

В таблицу приведены значения координат груза на каждом шаге оптимизации и значения величины α_1 , вычисленные по методу возмущений. Для сравнения дается точное решение, полученное по стандартной программе математического обеспечения ЭВМ (EUGM - определение собственных значений и векторов действительной матрицы).

Библиографический список

1. Беллман Р. Введение в теорию матриц. М.: Наука, 1969.
2. Дж.Ф. Болдуин, С.Г.Хаттон. Собственные формы колебаний модифицированных конструкций // Аэрокосмическая техника. 1986. № 4. С.136-144.
3. Шклярчук Ф.Н., Гришанина Т.В. Колебания неконсервативных систем, М.: МАИ, 1989.
4. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975.
5. Шклярчук Ф.Н. Колебания и аэроупругость летательных аппаратов. М.: МАИ, 1983.

УДК 539.4.629.7

В.Г.Гайнутдинов, В.А.Павлов

О ДИНАМИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ СОСТАВНОЙ ЭЛАСТИЧНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Предлагается теория и алгоритм динамического расчета весьма гибких несущих поверхностей с управляющими законцовками. Приводятся результаты аэроупругого расчета. Исследуется поведение эластичной лопасти в потоке газа в зависимости от положения центра тяжести груза, расположенного на конце лопасти.

Весьма гибкие несущие поверхности находят все более широкое применение в практике авиастроения. Несущие свойства таких поверхностей определяются растягивающими поверхность внешними усилиями.

Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций. Куйбышев, 1990

собственные изгибные и крутильная жесткость эластичной лопасти незначительны. Для повышения эффективности управления эластичной лопастью используются поворотные или отклоняющиеся законцовки.

В работе рассматриваются приемы динамического расчета таких весьма гибких несущих поверхностей с управляющими жесткими законцовками. Матричное уравнение геометрически нелинейной теории движения эластичной лопасти строится, исходя из принципа возможных перемещений:

$$\sum_K \delta W_K + \delta \sum_n \bar{R} (\bar{U}_{(1)} - \bar{U}_{(2)}) - \sum_K \delta A_{(K)} + \sum_K \int_{S_{P(K)}} \rho_{(K)} \delta \bar{U}_{(K)} \bar{U}_{(K)} d\Omega_{(K)} = 0, \quad (1)$$

где $\delta A_{(K)} = \int_{S_{P(K)}} \rho_{(K)} \delta \bar{U}_{(K)} \bar{U}_{(K)} d\Omega_{(K)}$ - виртуальные работы внешних и инерционных сил K -того звена конструкции; \bar{R} - обобщенно сосредоточенные реакции взаимодействия пары звеньев; n - число точек сопряжения; $\bar{U}_{(1)}$, $\bar{U}_{(2)}$ - обобщенные перемещения точек стыковки пары звеньев; $W_{(K)}$ - энергия деформирования K -того звена. Энергия деформирования эластичной поверхности определяется так:

$$W = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \left[\frac{E}{1-\mu^2} (\bar{\alpha}^{\gamma\delta} \bar{\alpha}^{\alpha\beta} \bar{\epsilon}_{\gamma\delta} \bar{\epsilon}_{\alpha\beta} + \frac{E}{1+\mu} (\bar{\alpha}^{\beta\delta} \bar{\alpha}^{\alpha\gamma} \bar{\epsilon}_{\gamma\delta} \bar{\epsilon}_{\alpha\beta}) \right] d\Omega, \quad (\alpha, \beta, \delta, \gamma = 1, 2), \quad (2)$$

где E - модуль упругости; μ - коэффициент Пуассона; $\bar{\epsilon}_{\alpha\beta}$ - ковариантные компоненты тензора деформаций; $\bar{\alpha}^{\alpha\beta}$ - контравариантные компоненты метрического тензора деформированной поверхности. Энергией поперечного сдвига пренебрегаем. Компоненты тензора деформаций $\bar{\epsilon}_{\alpha\beta}$ записываются так:

$$2\bar{\epsilon}_{\alpha\beta} = \bar{R}_{\alpha} \bar{U}_{,\beta} + \bar{U}_{,\alpha} \bar{R}_{\beta} - \bar{U}_{,\alpha} \bar{U}_{,\beta}, \quad (3)$$

где \bar{R}_{α} - базисные векторы деформированной поверхности; $\bar{U}_{,\alpha}$, $\bar{U}_{,\beta}$ - производные вектора перемещений.

Перемещения, изменяющие геометрию эластичной поверхности, принимаются конечными, а деформации малыми. Выражение (3) принимает следующий вид:

$$2\tilde{E}_{\alpha\beta} = U_{,\beta}^{\gamma} (\vec{e}_{\gamma} \cdot \vec{R}_{\alpha}) + U_{,\alpha}^{\gamma} (\vec{e}_{\gamma} \cdot \vec{R}_{\beta}) + \\ + w_{,\beta} (\vec{n} \cdot \vec{R}_{\alpha}) + w_{,\alpha} (\vec{n} \cdot \vec{R}_{\beta}), \quad (\alpha, \beta, \gamma = 1, 2), \quad (4)$$

где \vec{e}_{γ} , \vec{n} - единичные орты декартовой системы координат.

Управляющую законцовку можно считать жесткой и рассматривать как твердое тело. При необходимости матрица жесткости упругой законцовки может быть построена с использованием алгоритмов, изложенных в работе /1/.

