

CFD simulation of elliptical ring wing were made. It was found that such design has a number of potential benefits: increased stall angle of attack can provide STOL performance, while good directional stability can make aircraft easier to handle in cross-wind conditions.

С помощью коммерческих программных пакетов вычислительной гидроаэродинамики (CD-Adapco STAR-CD и ANSYS FLUENT) проведено численное моделирование обтекания замкнутого эллиптического крыла «кольцевого», описанного в статье [1]. Результаты расчетов показали, что данная схема действительно обладает рядом потенциальных преимуществ по сравнению с «классическим» бипланом. Например, ожидаемое

заметное увеличение критического угла атаки может положительно сказаться на взлетно-посадочных характеристиках. Кроме того, данная схема обладает хорошей путевой устойчивостью, что может облегчить пилотирование самолета в условиях бокового ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Скоренко Г. Окольцованный самолет. // Популярная механика, 2010, №4

УДК 539.3

РЕШЕНИЕ НЕСВЯЗАННОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОУПРУГОСТИ С ЗАДАНЫМИ НА ГРАНИЦЕ ТЕЛА ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ И ТЕПЛОВЫМ ПОТОКОМ

© 2012 Макарова И.С.

Самарский государственный университет путей сообщения, Самара

В работе предложен метод решения несвязанной задачи термоупругости с граничными условиями первого рода. Найдено аналитическое решение поставленной задачи для однородного изотропного тела произвольной формы, ограниченного кусочно-гладкой поверхностью.

Краевая задача термоупругости, граничные условия первого рода, задача теплопроводности, задача Неймана, преобразование Фурье.

Повышение прочности и надежности узлов и конструкций летательных аппаратов предполагает необходимость диагностики теплового и термонапряженного состояния элементов, работающих в условиях нестационарного нагрева, что в свою очередь требует предварительных исследований как экспериментального, так и теоретического характера. Моделирование процессов деформирования тел, находящихся в условиях нагрева, может быть основано на численном и аналитическом решении краевых задач термоупругости.

Ограничимся случаем квазистатической несвязанной задачи термоупругости, представляющей наибольший интерес с точки зрения экспериментальных исследований машин и конструкций. Рассмотрим линейно-упругое, однородное, механически и

термически изотропное тело произвольной формы объема V , ограниченное поверхностью S . На поверхности S известны вектор термоупругих перемещений $u_i(\vec{r}, t)$ и тепловой поток. Требуется в односвязной области V найти решение нестационарной квазистатической задачи термоупругости:

$$\sigma_{ij,j}(\vec{r}, t) + F_i(\vec{r}, t) = 0, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ij}(\vec{r}, t) = \frac{1}{2}(u_{i,j}(\vec{r}, t) + u_{j,i}(\vec{r}, t)), \quad (2)$$

$$\sigma_{ij}(\vec{r}, t) = E_{ijkl} \varepsilon_{kl}(\vec{r}, t) - c_{ij} \Theta(\vec{r}, t), \quad (3)$$

$$\left(\Delta - \frac{1}{\chi} \frac{\partial}{\partial t} \right) \Theta(\vec{r}, t) = -\frac{1}{\chi} Q(\vec{r}, t), \quad (4)$$

с начально-краевыми условиями

$$u_i(\vec{r}, t) \Big|_{\vec{r} \in S} = u_i^S(\vec{r}, t), \quad (5)$$

$$\Theta(\vec{r}, 0) = \Theta_0(\vec{r}), \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial \Theta(\bar{r}, t)}{\partial \bar{n}} \right|_{\bar{r} \in S} = \psi^S(\bar{r}, t). \quad (7)$$

Здесь $\sigma_{ij}(\bar{r}, t)$, $\varepsilon_{ij}(\bar{r}, t)$ – компоненты тензоров напряжения и деформации; $F_i(\bar{r}, t)$ – составляющие массовой силы; $u_i^S(\bar{r}, t)$ – компоненты вектора перемещений на поверхности тела S ; E_{ijpq} – компоненты тензора упругих постоянных; c_{ij} – компоненты тензора термоупругих постоянных; Δ – оператор Лапласа; $\bar{r} = \bar{r}(x_1, x_2, x_3)$; Θ – малое приращение температуры; $\chi = \frac{K}{\delta}$ – коэффициент температуропроводности, K – коэффициент теплопроводности, δ – удельная теплоемкость единицы объема; $Q(\bar{r}, t) = \frac{q(\bar{r}, t)}{\delta}$, $q(\bar{r}, t)$ – количество тепла, производимое в единице объема за единицу времени; $\psi^S(\bar{r}, t) = -\frac{1}{K} q_s(\bar{r}, t)$, $q_s(\bar{r}, t)$ – плотность теплового потока через поверхность тела.

