

УДК 533.682

РАСЧЁТ ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ ПЛАСТИНЫ ВБЛИЗИ ЭКРАНА МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ВИХРЕЙ

© Гуренков А.С., Климашин С.В., Фролов В.А.

e-mail:gurenkovas@mail.ru

Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королёва, г. Самара, Российская Федерация

Экранный эффект возникает при полёте летательного аппарата на близком расстоянии от экрана (земли, воды). Помимо самолётов, которые испытывают влияние экрана на режимах взлёта и посадки, существует целый класс летательных аппаратов, основанных на этом эффекте – экранопланы. Различным аспектам исследования этого эффекта посвящено большое количество работ [1-5]. В нашем исследовании произведён расчёт подъёмной силы пластины вблизи экрана.

Математическая модель основана на методе дискретных вихрей (МДВ). Разработка модели прошла в два основных этапа: первый заключался в разработке модели расчёта подъёмной силы пластины в безграничном несжимаемом потоке газа, при различных углах атаки. Основываясь на известных исследованиях [1, с.155], утверждающих, что для плоской изолированной пластины значение коэффициента подъёмной силы не зависит от числа разбиений на участки, разработана математическая модель расчёта и программное приложение, визуализирующее линии тока вблизи пластины. На втором этапе произведено моделирование влияния экрана методом отражения. Для нахождения подъёмной силы был применён МДВ. Его сущность заключается в том, что плоская пластина разбивается на некоторое количество отрезков, на каждом из которых на расстоянии $\frac{1}{4}$ от начала размещается вихрь, а на расстоянии $\frac{3}{4}$ размещается контрольная точка, в которой выполняется условие не протекания. Дальнейшие вычисления сводятся к нахождению неизвестных циркуляций дискретных вихрей посредством решения СЛАУ

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{\Gamma} = \mathbf{R},$$

в которой \mathbf{A} – матрица аэродинамического влияния; $\mathbf{\Gamma}$ – вектор-столбец неизвестных циркуляций; \mathbf{R} – вектор-столбец правых частей, определяемых невозмущённым потоком на бесконечности. Матрица аэродинамического влияния заполняется по следующей формуле:

$$A_{i,j} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{(x_{c,i} - x_{v,j}) \cos \alpha + (y_{c,i} - y_{v,j}) \sin \alpha}{(x_{c,i} - x_{v,j})^2 + (y_{c,i} - y_{v,j})^2} - \frac{(x_{c,i} - x_{v,j}) \cos \alpha + (y_{c,i} - \bar{y}_{v,j}) \sin \alpha}{(x_{c,i} - x_{v,j})^2 + (y_{c,i} - \bar{y}_{v,j})^2} \right),$$

где $x_{c,i}, y_{c,i}$ – координаты i -й контрольной точки;

$x_{v,j}, y_{v,j}$ – координаты j -го дискретного вихря;

$\bar{y}_{v,j}$ – координата j -го отражённого дискретного вихря.

Наличие экрана изменяет значение подъёмной силы пластины. На рисунке показан расчёт относительного коэффициента подъёмной силы $\bar{C}_{ya} = C_{yaH} / C_{yaH=\infty}$, показывающий во сколько раз, наличие экрана увеличивает или уменьшает подъёмную силу пластины. Расчёты выполнены при количестве граничных элементов $n=125$.

Расчёты подтвердили известный факт [1, 3,5], что на небольшом расстоянии от экрана подъёмная сила пластины увеличивается при малых углах атаки и уменьшается при больших углах (см. рис.).

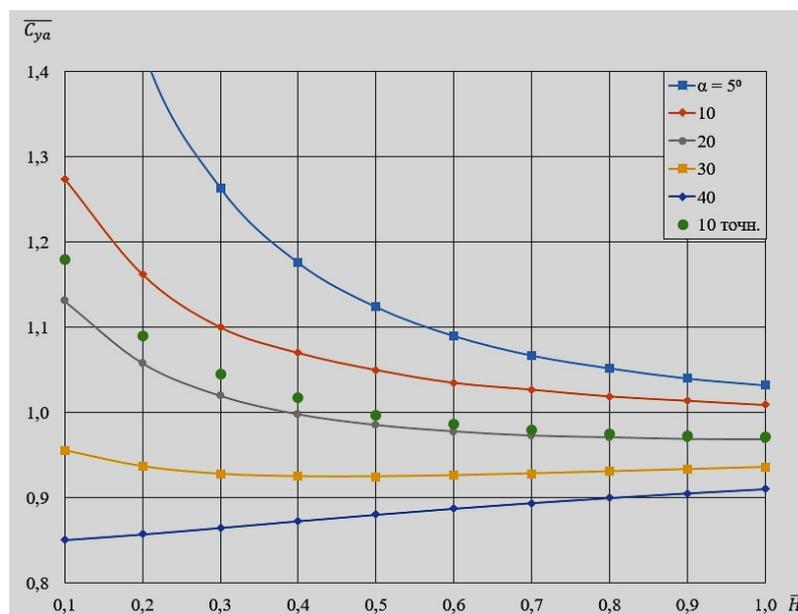


Рис. Зависимость относительного коэффициента подъёмной силы от относительной высоты над экраном и углов атаки

Сравнение полученного результата с точным решением [5] для угла атаки 10 град, погрешность находится в пределах 7%, что можно объяснить численной схемой рассматриваемого метода.

На основании полученных результатов можно констатировать, что чем меньше расстояние от экрана, тем больше подъёмная сила пластины, которая по мере приближения к экрану монотонно увеличивается для углов атаки вплоть до 20 градусов, и превышает значение той же величины при обтекании безграничным потоком. С увеличением угла атаки этот эффект постепенно пропадает, и подъёмная сила пластины даже уменьшается при приближении к экрану (см. рисунок, $\alpha=40$ град). Для угла атаки 30 град наблюдается картина немонотонного изменения коэффициента подъёмной силы. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании тонких аэродинамических профилей для полётов вблизи земли.

Библиографический список

1. Белоцерковский, С.М. Тонкая несущая поверхность в дозвуковом потоке газа. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1965. – 242 с.
2. Белоцерковский, С.М., Лифанов, И.К., Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 256 с.
3. Ивантеева, Л.Г., Коновалов, С.И., Павловец, Г.А. Расчёт аэродинамических характеристик профиля вблизи экрана при заданных значениях его геометрических параметров // Учёные записки ЦАГИ. – 1980. – Т. XI. – №2. – С.1-9.
4. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. – 7-е., изд. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
5. Терентьев, А.Г., Картузова, Т.В. Численное исследование обтекания профиля вблизи экрана // Изв. национ. акад. наук и искусств Чув. рес. – 1996. – №6. – С.94-104.