Деформируясь, лопасть «приобретает» необходимую жесткость для восприятия поперечной аэродинамической нагрузки. Соотношения (1)-(4) позволяют построить матрицу жесткости деформированной поверхности. Матрицы жесткости лопасти и управляющей законцовки формируются независимо. В общей матрице жесткости всей составной поверхности они связаны условно сопряженно. Данный подход построения уравнений равновесия составных упругих тел описан в работе /2/. Матрицы инерционных коэффициентов каждой поверхности строятся численно в соответствии с принятой кинематической гипотезой. Для интегрирования используется аппарат интегрирующих матриц /3/. Аэродинамическое воздействие на составную поверхность определяется по линейной вихревой теории метода дискретных вихрей. Задача динамического расчета составной лопасти решается методом временных слоев. Принята схема Ньюмарка. Для повышения устойчивости счета достаточно жесткая управляющая законцовка представлялась твердым телом. Усилиями сопряжения с поверхностью являлись три сосредоточенные силы и три момента.

Особенностью эластичной лопасти является совпадение условных линий центров жесткости и линий центров жесткости с линиями центров масс при одинаковом распределении масс по хорде во всех сечениях лопасти. Натяжение лопасти осуществляется за счет центробежных сил. Наиболее эффективным в этом случае является размещение груза в концевом сечении. В зависимости от положения центра масс груза по хорде меняется поведение такой лопасти в потоке.

На рис.1 приведен график суммарной аэродинамической силы эластичной лопасти в осевом потоке при различном положении центра масс груза по хорде: $\bar{X}_{m(1)} = 0,5$; $\bar{X}_{m(2)} = 0,375$; $\bar{X}_{m(3)} = 0,25$. Длина лопасти $L = 3$ м; $b = 0,175$ м; суммарная масса лопасти $m = 3$ кг;

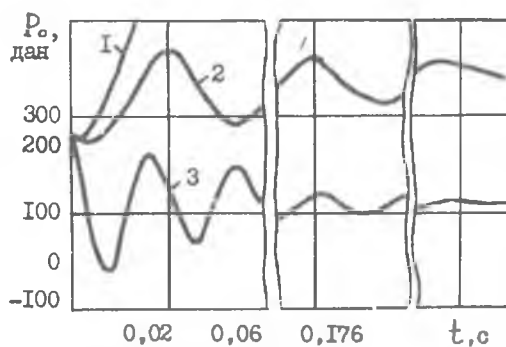


Рис. 1

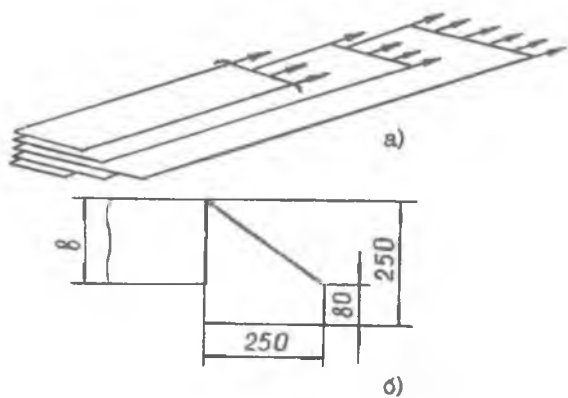


Рис. 2

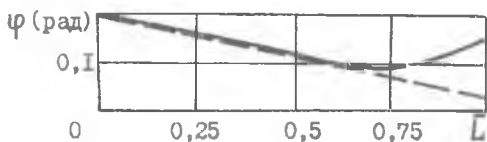


Рис. 3

масса концевой груза $m_1 = 1,2$ кг; угловая скорость вращения $\omega = 71$ рад/с; начальный угол атаки $0,2$ рад.

Для эффективной работы лопасти необходимо обеспечить не только определенную центровку, но и натяжение поверхности. Расчеты показывают, что при использовании одной поверхности это требование обеспечить невозможно. Для выполнения этого требования предлагается использовать пакет равномерно растянутых центробежными силами лент так как это показано на рис.2а. В этом случае обеспечивается центровка и натяжение поверхности. При использовании одной ленты задняя кромка натяжения не имеет, если центр масс груза смещать вперед.

Использование управляющей законцовки позволяет обеспечить необходимый угол атаки на концевой части лопасти и, следовательно, повысить ее эффективность. На рис.3 показан угол атаки по сечениям для лопасти без законцовки (пунктирная линия) и лопасти с законцовкой (сплошная линия), форма в плане которой показана на рис.2б.

Библиографический список

1. Гайнутдинов В.Г. Прикладная теория и алгоритм расчета авиационных конструкций в геометрически нелинейной постановке // Изв. вузов. Авиационная техника. 1988. № 2. С.15-18.

2. Паймушин В.Н. К вариационным методам решения задач сопряжения деформируемых тел: Докл. АН СССР. 1983. Т.273. № 5. С.1083-1084.

3. Вахитов М.Б. Интегрирующие матрицы - аппарат численного решения задач строительной механики // Изв. вузов. Авиационная техника. 1966. № 3. С.50-60.

УДК 620.192.001.24

Э.И.Миноранский, С.А.Михайлов, О.Д.Сычев

НОРМИРОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ СЛУЧАЙНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Рассматривается методика нормирования несущей способности элементов конструкций л.а. Методика основана на положениях общей теории надежности

Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций. Куйбышев, 1990
