

УДК 533.6.011

УПРАВЛЕНИЕ СВЕРХЗВУКОВЫМ ОБТЕКАНИЕМ ТЕЛ ПРИ ПОМОЩИ ЭНЕРГОВКЛАДА В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА

© 2011 г.

П.Ю. Георгиевский

НИИ механики Московского госуниверситета им. М.В. Ломоносова

georgi@imec.msu.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Численно исследуется сверхзвуковое обтекание тел при различной геометрической конфигурации энерговклада, локализованного в набегающем потоке. Анализируются структура и устойчивость течений, обсуждается эффективность понижения сопротивления. Для энерговклада, организованного в тороидальной области, обнаружены новые режимы обтекания затупленных и заостренных тел.

Ключевые слова: сверхзвуковое обтекание, энерговклад, снижение сопротивления, отрывная зона.

Идея использования локализованного в ограниченной области сверхзвукового потока энерговклада для уменьшения сопротивления тел была сформулирована В.А. Левиным более 20 лет назад. Эффект понижения сопротивления обусловлен взаимодействием температурного следа, который формируется за областью энерговклада, с ударным слоем перед телом. Ключевым фактором, определяющим такое взаимодействие, является понижение полного давления, которое наблюдается в температурном следе. В настоящей работе численно исследованы режимы сверхзвукового обтекания тел при различной геометрической конфигурации энерговклада, организованного в набегающем потоке. Анализируются структура и устойчивость течений, обсуждаются эффективность понижения сопротивления. Для описания течений газа с энерговкладом используется модель «энергисточника», построенная на основе уравнений Эйлера для идеального совершенного газа.

С самого начала исследований возможность эффективного понижения сопротивления связывалась с реорганизацией обтекания тел при энерговкладе в малой по размерам области [1]. Реорганизация выражается в возникновении отрывных зон перед лобовой поверхностью тел и в соответствующей перестройке системы скачков уплотнения. В [2] зафиксировано формирование передних отрывных зон не только для затупленных тел, но и для хорошо обтекаемых заостренных тел. Отрывные зоны возникают при взаимодействии тонкого температурного следа с ударным слоем перед телом. В этом

случае эффективность понижения сопротивления теоретически может быть сколь угодно высокой, поскольку статическое давление внутри передней отрывной зоны зависит только от полного давления в следе и не зависит от его толщины. Однако серьезной проблемой являются пульсационная и сдвиговая неустойчивости отрывных зон, которые наблюдались в численных расчетах для малых областей энерговклада.

Пульсационная неустойчивость «расходного» типа возникает в случае, если стационарный энерговклад «включается» в невозмущенном потоке, набегающем на тело. Причиной развития пульсаций является захват отрывной зоной высокотемпературной струйки, зарождающейся в «предвестнике» [3]. Для того чтобы реализовать в численных расчетах течения с изобарическими стационарными отрывными зонами, был предложен метод «динамической трансформации» области энерговклада. Метод был использован для построения стационарных отрывных решений при обтекании затупленных и заостренных тел. На рис. 1 показаны пульсирующее и стационарное решения для тонкого температурного следа (изолинии чисел Маха). В частности, получены решения, отличительной особенностью которых является безударное торможение потока в области температурного следа. Таким образом, обнаружен эффект гистерезиса, проявляющийся в зависимости решения от истории процесса.

Для областей энерговклада очень малого поперечного размера в расчетах обнаружено развитие неустойчивости, которая проявляется

ся в возникновении крупномасштабных вихревых структур [4]. Отмечено, что характерный масштаб неустойчивости не зависит от выбора формы тела или расчетной сетки и определяется поперечным размером температурного следа. Неустойчивость относится к классическому типу неустойчивости сдвиговых слоев Кельвина – Гельмгольца. Предложен способ обеспечения искусственной устойчивости, основанный на переходе к импульсно-периодическим режимам энерговыклада. Проведены численные эксперименты для широкого диапазона частот и амплитуд импульсно-периодического воздействия. Установлено, что подавление генерации вихрей происходит лишь в узких частотных интервалах с центральными частотами, кратными основной частоте вихреобразования.

Обнаружены новые стационарные режимы обтекания, характеризующиеся возникновением маховской конфигурации скачков вблизи оси симметрии и реорганизацией структуры течения, выражающейся в образовании передних отрывных зон и во внезапном расширении температурного следа. Для практики существенно, что для данных режимов поверхность тела оказывается изолированной от кольцевого температурного следа высокоэнтальпийной холодной кольцевой струей. Показано, что эффективность новых режимов хотя и зависит от геометрии тороидальной области, однако во всех рассмотренных случаях является приемлемой – экономичная в результате снижения сопротивления мощность превышает мощность энерговыклада. Определены условия эквивалентно-

