

Обтекание решетки профилей при больших и малых углах атаки

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Приведена модель обтекания решетки профилей с конечным числом звеньев потоком идеальной жидкости. Отдельно рассмотрен случай безотрывного обтекания решетки профилей при малых углах атаки и отрывного обтекания при углах атаки, близких к 90° . Данная модель основана на теоретических моделях безотрывного и отрывного обтекания профиля, предложенных ранее и касающихся обтекания изолированного профиля. Верификация выполнена на примере решения модельной задачи по расчету обтекания решетки пластин бесконечного размаха, состоящей из трех звеньев. Приведенные результаты численного расчета позволяют сделать предположение о возможности применения данной модели к расчету обтекания решетки тонких профилей в широком диапазоне изменения углов атаки.

Ключевые слова: профиль, решетка профилей, обтекание профиля, метод особенностей, аэродинамический коэффициент.

Введение

В предыдущих работах автором была поставлена и численно решена задача о безотрывном [1] и отрывном [2] обтекании тонкого профиля потоком идеальной жидкости при условии конечности скорости во всем поле течения. Данные задачи решены методом гидродинамических особенностей. Конечность же скоростей во всем поле течения обеспечивалась в рамках применяемой расчетной схемы, возможность применения которой была обоснована в работе [3] и верифицирована на примере решения тестовых задач, описанных в [1] и [2].

Постановка задачи

В данной статье делается попытка применить данные теоретические модели к описанию течения и расчету силового взаимодействия с потоком идеальной жидкости решетки тонких профилей в виде пластин бесконечного размаха с конечным числом звеньев, расположенных на одной линии. Геометрические параметры данной решетки и расчетная схема изображены на рис. 1.

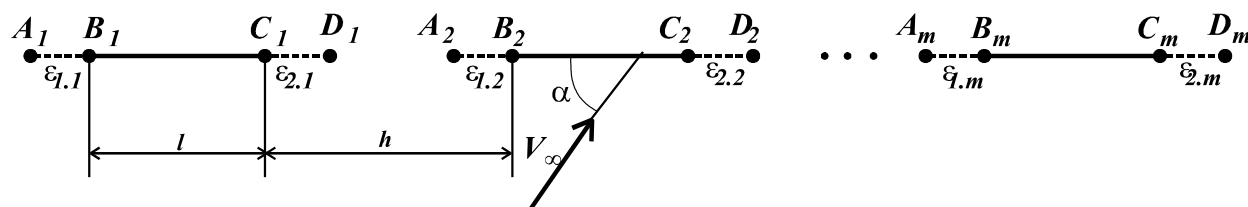


Рис. 1. К постановке задачи об обтекании решетки пластин

Согласно принятой схеме (см. рис. 1) решетка пластин, состоящая из m звеньев длиной l и расстоянием h между соседними звеньями, обтекается потоком идеальной жидкости под углом атаки α . Конечность скорости в поле течения (в данном случае на острых кромках) обеспечивается распределением на

участках ε_{1i} и ε_{2i} гидродинамических особенностей «источник-сток» и «циркуляционных» особенностей, как это делалось в [1] и [2], в зависимости от принятой модели обтекания. При исследовании обтекания решетки отдельно рассмотрим безотрывное обтекание при малых углах атаки и отрывное обтекание решетки при больших углах атаки. Первым проанализируем обтекание решетки при малых углах атаки:

$$\begin{cases} V'_{nK,j}(\gamma_{1,j}, \dots, \gamma_{n+1,j}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) + V_{\infty} \sin \alpha = 0, & K = 1 \dots n, j = 1 \dots m \\ V'_{nBj}(\gamma_{1,j}, \dots, \gamma_{n+1,j}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) + V_{\infty} \sin \alpha = 0, \\ V'_{nCj}(\gamma_{1,j}, \dots, \gamma_{n+1,j}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) + V_{\infty} \sin \alpha = 0, \\ V'_{\tau_B j}(\gamma_{1,j}, \dots, \gamma_{n+1,j}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) - \zeta \cdot V'_{\tau_C}(\gamma_{1,j}, \dots, \gamma_{n+1,j}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

В системе (1) $V'_{nK,j}$ – скорость, индуцированная циркуляционными особенностями, распределенными по системе пластин и на отрезках $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ у концов j -й пластины, в K -й точке удовлетворения граничного условия непротекания j -й пластины (см. рис. 1). Коэффициент ζ , как показано в [1], при моделировании циркуляционного обтекания стремится к $-\infty$.