Рассматриваемая несвязанная задача термоупругости распадается на начально-краевую задачу теплопроводности с заданным на границе тепловым потоком (4), (6), (7) – задачу Неймана, и краевую задачу линейной теории упругости (1) – (3), (5).

Решение задачи Неймана получено в работе [1]. Краевая задача (1) – (3), (5) с помощью тензора Кельвина – Сомильяны $K_{ip}(\bar{r}, \bar{\xi})$ сводится к однородной краевой задаче в перемещениях [2]:

$$L_{ip} u_p''(\bar{r}, t) = 0, \quad (8)$$

$$u_i''(\bar{r}, t) \Big|_{\bar{r} \in S} = u_i^S(\bar{r}, t) - u_i'(\bar{r}, t) \Big|_{\bar{r} \in S}.$$

Здесь L_{ip} – компоненты оператора Ламе,

$$u_i''(\bar{r}, t) = u_i(\bar{r}, t) - u_i'(\bar{r}, t), \quad (9)$$

$$u_i'(\bar{r}, t) = - \int_{R^3} K_{ip}(\bar{r}, \bar{\xi}) \Phi_p(\bar{\xi}, t) d\bar{\xi}, \quad (10)$$

$$\Phi_i(\bar{r}, t) = c_{ij} \Theta_{,j}(\bar{r}, t) + F_i(\bar{r}, t) \quad (11)$$

– компоненты вектора обобщенных массовых сил.

Будем искать решение краевой задачи (1) – (3), (5) в виде:

$$u_i''(\bar{r}, t) = - \int_{V'} K_{ip}(\bar{r} - \bar{\xi}) \Phi_p'(\bar{\xi}, t) d\bar{\xi}. \quad (12)$$

Здесь $\Phi_p'(\bar{\xi}, t)$ – компоненты вектора массовых сил, распределенных по объему $V' = R^3 - V$.

Идея метода заключается в подборе такой функции $\Phi_p'(\bar{\xi}, t)$, чтобы удовлетворялись граничные условия краевой задачи (8). Для этого в (12) положим $\bar{r} \in S$, умножим обе части полученного соотношения скалярно на величину $\mathbf{n}_l(\bar{r}) e^{-i\bar{k} \cdot \bar{r}}$ (здесь $\mathbf{n}_l(\bar{r})$ – l -ая компонента вектора нормали к поверхности тела), проинтегрируем по поверхности тела S и в полученном равенстве перейдем от интеграла по поверхности к интегралу по объему:

$$u_l^*(\bar{k}, t) = - \int_{V'} \left[K_{lj,i}(\bar{r} - \bar{\xi}) - ik_l K_{lj}(\bar{r} - \bar{\xi}) \right] \times \\ \times e^{-i\bar{k} \cdot \bar{r}} \Phi_j'(\bar{\xi}, t) d\bar{\xi} d\bar{r}, \quad (13)$$

где

$$u_l^*(\bar{k}, t) = \int_S [\mathbf{u}^S(\bar{r}_S, t) - \mathbf{u}'(\bar{r}_S, t)] \mathbf{n}_l(\bar{r}) e^{-i\bar{k} \cdot \bar{r}} dS(\bar{r}). \quad (14)$$

Производя замену переменных $\bar{w} = \bar{r} - \bar{\xi}$, $\bar{r} = \bar{w} + \bar{\xi}$ и применяя теорему о свертке по конечной области, находим соотношения для определения неизвестных компонент Фурье-образа обобщенных массовых сил $\Phi_j^*(\bar{k}, t)$:

$$u_l^*(\bar{k}, t) = [ik_l K_{lj}^*(\bar{k}) - K_{lj,i}^*(\bar{k})] \cdot \Phi_j^*(\bar{k}, t) \quad (15)$$

