

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРЫЛОВОГО ПРОФИЛЯ С ДВИЖУЩЕЙСЯ СТЕНКОЙ

Валитов Р.А.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

DESIGNING OF AIRFOIL PROFILE WITH A MOVING WALL

Valitov R.A.

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan

Problems were posed and solved concerning the joint optimization of shape of airfoil profile and finding optimal values of parameters of active boundary layer control devices for the purpose of elimination of flow separation. A moving wall was selected as an example of such devices. The aerodynamic calculation of boundary layer was performed using implicit finite-difference scheme. Optimization problem was solved using penalty function method.

Введение. Оптимизация формы крыловых профилей – одна из основных задач аэродинамики, целью которой является построение крыловых профилей с необходимыми аэродинамическими характеристиками. В этом случае эффективно применять аппарат обратных краевых задач аэродинамики (ОКЗА, см., напр., [1]). В частности, можно построить крыловую профиль, обтекаемый безотрывно при заданном угле атаки или в диапазоне углов атаки.

Кроме этого для предотвращения отрыва пограничного слоя (ПС) при обтекании крыльев самолетов можно использовать устройства активного управления ПС такие как тангенциальный вдув в ПС, отсос ПС, движущаяся стенка (см., напр., [2]). В статье [3] рассмотрено применение отсоса ПС для минимизации результирующего коэффициента сопротивления при безотрывном обтекании в задаче построения крылового профиля по распределению скорости (давления) на его поверхности, заданному в многопараметрическом виде. В решении применялся метод Эпплера и принцип максимума Понтрягина.

В настоящей работе поставлена и решена задача совместной оптимизации формы крылового профиля и нахождения оптимальных параметров устройства активного управления ПС с целью

предотвращения отрыва ПС. В качестве устройства активного управления ПС рассмотрена движущаяся стенка на поверхности крылового профиля. Для аэродинамического расчета ПС использовался более точный численный метод, задача оптимизации решалась методом штрафных функций. Использование других устройств, таких как отсос ПС и тангенциальный вдув в ПС не требует каких-либо существенных модификаций в предложенной схеме решения задачи, а влияет только на граничные условия при решении задачи аэродинамического расчета ПС.

Постановка задачи. Гладкий за исключением задней кромки B контур крылового профиля с расположенной на нем движущейся стенкой EF обтекается с отрывом плоским установившимся безвихревым потоком вязкой несжимаемой жидкости со скоростью V_∞ при больших числах Рейнольдса (рис. 1). Соответствующее этому крыловому профилю распределение скорости на его поверхности в случае обтекания безвихревым потоком идеальной несжимаемой жидкости задано в параметрическом виде $v(s)$ (рис. 2). Здесь s – дуговая координата профиля, отсчитываемая по часовой стрелке так, что значения $s=0$ и $s=1$ соответствуют

задней кромке профиля. Участок $[s, 1]$ определяет распределение скорости на верхней части крылового профиля, а участок $[0, s]$ – на нижней.

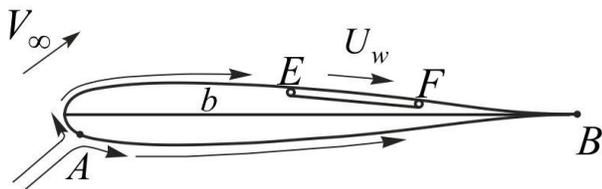


Рис. 1

Требуется найти модифицированное распределение скорости, описываемое параметрами $s_1 - s_3$, v_0 , v_1 и оптимальные параметры движущейся стенки, при которых достигается безотрывное обтекание. К числу параметров стенки относятся ее положение (начальная x_1 и конечная x_2 позиции) и ее скорость U_w движения. При оптимальных параметрах достигается минимум результирующего коэффициента сопротивления C_t , учитывающего сопротивление трения крылового профиля и энергетические затраты на работу устройства активного управления ПС.

Схема решения задачи. Поиск оптимальных параметров движущейся стенки сводится к решению задачи минимизации целевой функции $f(x_1, x_2, U_w) = C_t + c$, где c – функция штрафа, учитывающая безотрывность обтекания. При этом используются алгоритмы Флетчера – Ривса для многомерной и золотого сечения для одномерной минимизации.

При вычислении f необходимо решить ОКЗА для корректировки модификации распределения скорости и определения новой формы получаемого крылового профиля. Решение проводится по

методу, описанному в работе [1]. В качестве свободных параметров для удовлетворения условиям разрешимости выбраны s_1 , s_2 и v_0 . Аэродинамический расчет ПС основан на решении уравнений турбулентного ПС по неявной схеме на равномерной прямоугольной сетке.

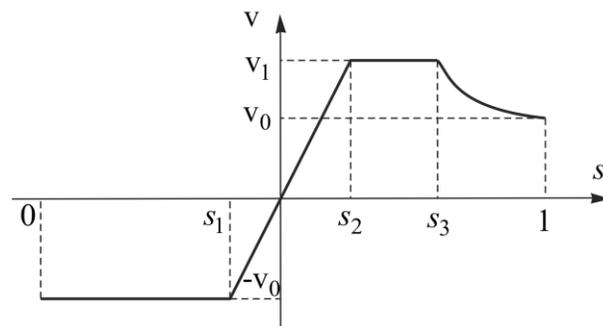


Рис. 2

Предложенный метод решения задачи оптимизации крыловых профилей с устройствами активного управления ПС на примере движущейся стенки допускает использование других параметрических распределений скорости с большим или меньшим числом параметров, а также позволяет произвольно выбирать набор оптимизируемых и свободных параметров.

Литература

1. Н.Б. Ильинский, Д.Ф. Абзалилов. Математические проблемы проектирования крыловых профилей: усложненные схемы течения; построение и оптимизация формы крыловых профилей. Казань: Казан. ун-т, 2011. 284 с.
2. Чжен П. Управление отрывом потока. М.: Мир, 1979. 552 с.
3. Д.Ф. Абзалилов. Минимизация коэффициента сопротивления крылового профиля методом оптимального управления // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2005. – №6. – С.173 – 179.