В процессе численного эксперимента проанализировано влияние расстояния между пластинами на картину распределения особенностей и на величину силового взаимодействия решетки с потоком.

Изучалось циркуляционное обтекание решетки пластин под углом атаки $\alpha = 5^\circ$ для случая, когда расстояние между пластинами стремилось к нулю и равнялось 1% величины звена решетки ($h/l = 0,01$) и для случая большого расстояния между пластинами принималось расстояние между пластинами равное длине звена решетки ($h/l = 1$). Полученные результаты сравнивали с результатами, полученными в [1] для изолированной пластины при том же угле атаки, и экспериментальными данными, взятыми из [4].

Таблица 1

Характеристики силового взаимодействия с потоком решетки пластин и изолированной пластины для $\alpha = 5^\circ$

Расстояние между звеньями	Пластина 1			Пластина 2			Пластина 3			Система пластин		
	c_{xa}	c_{ya}	c_n	c_{xa}	c_{ya}	c_n	c_{xa}	c_{ya}	c_n	c_{xa}	c_{ya}	c_n
$h/l = 1$	0,0631	0,7213	0,7240	0,0417	0,4771	0,4790	0,0290	0,3310	0,3322	0,0446	0,5098	0,5117
$h/l = 0,01$	0,0927	1,0596	1,0636	0,0313	0,3583	0,3597	0,0138	0,3597	0,1581	0,0459	0,5251	0,5271
Пластина										0,0458	0,5230	0,5250
Эксперимент [4]										0,05	0,51	

На рис. 2, 3 изображены картины распределения особенностей, полученные в процессе решения задачи как для изолированной пластины, так и для решетки пластин с указанными выше различными расстояниями между звеньями.

