

УДК 532.5.031;533.692;533.694.2

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕХЭЛЕМЕНТНОГО КРЫЛОВОГО ПРОФИЛЯ

© 2011 г.

Р.Ф. Марданов

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Renat.Mardanov@ksu.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Разработан приближенный метод проектирования трехэлементного крылового профиля по заданному на его поверхности распределению скорости как функции дуговой абсциссы. Суть метода – сведение трехсвязной области течения к односвязной, расположенной на многолистной римановой поверхности, путем введения между элементами крылового профиля каналов отбора и выдува потока, асимптотически стремящихся к кольцевым. Приведен пример проекторочного расчета.

Ключевые слова: обратная краевая задача аэрогидродинамики, трехэлементный крыловой профиль, предкрылок, закрылок.

Введение

Проектирование крылового профиля, состоящего из нескольких элементов, является актуальной задачей, так как такое сечение имеют крылья с предкрылками и закрылками многих современных самолетов дозвуковой авиации. Однако большинство научно-исследовательских работ в этой области касается случая двухэлементных крыловых профилей. Решение задачи, когда число элементов больше двух, представляет большую сложность ввиду громоздкости математического аппарата решения краевых задач в многосвязных областях.

Одним из наиболее эффективных подходов к решению задач проектирования крыловых профилей основан на теории обратных краевых задач аэрогидродинамики (ОКЗА). В монографии [1] приведены решения ряда задач для случая одноэлементного крылового профиля. В работе [2] изложен метод проектирования профиля крыла экраноплана, основанный на введении фиктивного потока идеальной несжимаемой жидкости (ИНЖ) под экраном. В работе [3] получено полное решение ОКЗА для двухэлементного крылового профиля с использованием аппарата эллиптических функций.

В настоящей работе использован подход, позволяющий перейти от краевой задачи в многосвязной области к задаче в односвязной области, расположенной на многолистной римановой поверхности. Исходная задача сведена к проектированию крылового профиля с двумя каналами отбора и двумя каналами выдува по-

тока. Эффективность такого подхода была проиллюстрирована в ряде работ [4, 5]. В отличие от предшествующих, в данном исследовании распределение скорости задается как функция дуговой абсциссы контура, а не параметра в канонической плоскости. Это важно с практической точки зрения, но значительно усложняет метод решения.

Постановка задачи

В физической плоскости $z = x + iy$ искомый трехэлементный крыловой профиль $L_z = L_1 \cup \cup L_2 \cup L_3$ обтекается установившимся потенциальным потоком ИНЖ с заданной скоростью v_∞ на бесконечности (рис. 1).

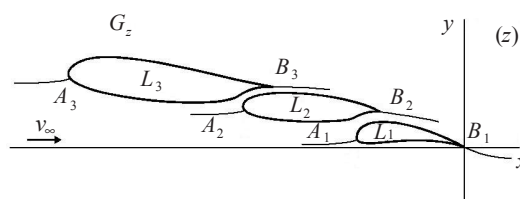


Рис. 1

Точки A_k – точки разветвления потока, точки B_k – точки схода потока с внутренними к области течения G_z – углами, равными 2π . Здесь и далее $k = \overline{1, 3}$ – индекс элемента профиля. Начало координат выбрано в задней кромке B_1 первого элемента профиля, а ось абсцисс x направлена вдоль скорости v_∞ набегающего потока. На контуре каждого из элементов крылового профиля задано распределение скорости $v_k(s)$, где $s \in [0, l_k]$ – дуговая абсцисса, l_k – периметр. Заданы расходы Q_1 и

Q_2 между элементами крылового профиля и величины $\Delta\varphi_2 = \varphi_{a2} - \varphi_{a1}$ и $\Delta\varphi_3 = \varphi_{a3} - \varphi_{a1}$ – разницы значений потенциала скорости в критических точках A_1, A_2 и A_3 . Требуется определить форму L_z контура трехэлементного крылового профиля.

