

# Моделирование устройств активного управления пограничным слоем, предотвращающих отрыва потока на крыловых профилях.

Д.Ф. Абзалилов, Р.А. Валитов, Н.Б. Ильинский

15 марта 2009 г.

Устройства активного управления пограничным слоем (ПС) являются перспективными и эффективными средствами улучшения аэродинамических свойств летательных аппаратов, позволяют снизить потребление топлива, контролировать отрыв ПС, устранять неблагоприятные эффекты за счет изменения картины течения (см., напр., [1, 2]). При этом важную роль играет не только тип устройства управления ПС, но и параметры работы и расположение на обтекаемом теле.

В работах [3, 4] расчет ПС проводился интегрально-эмпирическим методом, позволяющим находить только толщины ПС и коэффициент сопротивления. Развитие компьютеров и численных методов позволило проводить прямое решение уравнений ПС, при этом получаемое решение было более точным и полным (находились распределение скорости в ПС и определялись все параметры ПС). В последующих исследованиях [5] применяются более точные методы, основанные на аппроксимациях уравнений ПС или Навье – Стокса.

В предлагаемой работе поставлены и решены задачи аэродинамического расчета обтекания крыловых профилей с применением устройств активного управления ПС для устранения отрыва потока. В качестве таких устройств рассмотрены движущаяся стенка, отсос ПС и тангенциальный вдув в ПС. При решении рассчитывался турбулентный ПС, находилась точка отрыва и коэффициент сопротивления трения  $C_d$  для верхней поверхности.

Применялась неявная схема прямого решения уравнений ПС [6], строилась адаптивная сетка и определялись размеры расчетной области. Использование адаптивной сетки позволило сократить число узлов в 2.5 раза и уменьшить время числовых расчетов в 3 – 4 раза по сравнению с расчетами на равномерных прямоугольных сетках.

Энергетические затраты на работу механизмов активного управления ПС представлены в виде эквивалентного коэффициента сопротивления  $C_{xp}$  [1]. Результирующий коэффициент сопротивления  $C_t = C_d + C_{xp}$  рассматривался в качестве параметра для сравнения эффективности устройств активного управления ПС.

Составлена программа решения и проведена серия расчетов для крылового профиля НАСА 0012, обтекаемого с отрывом при угле атаки  $\alpha = 14^\circ$ . За счет использования устройств активного управления ПС и варьирования их параметров (места расположения, размера, скорости работы – скорости движения стенки, скорости отсоса или скорости вдува) достигалось безотрывное обтекание. Расчет энергетических затрат показал, что минимальные значения  $C_{xp}$  достигнуты для движущейся стенки, а максимальное значение – для отсоса ПС. При этом увеличение площади движущейся стенки оказалось более выгодным, чем повышение скорости ее движения. Минимальный коэффициент сопротивления трения соответствовал движущейся стенке, максимальный – тангенциальному вдуву, как и следовало ожидать. Сделан вывод, что наиболее выгодным с позиции минимума результирующего коэффициента сопротивления оказалось использование движущейся стенки, а наиболее затратным оказалось применение отсоса ПС.

## 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] Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: в 2-х т.: Т.2.: пер. с англ. - М.: Мир, 1991.