

ВЛИЯНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ НА НЕСУЩУЮ  
СПОСОБНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ  
КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Малашенко Л.А., Ткаченко А.В.,  
Синькевич М.В., Панасенко Б.А.,  
Капитанова Л.В.

УДК 629.7.015.4 - 192

Вследствие неизбежных технологических допусков случайный изменчивый характер имеют геометрические размеры тонкостенных элементов, механические свойства их конструкционных материалов. Случайный характер имеют и эксплуатационные нагрузки, вызванные турбулентностью атмосферы, воздушными порывами, маневренными перегрузками. Изменчивость случайных факторов окажет влияние на напряженно-деформированное состояние, несущую способность и надежность элементов конструкций. Оценим это влияние на этапе проектировочных расчетов.

На базе статистических массивов размеров, свойств материалов получены практические распределения толщин сортаментов и элементов конструкций: листов, прессованных профилей, литых, штампованных, механически обрабатываемых изделий, монолитных панелей. Обработка статистических данных проводилась на ЭВМ типа РС XT/AT, программа составлена на языке Турбо-Паскаль. Вероятностные характеристики распределения свойств материалов и нагрузок систематизировались также по данным литературных источников.

Имеет место систематическое смещение математического ожидания толщины относительно номинальных величин, достигающее от - 10% (листы из легких сплавов) до 9%, для литых, штампованных, механически обрабатываемых деталей эти смещения составляют 30%...50%. С ростом номинальных размеров смещения снижаются, при толщине 4 мм они составляют - 3%...2%. Коэффициенты вариации толщины достигают 15%...20%, при толщине 4 мм они уменьшаются до 2%...3%. Асимметрия математических ожиданий свойств материалов колеблется в пределах

13%...6%, коэффициенты вариации составляют 4%...10%. Формы их практических распределений удовлетворительно согласуются с нормальным законом. Эксплуатационные нагрузки маневренных летательных аппаратов близки к нормальному закону, неманевренных - двойному показательному закону. Коэффициент асимметрии нагрузок незначителен, вариации - составляет 8%...10%.

С привлечением приближенных зависимостей линеаризации нелинейной функции в малой окрестности изменения случайных факторов получены аналитические соотношения, позволяющие оценить вероятностные характеристики несущей способности элементов:

растянутого тонкостенного стержня

$$\alpha_N = \alpha_{\sigma_B} + \alpha_t; \quad \sqrt{V_N^2} = \sqrt{V_{\sigma_B}^2} + \sqrt{V_t^2}; \quad (1)$$

сжатого стержня в условиях местной формы потери устойчивости, устойчивости пластин

$$\alpha_N = (1 + \alpha_E)(1 + \alpha_t)^3 - 1; \quad \sqrt{V_N^2} = \sqrt{V_E^2} + 9 \sqrt{V_t^2}; \quad (2)$$

устойчивость цилиндрических оболочек

$$\alpha_N = (1 + \alpha_E)(1 + \alpha_t)^{2,375} - 1; \quad \sqrt{V_N^2} = \sqrt{V_E^2} + 5,34 \sqrt{V_t^2}, \quad (3)$$

где  $\alpha_N, \alpha_{\sigma_B}, \alpha_E, \alpha_t$  - коэффициенты смещения математических ожиданий несущей способности, свойств материалов, толщины элементов соответственно относительно их номинальных величин;  $\sqrt{V_N}, \sqrt{V_{\sigma_B}}, \sqrt{V_E}, \sqrt{V_t}$  - их коэффициенты вариации.

Надежность (вероятность безотказной работы) элементов конструкции летательных аппаратов, когда несущая способность и эксплуатационная нагрузка близки к нормальному закону, определяется по зависимости:

$$H = \Phi(z), \quad z = [f_n(1 + \alpha_N)(1 + \alpha_S)^{-1} - 1] / \sqrt{f_n^2(1 + \alpha_N)^2(1 + \alpha_S)^{-2} V_N^2 + V_S^2}, \quad (4)$$

где  $\Phi(z)$  – табличная функция (интеграл вероятности Гаусса);

$z$  – квантиль нормального распределения;  $f_n$  – нормированное значение коэффициента безопасности;  $\alpha_s, \gamma_s$  – коэффициенты асимметрии и вариации эксплуатационной нагрузки  $S$ .

Примеры расчетов показывают, что при  $f_n = 1,5$  и номинальной толщине толки трюфиля растянутого стержня 1 мм  $\alpha_N = 0,17$ ;  $\gamma_N = 0,046$ ;  $H = 0,94$ ; для сжатого стержня  $\alpha_N = 0,13$ ;  $\gamma_N = 0,036$ ;  $H = 0,95$ ; для сжатой пластины толщиной 1 мм, изготовленной из листа Д16Т  $\alpha_N = -0,22$ ;  $\gamma_N = 0,105$ ;  $H = 0,89$ ; для оболочки, изготовленной из листа Д16АТ толщиной 2 мм  $\alpha_N = -0,22$ ;  $\gamma_N = 0,056$ ;  $H = 0,92$ ; для оболочки, изготовленной из листа ЗОХГСА толщиной 2 мм  $\alpha_N = 0,09$ ;  $\gamma_N = 0,08$ ;  $H = 0,94$ . Следовательно, математическое ожидание несущей способности тонкостенных элементов составляет 70%...130% их номинальных величин, коэффициент вариации достигает 10%.

Традиционные методы проектирования элементов конструкций летательных аппаратов с использованием нормированных значений коэффициента безопасности  $f_n$  приводят к резкому колебанию надежности элементов с учетом реальных характеристик распределения случайных факторов, составляющему 0,9...0,98. Предпочтительнее нормировать надежность и определять коэффициент безопасности с использованием зависимости (4), который затем привлекать в классических детерминистических проектных расчетах. Это позволит в ряде случаев снизить массу на 5%...10%.

#### Литература

1. Малащенко Л.А. Проектирование элементов конструкций летательных аппаратов заданной надежности (учебное пособие). Харьков: ХАИ, 1990. 96 с.
2. Селихов А.Ф., Чижов В.М. Вероятностные методы в расчетах прочности самолета. М.: Машиностроение, 1987. 237 с.