

# МЕТОДИКА РАСЧЁТА КОЭФФИЦИЕНТА ЖЁСТКОСТИ АВИАЦИОННЫХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

©2012 Барманов И.С.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Самара

## DESIGN PROCEDURE OF FACTOR OF RIGIDITY OF AVIATION ELASTIC ELEMENTS

©2012 Barmanov I.S.

The Samara state aerospace university of a name of academician S.P. Korolev (national research university), Samara

In work the design procedure of factor of rigidity of an elastic element of type of "the squirrel wheel" is resulted. The given technique allows to raise essentially accuracy of calculations of the elastic elements applied in aviation engines.

При проектировании опорных узлов авиационных двигателей большое внимание уделяется их динамическим характеристикам – жёсткости и демпфирования. Данные характеристики оказывают влияние на вибрационное состояние двигателя, которое отражается на конструкции летательных аппаратов – крыло, фюзеляж. Поэтому при проектировании необходимо уделять должное внимание методикам расчёта характеристик жёсткости и демпфирования. В состав опорных узлов современных двигателей входит упругий элемент (УЭ) типа «беличьего колеса» (рис. 1), который существенно влияет на жёсткость всей опоры.

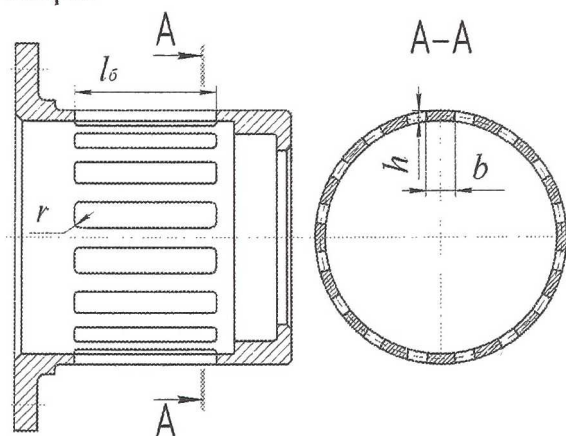


Рис. 1. Геометрические параметры УЭ

Для определения коэффициента жёсткости наибольшее практическое

применение нашла формула, предложенная С.И. Сергеевым:

$$c = \frac{nEbhb(b^2 + h^2)}{2l_0^3},$$

где  $n$  – количество балочек;  $b$ ,  $h$ ,  $l_0$  – соответственно ширина, толщина и длина балочек;  $E$  – модуль Юнга материала.

Позднее в данную формулу был введён поправочный коэффициент, и выражение для коэффициента жёсткости приняло следующий вид:

$$c = \frac{nEbhb(b^2 + h^2)}{2l_0^3} \frac{1}{(1 + 2\sqrt{bh}/l_0)^3}. \quad (1)$$

Данная формула очень удобна в применении, однако она даёт хорошие результаты вычисления жёсткости при соотношении  $l_0/h \geq 30$ . Для конструкций авиационных УЭ это соотношение не выполняется, и формула может дать погрешности в вычислении до 40 % и более. Помимо этого, формула (1) не учитывает величину радиуса скругления, а само наличие скруглений вносит неопределённость в отношении длины балочки; за длину можно принимать либо максимальную длину прорезей, либо длину прямолинейного участка прорезей, или же какую-то промежуточную величину.

Для повышения точности вычисления коэффициента жёсткости УЭ

была создана параметрическая модель с использованием пакета *ANSYS*. С помощью данной модели получены поправочные коэффициенты, устраняющие недостатки формулы (1).

Исследования проводились в безразмерном виде, были введены следующие параметры: безразмерная длина упругих балочек  $L_6 = l_6/h$  и безразмерный радиус скругления пазов  $\bar{r} = r/b$ , где  $r$  – радиус скругления пазов.

Рассмотрены значения длин упругих балочек в интервале 18...60 мм при толщине балочки 1,73 мм, что соответствует интервалу безразмерной длины балочки 10...35. Для каждого значения длины исследовано их влияние на относительный коэффициент жёсткости  $\bar{c} = c_0/c$ , где  $c_0$  и  $c$  – коэффициенты жёсткости, определяемые методом конечных элементов для нулевого и заданного радиуса скругления соответственно.

Для упругих балочек длиной более 30 мм при наличии небольшого радиуса скругления, имеет место снижение жёсткости в пределах 10 %. В предельном случае, когда  $\bar{r} = 1$ , снижение коэффициента жёсткости достигает 35 %, что является существенным недостатком. При длине балочек свыше 60 мм графики функций постепенно сходятся, и наблюдаемое различие между ними невелико. Нахождение поправочного коэффициента проводилось линейной аппроксимацией группы функций методом наименьших квадратов. Погрешность аппроксимации не превышала 8 % в интервале  $12 < L_6 < 35$ . Поправочный коэффициент, учитывающий радиус скругления пазов:

$$k_2 = \frac{1}{1 - 8,2(l_6/h)^{-1,35} r/b}.$$

С целью дальнейшего совершенствования формулы (1) было оценены границы её применимости. Для

этого построена зависимость безразмерного коэффициента жёсткости  $\bar{c}_s = c_s/c_0$ , где  $c_0$  – коэффициент жёсткости, определяемый методом конечных элементов для нулевого радиуса скругления,  $c_s$  – коэффициент жёсткости, определяемый по формуле (1). График зависимости безразмерной жёсткости от безразмерной длины балочек представлен на рис. 2.

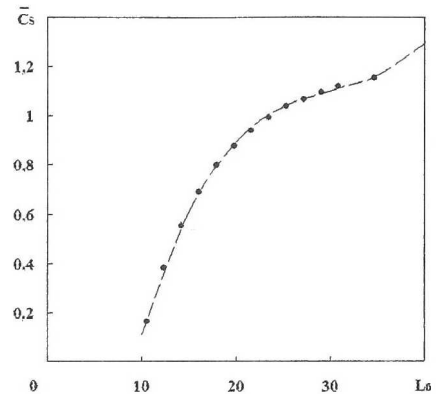


Рис. 2. Зависимость  $\bar{c}_s$  от  $L_6$

Из рис. 2 видно, что формула С.И. Сергеева может давать как завышенные, так и заниженные значения коэффициентов жёсткости. Причём при малых безразмерных длинах балочек значения могут отличаться до 80 %.

На основе аппроксимации полученной зависимости был получен поправочный коэффициент:

$$k_3 = \frac{1}{\left( 0,000095L_6^3 - \right. \\ \left. -0,0086L_6^2 + 0,27L_6 - 1,825 \right)}.$$

Окончательное выражение для определения жёсткости УЭ примет вид:

$$c = \frac{nEbh(b^2 + h^2)}{2l_6^3} k_1 k_2 k_3.$$

Полученная формула позволяет с высокой степенью точности определять коэффициент жёсткости упругого элемента типа «беличьего колеса», имеющего геометрические особенности, характерные для опор авиационных двигателей.