

- 3 Шахов В.Г., Лагно О.Г. Применение метода "крупных частиц" для расчета обтекания биконической компоновки обтекателя / Самолетостроение России. проблемы и перспективы Тезисы докл. II Всерос. конференции. Самара. 2000. – С.71-72.
- 4 Лагно О.Г., Шахов В.Г. Влияние цилиндрического углубления в носовой части осесимметричного тела вращения на его сопротивление // Сборник научно-технических статей по ракетно-космической тематике, Самара. 2001. – С 67-72

УДК 533 69 011

Ляскин А.С.

КОЛЕБАНИЯ ПО ТАНГАЖУ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ ЕДИНИЧНОГО УДЛИНЕНИЯ

Колебания по тангажу характерны, например, для оперения маневренных самолетов на некоторых режимах полета. Поскольку оперение, как правило, имеет тонкий симметричный профиль и сравнительно малое удлинение, то вполне правомерно будет рассматривать его как плоскую пластину малого удлинения. В данной работе рассматриваются колебания квадратной (т.е. с удлинением $\lambda=1,0$) пластины. Для численного определения интегральных аэродинамических характеристик колеблющейся пластины используется метод дискретных вихрей (МДВ) [1]. В последнее время все большее распространение получают так называемые «сеточные» методы математического моделирования, основанные на решении полных уравнений Навье-Стокса или их упрощенных аналогов на сетках, покрывающих некоторую расчетную область. Такие методы имеют хорошее математическое обоснование и высокую точность. Однако МДВ, относящийся к так называемым «бессеточным» методам, по-прежнему представляет большой практический интерес. По сравнению с сеточными методами МДВ обладает в общем случае следующими преимуществами:

автоматическое выполнение граничных условий «на бесконечности», что снимает проблему влияния границ;

система вихревых элементов, описывающих обтекаемое тело, имеет размерность на единицу меньше размерности задачи, что существенно упрощает автоматическое разбиение,

необходимое для получения достоверных результатов число вихревых элементов, описывающих обтекаемое тело и азродинамический след за ним, как минимум, на порядок меньше, чем число ячеек необходимой расчетной сетки, что ведет к существенному снижению вычислительных затрат.

Кроме того, в рассматриваемой задаче проявляется еще одно преимущество МДВ – простота учета граничных условий, связанных с движением (в данном случае - колебаниями) обтекаемого тела. На сегодняшний день существуют коммерческие вычислительные пакеты, позволяющие решать задачи азрогидродинамики с использованием подвижных деформируемых (геометрически адаптивных) расчетных сеток. Однако их использование имеет ряд недостатков, из которых наиболее существенными являются следующие:

на пользователя возлагается задача описания всех необходимых изменений сетки, причем данная процедура плохо поддается автоматизации;

использование подвижных сеток ведет к существенному увеличению требуемого объема памяти и вычислительных затрат.

Эти недостатки ограничивают использование сеточных методов в задачах, подобных рассматриваемой, и делают их нецелесообразным, например, на этапе проектирования для оценки азродинамических характеристик множества различных конфигураций.

Однако для решения задачи об обтекании колеблющейся пластины традиционная формулировка метода дискретных вихрей требует ряда дополнений.

Одним из недостатков метода дискретных вихрей является необходимость постулирования линий отрыва потока на обтекаемой поверхности. Традиционно такими линиями считают заднюю и боковые кромки (в случае так называемого безотрывного обтекания), а также переднюю кромку (в случае отрывного обтекания). Однако в случае колебания пластины по тангажу характер обтекания может меняться с отрывного на безотрывный и обратно. В связи с этим появляется необходимость в ведении некоторого критерия, определяющего характер обтекания. В качестве такого критерия в данной работе использовался мгновенный местный угол атаки α_n [2]. Переход от безотрывного обтекания к отрывному происходит, если α_n превышает по модулю 15° , а переход от отрывного обтекания к безотрывному происходит при уменьшении абсолютной величины α_n до 10° . Кроме того, при смене знака α_n происходит разрыв боковой вихревой пелены, что позволяет корректно моделировать такое явление, как изменение направления закрутки концевой вихря при изменении угла атаки.

Течение предполагается симметричным, и поэтому моделируется только половина пластины и следа за ней. Вдоль хорды пластины располагается 10 вихревых элементов, вдоль полуразмаха - 5. Величина безразмерного шага по времени Δt равна 0,08

При расчете отрывного обтекания используются две схемы реализации МДВ. Первая схема предполагает использование для моделирования пластины и следа за ней четырехугольных вихревых рамок, интенсивности которых не зависят друг от друга. Вторая схема, описанная в [1], основана на использовании так называемых суммарных вихревых отрезков. Во второй схеме интенсивности поперечных вихрей являются независимыми, а интенсивности продольных вихрей связаны с интенсивностями поперечных вихрей алгебраическими соотношениями. При этом поперечный вихрь Γ_r^I , сходящий с передней кромки в момент времени t , связан продольными вихрями с поперечным вихрем Γ_r^{II} , сходящим с задней кромки в тот же момент (рис. 1). Часть этих продольных вихрей остается присоединенной к поверхности пластины, а часть находится в свободном потоке.