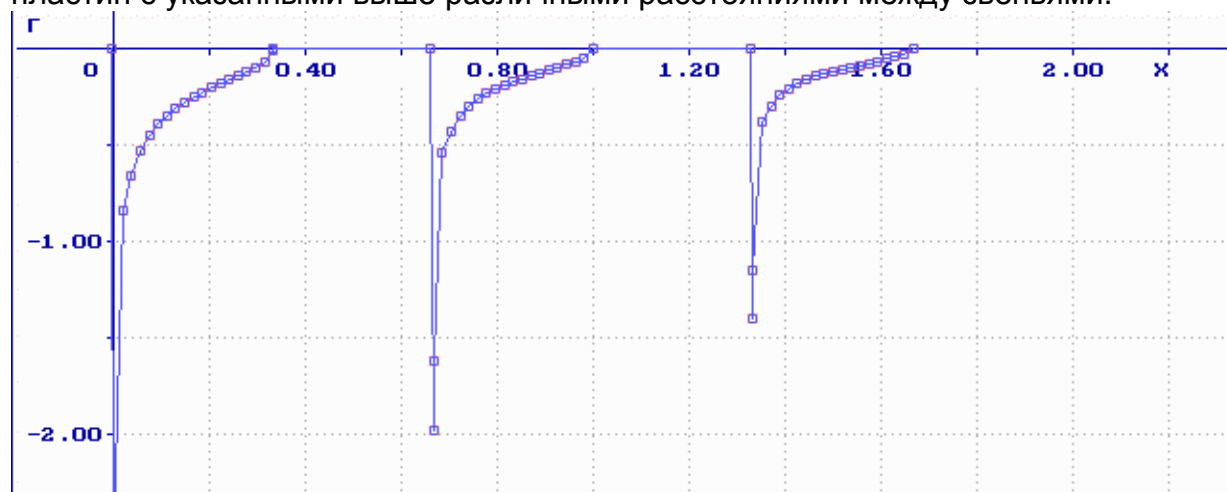


Рис. 2. Распределение особенностей по системе пластин для случая $h / l = 1$

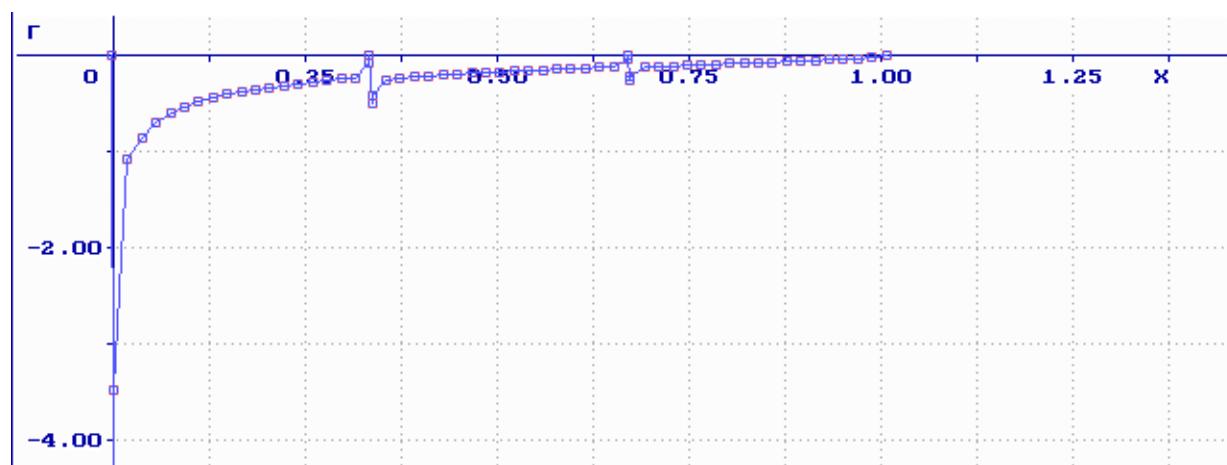


Рис. 3. Распределение особенностей по системе пластин для случая $h / l = 0,01$

Анализируя полученные численные результаты силового взаимодействия решетки и изолированной пластины и картины распределения особенностей по ним, можно сделать вывод о том, что в случае малого расстояния между звеньями решетки картина распределения особенностей по системе пластин стремится к картине распределения особенностей по изолированной пластине [1], а суммарные силовые характеристики связанные со взаимодействием с потоком у решетки пластин стремятся к характеристикам изолированной пластины и удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными [4]. В случае же решетки с расстоянием между звеньями, равном длине звена, по картинам распределения особенностей можно сделать, что каждое звено обтекается как изолированная пластина [1], а осредненные силовые характеристики системы пластин, входящих в решетку, приближаются к характеристикам изолированной пластины.

Далее рассмотрена задача обтекания решетки, состоящей из трех пластин под углом атаки $\alpha = 90^\circ$ в предположениях, описанных в [2], согласно которым пластины обтекаются в режиме отрывного обтекания. Граничными являются условие непротекания на наветренной стороне пластины и условие прилипания на подветренной стороне.

Система уравнений, определяющая решение задачи, имеет вид

$$\begin{cases} V_n^+ K_j (\bar{Q}_j^{n+1}, \bar{\Gamma}_j^{n+1}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) + V_\infty \sin \theta = 0, & K = 1 \dots n \\ V_{ya}^- K_j (\bar{Q}_j^{n+1}, \bar{\Gamma}_j^{n+1}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) = 0, & j = 1 \dots m \\ V_n^+ B_j (\bar{Q}_j^{n+1}, \bar{\Gamma}_j^{n+1}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) + V_\infty \sin \theta = 0, \\ V_n^+ C_j (\bar{Q}_j^{n+1}, \bar{\Gamma}_j^{n+1}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) + V_\infty \sin \theta = 0, \\ V_{ya}^- B_j (\bar{Q}_j^{n+1}, \bar{\Gamma}_j^{n+1}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) = 0, \\ V_{ya}^- C_j (\bar{Q}_j^{n+1}, \bar{\Gamma}_j^{n+1}, \varepsilon_{1,j}, \varepsilon_{2,j}) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

В системе (2) $V_n K, j$, V_{ya} – скорости, индуцированные циркуляционными особенностями и особенностями источник-сток, распределенными по системе пластин и на отрезках ε_1 , ε_2 . Знаки «+» и «-» обозначают наветренную и подветренную стороны пластин, соответственно.

Были также получены характеристики силового взаимодействия с потоком каждого элемента решетки и решетки в целом для этих предельных случаев. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значение коэффициента нормальной силы c_n для решетки пластин и изолированной пластины при угле атаки $\alpha = 90^\circ$

Расстояние между пластинами	$h/l=1$	$h/l=0,01$	Изолированная пластина	Пластина (эксперимент)
Пластина 1	1,9719	1,9169		
Пластина 2	1,9759	1,9816		
Пластина 3	1,9719	1,9169		
Система пластин	1,9732	1,9385	1,9763	1,98

На рис. 4-6 показаны картины распределения особенностей, полученные в процессе решения задачи как для изолированной пластины, так и для решетки пластин с указанными выше различными расстояниями между звеньями.

