THE EFFECT OF ENERGY SUPPLY INTO THE FRONT PART OF THE MODEL ON THE BASE FLOW

A.E. Lutskiy

The results of the numerical investigation of the effect of energy supply on the base are presented. A supersonic flow over the model of the booster head part is analyzed. Calculations were performed using the Reynolds equations with  $k$ - $\epsilon$  and Spalart-Allmaras turbulence models. It is shown that in some regimes, a slight decrease in the base pressure may occur. However, in this case, the energy efficiency of drag reduction is very high. The modes of energy input to the nose with the increase of the base pressure are also detected.

*Keywords:* aerodynamic drag, the energy input into the flow, the base flow.