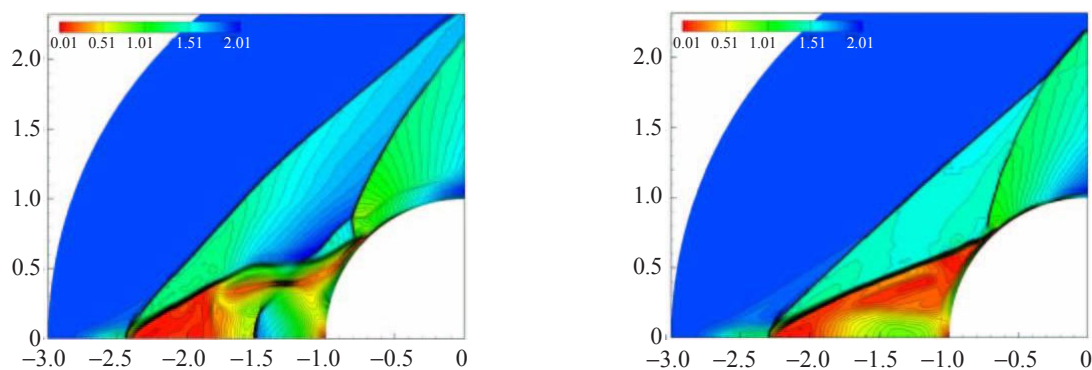


Рис. 1

Проведено сравнительное численное исследование сверхзвукового обтекания затупленных и заостренных тел в условиях стационарного и импульсно-периодического энерговыклада, организованного в тороидальной области набегающего потока. На рис. 2 представлена перестройка течения при энерговыкладе в тороидальной области (изолинии чисел Маха).

сти стационарных и импульсно-периодических режимов энерговыклада и выполнена оценка последствий нарушения этих условий.

Работа выполнена в НИИ механики МГУ под руководством академика РАН В.А. Левина, который является инициатором исследований по данной теме.

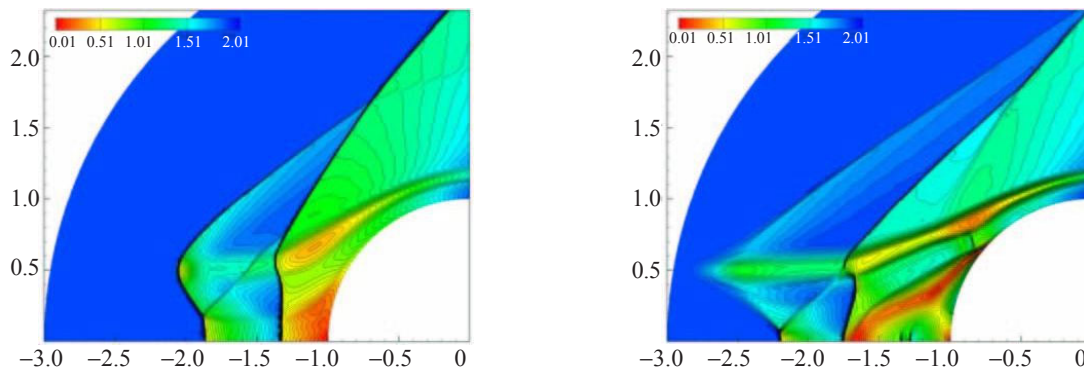


Рис. 2

Финансовая поддержка оказана РФФИ (грант 11-01-00052), Министерством образования и науки РФ (грант НШ-8424.2010.1) и Президиумом РАН (в рамках Программы фундаментальных исследований).

Список литературы

1. Георгиевский П.Ю., Левин В.А. Сверхзвуковое обтекание тел при наличии внешних источников тепловыделения // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14, № 8. С. 684–687.
2. 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.

3. Левин В.А., Георгиевский П.Ю. Газодинамика передних отрывных течений в условиях локального энерговклада в набегающий на тело поток // Проблемы современной механики. К 85-летию со дня рождения акад. Г.Г. Черного / Под ред. А.А. Бармина. М.: НИИ механики МГУ, Омега-Л, 2008. С. 222–239.

4. Георгиевский П.Ю., Левин В.А., Сутырин О.Г. Проблемы устойчивости при формировании «передних» отрывных зон посредством локализованного энерговклада в набегающий на тело поток // Третья школа-семинар по магнитоплазменной аэродинамике: Сб. докл. / Под ред. В.А. Битюрина. М.: ОИВТ РАН, 2008. С. 115–122.

CONTROL OF SUPERSONIC FLOW PAST BODIES BY ENERGY DEPOSITION LOCALIZED UPSTREAM IN DIFFERENT REGIONS

P.Yu. Georgievsky

Supersonic flows past bodies in the presence of energy deposition localized upstream in different regions were investigated numerically. Gasdynamic flow structure and stability problems are discussed; the efficiency of the wave drag reduction is analyzed. New regimes of flows past blunt and streamlined bodies were found for energy deposition in toroidal-type regions.

Keywords: supersonic flow, energy deposition, drag reduction, separation zone.