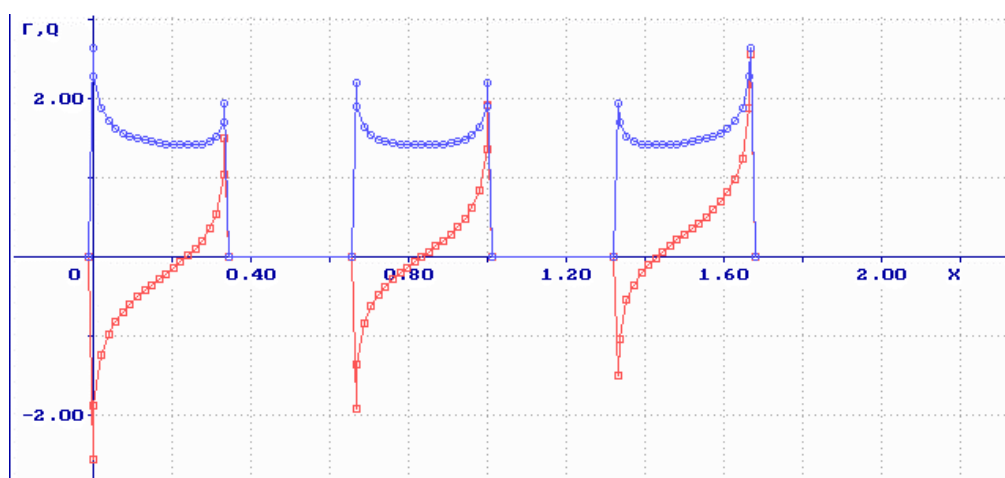


Рис. 5. Распределение особенностей по системе пластин для случая $h/l=1$

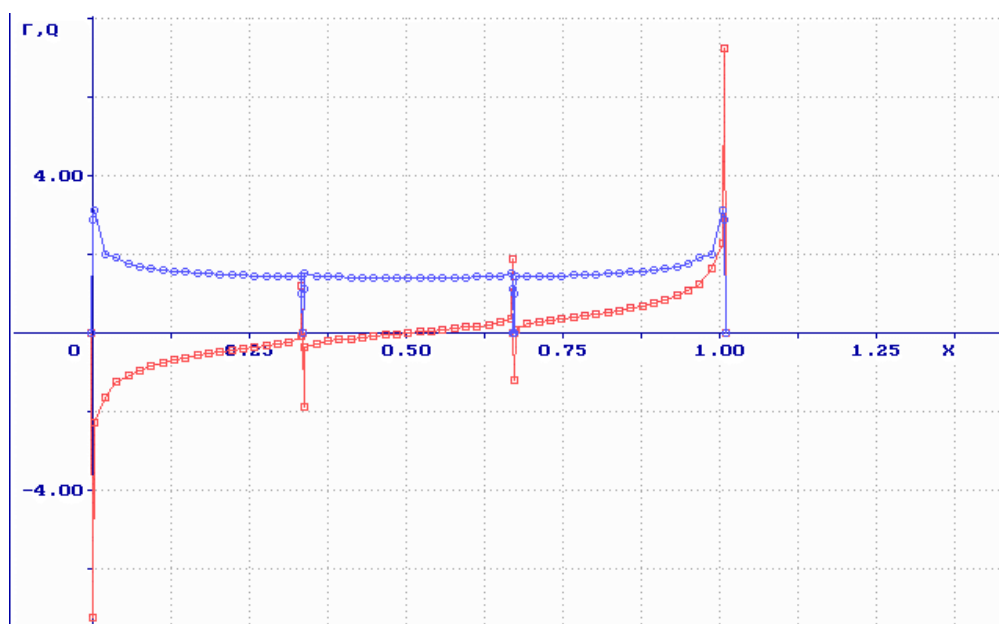


Рис. 6. Распределение особенностей по системе пластин для случая $h / l = 1$

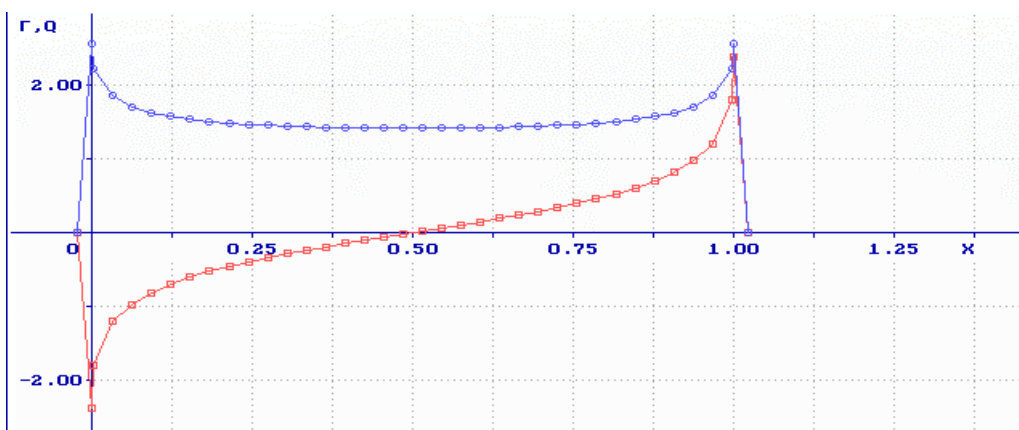


Рис. 7. Распределение особенностей по изолированной пластине

Сравнение полученных результатов показывает, что картины распределения особенностей и характеристики силового взаимодействия каждой из пластин, в случае, когда расстояние между ними велико, стремятся к аналогичным характеристикам изолированной пластины. В то же время, когда расстояние между пластинами стремится к нулю, картина распределения особенностей по системе пластин и силовые характеристики решетки в целом также стремятся к характеристикам изолированной пластины.

Выводы

Полученные качественные и количественные характеристики взаимодействия решетки пластин при малых и больших углах атаки хорошо согласуются с физическими представлениями об обтекании решетки с конечным числом звеньев и дают возможность сделать предположение о возможности применения приведенных выше моделей для описания обтекания решеток с конечным числом звеньев в широком диапазоне изменения углов атаки.

Список литературы

1. Захаренко, В.О. Отрывное обтекание плоской пластины бесконечного размаха при условии конечности скорости во всем поле течения [Текст] / В.О. Захаренко // Авіаційно-космічна техніка і технологія: зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-та ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – Вип. 1(9). – Х., 2004. – С. 45 - 48.
2. Захаренко, В.О. Непрерывное обтекание тонкого профиля [Текст] / В.О. Захаренко // Авіаційно-космічна техніка і технологія: зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-та ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – Вип. 14. – Х., 1999. – С. 12-17.
3. Санжаревский Л.Г. Одно из обобщений теоремы Н.Е. Жуковского о подъемной силе тонкого профиля [Текст] / Л.Г. Санжаревский, В.А. Захаренко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Гос. аерокосм. ун-та. Им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 16(3). – Х., 1999,. – С. 64-68.
