

УСТРАНЕНИЕ ОТРЫВА ПОТОКА НА КРЫЛОВЫХ ПРОФИЛЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ

Валитов Р.А.

Научно-исследовательский институт математики и механики им. Н.Г. Чеботарева
Казанского государственного университета

Устройства активного управления ПС являются перспективными и эффективными средствами улучшения аэродинамических свойств летательных аппаратов, уменьшения потребления топлива, предотвращения отрыва ПС, устранения других неблагоприятных эффектов (см., напр., [1,2]).

При этом важную роль играет не только тип устройства управления ПС, но и его параметры работы и расположение на обтекаемом теле. В ранних работах расчет ПС с использованием вдува или отсоса ПС проводился по интегрально-эмпирическим методам (см., напр., [3,4]). В современных исследованиях [5] применяются более точные методы, основанные на аппроксимациях уравнений ПС или Навье – Стокса.

В настоящей работе исследовано применение устройств активного управления ПС на крыловых профилях для устранения отрыва потока. Поставлены и решены задачи аэродинамического расчета обтекания крыловых профилей с движущейся стенкой, отсосом ПС и тангенциальным вдувом в ПС.

Для расчета обтекания крылового профиля с устройствами активного управления ПС с целью устранения отрыва потока вычислялся турбулентный ПС по поверхности профиля, т.е. находились поле скоростей в ПС, толщина вытеснения ПС, толщина потери импульса ПС, толщина потери энергии ПС, местный коэффициент сопротивления трения, коэффициент силы сопротивления трения, точка отрыва ПС, если она существует. В случае возникновения отрыва с целью его устранения на поверхности профиля размещалось устройство активного управления ПС (движущаяся стенка, отсос ПС, тангенциальный вдув в ПС), определялись параметры устройства (место расположения, размер, скорость работы – скорость движения стенки, скорость отсоса или скорость вдува) и энергетические затраты на его работу.

Конечно-разностные аппроксимации уравнений ПС и численные схемы решения в случае обтекания непроницаемого тела описаны в [6, 7]. Расчет турбулентного пограничного слоя проводился с использованием неявной конечно – разностной схемы и использованием алгебраической двухзонной модели турбулентности Прандтля (см., например, [8, 9]). Проведено сравнение решения задачи на равномерных прямоугольных стеках и с использованием метода построения адаптивной сетки и определения размеров расчетной области. Последний подход позволил сократить число узлов в 2.5 раза и уменьшить время вычислений в 3 – 4 раза по сравнению с расчетами на равномерных прямоугольных сетках.

Для нахождения оптимального параметра (при фиксированных двух других параметрах) устройства активного управления ПС решалась задача минимизации для целевой функции результирующего коэффициента сопротивления, представляющей собой сумму коэффициента силы сопротивления трения и эквивалентного коэффициента энергетических затрат. Решение задачи минимизации проводилось по методу золотого сечения, отрыв учитывался в виде штрафа.

Составлена программа на языке C++ решения поставленной задачи. Проведена серия расчетов для крылового профиля НАСА 0012, обтекаемого с отрывом при угле атаки

$\alpha = 14^\circ$. Располагая на поверхности крылового профиля устройства активного управления ПС с подходящими параметрами, продемонстрирована возможность управления точкой отрыва и достигнуто безотрывное обтекание для каждого из устройств. Вычислены оптимальные параметры устройств активного управления ПС. Найдены поля скоростей в ПС и аэродинамические характеристики.

Список литературы.

1. Чжен П. Управление отрывом потока. – М.: пер. с англ., Мир, 1979.
2. Mohamed Gad-el-Hak. Flow Control: Passive, Active, and Reactive Flow Management. – Cambridge University Press, 2007.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: перев. с немецкого, Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974.
4. Eppler R. Airfoil Design and Data. – Berlin: Springer-Verlag, 1990.
5. King R. (Ed.) Active Flow Control: Papers Contributed to the Conference “Active Flow Control 2006”, Berlin, Germany, September 27 to 29, 2006. – Berlin: Springer, 2007.
6. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: в 2-х т. Т. 2.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
7. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: в 2-х т.: Т.2.: пер. с англ. – М.: Мир, 1991.
8. Wilcox D.C. Turbulence Modeling for CFD. 2nd Ed., DCW Industries, Inc., 1993.
9. Лапин Ю.В., Гарбарук А.В., Стрелец М.Х. Алгебраические модели турбулентности для пристенных канонических течений (немного истории и некоторые новые результаты). – Спб.: Научно технические ведомости СПбГПУ, №2. с. 81-95, 2004.