В первой схеме при смене режима обтекания передней кромки с отрывного на безотрывный никакой специальной перестройки вихревой системы не требуется – поскольку вихревые рамки считаются независимыми, сошедшие в поток свободные вихри не имеют никакой связи с присоединенными. Для второй схемы предлагается следующий вариант изменения вихревой системы. Часть вихревой пелены, сходящей с передней кромки, сносится потоком, оставаясь в то же время присоединенной к поверхности пластины (см. рис. 2).

В своем движении сошедшая с передней кромки вихревая пелена «сматывает» с поверхности пластины продольные вихри, соединяющие составляющие ее поперечные вихри с вихрями, входящими в хвостовую вихревую пелену.

При расчете по первой схеме используется стандартная процедура расчета давления, описанная в [1], т.е. нестационарный член уравнения Коши-Лагранжа определяется как изменение циркуляции скорости по замкнутому контуру, пересекающему пластину в точке определения давления. При расчете по второй схеме используется процедура, основанная на непосредственном определении скачка потенциала индуцированной скорости при переходе через пластину [2]. При этом вводится фиктивная толщина пластины $\Delta_f = 0,005$.

На рис. 3. приводятся зависимости коэффициентов подъемной силы C_{ya} от безразмерного времени τ , рассчитанные для пластины, располагающейся под углом атаки 10° и совершающей относительно этого положения колебания вокруг оси, находящейся на расстоянии

половины хорды от передней кромки, с амплитудой 10° и безразмерным периодом $T=1,6$. Пунктиром показано среднее по времени значение.

Высокочастотные колебания, хорошо заметные на графиках, связаны с эффектами от прохождения вихрей, сходящихся с передней кромки, над контрольными точками. Они характерны для всех расчетов с отрывом на передней кромке. Для устранения этих эффектов полученные зависимости подвергались частотной фильтрации – частоты, превышающие частоту колебания пластины более чем в 4 раза, отбрасывались. На рис. 4 приведены те же зависимости после фильтрации.

Из графиков на рис. 4 видно, что зависимости, полученные с помощью двух разных расчетных схем, в общем, совпадают.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Белоцерковский С. М., Ништ М. И. Отрывное и безотрывное обтекание тонких крыльев идеальной жидкостью. М.: Наука, 1978.

Ляскин А. С. Метод дискретных вихрей в задачах аэродинамики деформируемых поверхностей. // Студенческая наука аэрокосмическому комплексу. Сборник трудов СНО ФИА, выпуск 4, 2001 г.



Рис. 1. Вихревая схема при отрывном обтекании передней кромки



Рис. 2. Изменение вихревой схемы при смене характера обтекания передней кромки

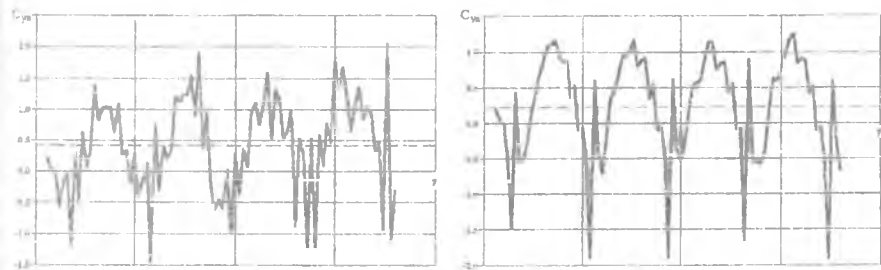


Рис. 3. Зависимости коэффициента подъемной силы колеблющейся пластины от безразмерного времени

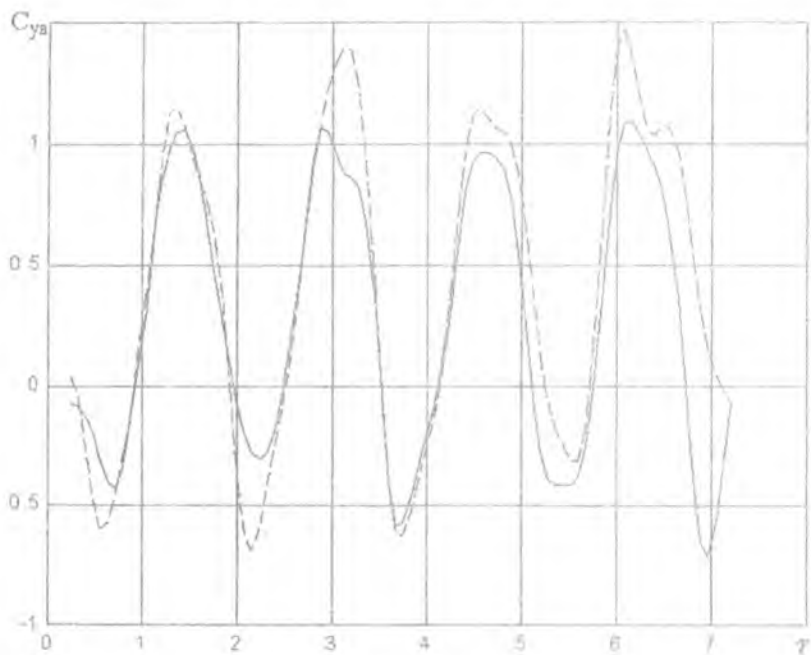


Рис. 4. Зависимости коэффициента подъемной силы колеблющейся пластины от безразмерного времени после частотной фильтрации (--- первая схема; ——— вторая схема)