4. Hoerner, S.F. Fluid-dynamic drag. Practical information on aerodynamic drag and hydrodynamic resistance [Текст] / S.F. Hoerner. – Bakersfield: Hoerner fluid dynamics, 1965. – 452 p.

Рецензент: д-р техн. наук, профессор В.В. Тюрев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.
Поступила в редакцию 10.12.13

Обтікання решітки профілів при великих і малих кутах атаки

Наведено модель обтікання решітки профілів з кінцевим числом ланок потоком ідеальної рідини. Окремо розглянуто випадок безвідривного обтікання решітки при малих кутах атаки і відривного обтікання при великих кутах атаки близьких, до 90° . Верифікацію проведено на прикладі вирішення модельної задачі щодо розрахунку обтікання решітки пластин нескінченного розмаху, що складається з трьох ланок. Наведені результати числового розрахунку дають можливість зробити припущення про можливість застосування даної моделі до розрахунку обтікання решітки тонких профілів у широкому діапазоні змінення кутів атаки.

Ключові слова: профіль, решітка профілів, обтікання профілю, метод особливостей, аеродинамічний коефіцієнт.

Flow over a cascade of airfoils at small and large angles of attack

In article the model of flow over a cascade of airfoils by stream of ideal liquid is introduced. The case of flow without separation at small angles of attack and flow with separation at large angles of attack close to ninety degrees were considered.

For verification the model problem was solved. This problem consisted on calculation of flow over a cascade of three plane plates of infinite aspect ratio. The results of numerical calculation allow to make a consumption about possibility of application of this model for calculation of flow over a cascade of airfoils at wide range of angles of attack.

Keywords: airfoil, cascade of airfoils, flow over an airfoil, method of peculiarities, aerodynamic coefficient.