Здесь

$$K_{lj}^*(\bar{k}) = \int_{\bar{w}} K_{lj}(\bar{w}) \cdot e^{-i\bar{k} \cdot \bar{w}} d\bar{w},$$

$$K_{lj,i}^*(\bar{k}) = \int_{\bar{w}} \frac{\partial K_{lj}(\bar{w})}{\partial w_i} \cdot e^{-i\bar{k} \cdot \bar{w}} d\bar{w}, \quad (16)$$

$$\Phi_j^*(\bar{k}, t) = \int_{\bar{w}} \Phi_j'(\bar{\xi}, t) \cdot e^{-i\bar{k} \cdot \bar{\xi}} d\bar{\xi}.$$

Выполняя обратное преобразование Фурье, находим компоненты вектора массовых сил, и, после их подстановки в (12), получаем выражение для определения величины $u_i''(\bar{r}, t)$.

Окончательно, решение краевой задачи (1) – (3), (5) записывается в виде:

$$u(\bar{r}, t) = - \int_{\bar{R}^3} K_{ip}(\bar{r}, \bar{\xi}) \left(c_{pj} \Theta_{,j}(\bar{\xi}, t) + F_p(\bar{\xi}, t) \right) d\bar{\xi} - \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{\bar{V}} \int_{\bar{R}^3} K_{ip}(\bar{r}_S - \bar{\xi}) R_{pq}(\bar{k}) u_j^*(\bar{k}, t) e^{i\bar{k}\cdot\bar{\xi}} d\bar{k} d\bar{\xi}, \quad (17)$$

где $R_{ij}(\bar{k})$ – матрица, обратная матрице $\left[ik_l K_{lj}^*(\bar{k}) - K_{lj,l}^*(\bar{k}) \right]$ из соотношения (15).

Таким образом, получено аналитическое решение несвязанной задачи термоупругости с граничными условиями первого рода в условиях, когда на границе тела задан вектор перемещений и тепловой поток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ГРАЖДАНСКИЙ САМОЛЕТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

© 2012 Максимович В.З., Мухамедов Ф.А., Юргенсон С.А.

ЗАО «ОКБ Мухамедов», Московский Авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва

Fm-21 is a vertical take-off and landing plane, that will allow to create an additional niche in the country's transport traffic. It uses an integrated circuit that consists of profiled bearing «disk + panel», with a lifting fan located in a disk-like centerwing. This aircraft will allow business transport to descend from one-dimensional space to two-dimensional space and to start midair acclimating of cities and metropolises.

Недостатками уже созданных самолетов вертикального взлета и посадки (СВВП): XV-5А, истребителей «Харриер», Як-141, F-35, конвертоплана V-22 «Оспрей» и других является попытки привязать несущие винты, или подъемные вентиляторы, или подъемные ТРД (один, или целый их пакет), или сочетание их всех на самолете классической фюзеляжной схемы. Но, принимая во внимание природу СВВП – вертикальный взлет, целесообразней сделать наоборот, создать летательный аппарат с новой аэродинамикой под подъемную силовую установку.

Проект Fm-21 (Рис. 1) – пятиместный самолет вертикального взлета и посадки авиации общего назначения.

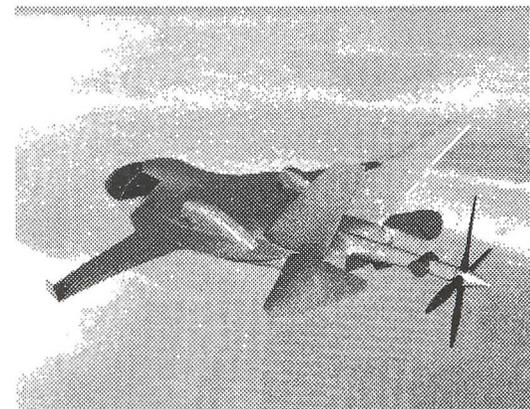


Рис. 1. Общий вид СВВП