О методе решения

Предлагаемый метод решения основан на преобразовании, позволяющем свести краевую задачу в трехсвязной области к задаче в односвязной области, расположенной на многолистной римановой поверхности. Суть преобразования состоит в том, что вместо трехэлементного крылового профиля в плоскости z вводится в рассмотрение в плоскости z^* крыловой профиль L_z^* с устройствами отбора и выдува потока (рис. 2а), которые моделируются круговыми каналами с постоянными скоростями на стенках. Соответствующие точки в плоскостях z и z^* обозначены одинаковыми буквами. При условии равенства расходов и скоростей на внешней и внутренней стенках соответствующих каналов радиусы окружностей, к которым будут асимптотически стремиться стенки, будут равны.

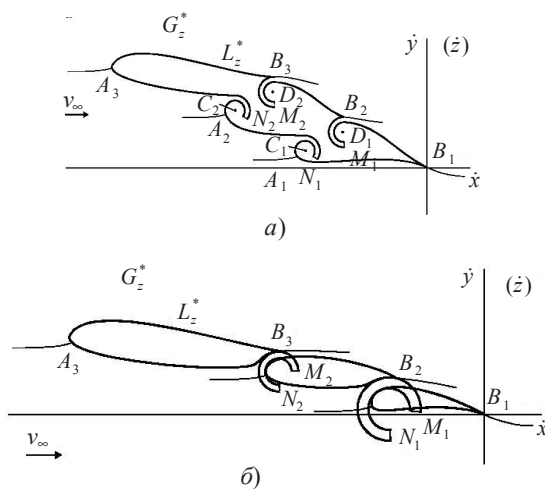


Рис. 2

Потребовав совпадения центров C_1, D_1 и C_2, D_2 асимптотических окружностей для соответ-

ствующих каналов отбора и выдува, получим контур L_z^* , совпадающий по форме с контуром L_z всюду, кроме окрестности каналов отбора и выдува (рис. 2б).

Вспомогательная задача для крылового профиля с каналами отбора и выдува решается с использованием канонической области D_ζ – внешности единичного круга в плоскости ζ . Решение сводится к отысканию аналитической в области D_ζ функции $\tilde{\chi}(\zeta) = \chi - \chi_0$ по ее известной реальной части на границе. Здесь $\chi(\zeta) = \ln(dw/dz^*)$ – функции Мичела – Жуковского, а $\chi_0(\zeta)$ – функция, содержащая ее особенности. Условия разрешимости ОКЗА и дополнительные условия совпадения центров каналов удовлетворяются подбором свободных параметров в исходных распределениях скорости. Приведен пример проектировочного расчета крылового профиля с предкрылком и закрылком, достоверность которого показана сравнением с решением прямой задачи расчета обтекания найденного профиля панельным методом.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (гос. контракт №П11124).

Список литературы

1. Елизаров А.М., Ильинский Н.Б., Поташев А.В. Обратные краевые задачи аэрогидродинамики. М.: Наука, 1994. 440 с.
2. Ильинский А.Н. и др. Метод аэродинамического проектирования крылового профиля экраноплана // Изв. вузов. Авиационная техника. 1995. №2. С. 54–62.
3. Абзалилов Д.Ф., Волков П.А., Ильинский Н.Б. Решение обратной краевой задачи аэрогидродинамики для двухэлементного крылового профиля // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2004. №3. С. 16–24.
4. Марданов Р.Ф. О одном подходе к проектированию профиля крыла вблизи экрана // Изв. вузов. Авиационная техника. 2003. №2. С. 35–38.
5. Марданов Р.Ф. Об одном подходе к проектированию многоэлементного крылового профиля // Аэромеханика и газовая динамика. 2003. №2. С. 31–36.

AN APPROXIMATE METHOD OF DESIGNING A THREE-ELEMENT AIRFOIL

R.F. Mardanov

An approximate method of designing three-element airfoils by the given velocity distribution on its surface of an arc abscissa is developed. The main point of the method is reducing the triple-connection area of a flow to the single-connection one, located on a multi-sheet Riemann surface, by inserting between the airfoil elements channels of flow suction and blowing out the flow, asymptotically tending to circular channels. An example of designing an airfoil is given.

Keywords: inverse boundary-value problem of aerodynamics, three-element airfoil, flap, slat.