

УДК 629.7:539.4

Н.Н.Граудина

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПОЛЗУЧЕСТИ
АРМИРОВАННОГО ПЛАСТИКА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К
ЛОПАСТИ ВЕРТОЛЕТА

В настоящее время лопасти вертолетов изготавливают из армированных пластиков, каждый слой которого имеет свой угол армирования. Лопасти вертолетов при эксплуатации подвергаются ползучести, в результате чего меняется геометрия лопасти и снижается ее КПД. Для того, чтобы управлять ползучестью, необходимо исследовать характеристики армированного пластика.

Расчет деталей, находящихся в условиях ползучести, основывается на результатах экспериментального изучения поведения образцов при простом деформировании (растяжении, сжатии, кручении). Обычно результаты этих испытаний обрабатываются в виде "деформация-время".

Для математического описания процессов ползучести в сложных армированных пластиках используются интегральные операторы Вольтера, так как эти интегральные соотношения отвечают свойствам кривых ползучести и самой природе армированных пластиков.

Расчет ползучести слоистых пластиков с одним и тем же углом армирования в каждом слое известен [1]. Но существующая схема расчета для таких пластиков не пригодна для расчета слоистых пластиков с различным углом армирования в слоях. В связи с этим предлагаются две возможные методики расчета параметров ползучести таких композиционных материалов.

Первая методика предусматривает использование кривой зависимости модуля упругости E однонаправленного слоистого пластика от угла армирования φ в диапазоне от 0° до 90° (рис.1). Слоистый пластик с различным углом армирования в слоях, имеющий расчетный модуль упругости E_p , будем рассматривать как однонаправленный с углом армирования в каждом слое φ_p , который определяется как показано на рис.1. Далее считаются параметры ползучести по известным формулам:
при растяжении

$$\alpha \varphi_p = - 0,593 \varphi_p^2 - 1,024 \varphi_p + 0,148$$
$$\beta \varphi_p = - 0,0267 \varphi_p^2 + 0,0468 \varphi_p + 0,0426$$

$$\alpha_{\varphi_p} = -0,0787 \varphi_p^2 + 0,11 \varphi_p + 0,303$$

при кручении

$$\alpha_{\varphi_p} = -0,248 \varphi_p^2 + 0,044 \varphi_p + 0,358$$

$$\beta_{\varphi_p} = 0,0749 \varphi_p^2 - 0,017 \varphi_p + 0,135$$

$$\alpha_{\varphi_p} = -0,444 \varphi_p^2 + 0,1 \varphi_p - 0,5.$$

Затем рассчитывается деформация ползучести по формуле аппроксимации М.И.Розовского /2/ для определенного времени t и нагрузки σ :

$$\varepsilon_{\varphi_p}(t) = \varepsilon_{\varphi_p}(0) \{ 1 + \alpha_{\varphi_p} [1 - \exp(-\beta_{\varphi_p} \cdot t^{(1+\alpha_{\varphi_p})})] \}.$$

И, наконец, сравниваются результаты на диаграммах, полученных в результате эксперимента и расчетных данных при определенных моментах времени t и постоянном нагружении σ .

Вторая методика определения ползучести состоит в следующем. Считаем, что материал однороден и в любой момент времени остается ортотропным, для которого имеет место зависимость

$$E_1(t) \cdot \nu_{21}(t) = E_2(t) \cdot \nu_{12}(t).$$

Принимаем, что сохраняется закон плоских сечений при растяжении и закон прямых нормалей при изгибе. Деформации ползучести в начальный и конечный моменты времени соответственно равны:

$$\varepsilon_{\varphi_i}(0) = \frac{\sigma_0}{E_{\varphi_0}(t=0)}; \quad \varepsilon_{\varphi_i}(t) = \frac{\sigma_0}{E_{\varphi_i}(t)}.$$

Модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν меняются во времени и рассчитываются по следующим формулам:

$$\nu_{12}(t) = \frac{\nu_{12}(0)}{\{ 1 + \alpha_{\varphi_i} [1 - \exp(-\beta_{\varphi_i} \cdot t^{(1+\alpha_{\varphi_i})})] \}}$$

$E \cdot 10^{-4}$, МПа

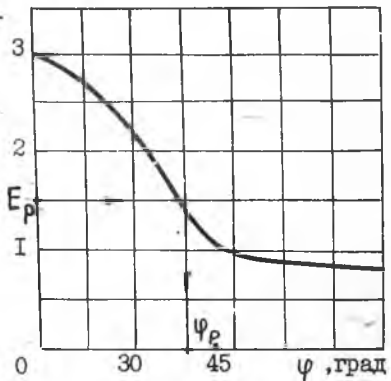


Рис. I

$$\nu_{21}(t) = \frac{\nu_{21}(0)}{\{1 + a_{\varphi_i} [1 - \exp(-\beta_{\varphi_i} \cdot t^{(1+\alpha_{\varphi_i})})]\}}$$

$$E_1(t) = \frac{E_1(0)}{\{1 + a_{\varphi_i} [1 - \exp(-\beta_{\varphi_i} \cdot t^{(1+\alpha_{\varphi_i})})]\}}$$

$$E_2(t) = \frac{E_2(0)}{\{1 + a_{\varphi_i} [1 - \exp(-\beta_{\varphi_i} \cdot t^{(1+\alpha_{\varphi_i})})]\}}$$

где $E_1(0)$, $E_2(0)$ - модули упругости в начальный момент времени в продольном и поперечном направлениях соответственно; $\nu_{12}(0)$, $\nu_{21}(0)$ - коэффициенты Пуассона в начальный момент времени; a_{φ_i} , β_{φ_i} , α_{φ_i} - параметры ползучести, полученные экспериментальным путем при растяжении для однонаправленного пластика; t - время.

Рассчитывается и модуль сдвига:

$$G_{12}(t) = \frac{G_{12}(0)}{\{1 + a_{\kappa} [1 - \exp(-\beta_{\kappa} \cdot t^{(1+\alpha_{\kappa})})]\}}$$

где a_{κ} , β_{κ} , α_{κ} - параметры ползучести, полученные при кручении И, наконец, используя формулу аппроксимации М.И.Розовского, рассчитываем модуль упругости пакета в целом:

$$\frac{1}{E_p(t)} = \frac{\cos^4 \varphi_i}{E_1(t)} + \left(\frac{1}{G_{12}(t)} - \frac{2 \cdot \nu_{12}(t)}{E_1(t)} \right) \sin^2 \varphi_i \cdot \cos^2 \varphi_i + \frac{\sin^4 \varphi_i}{E_2(t)}$$

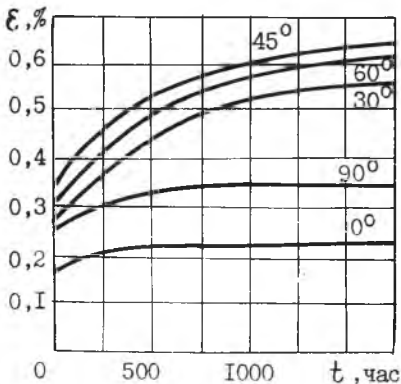


Рис. 2

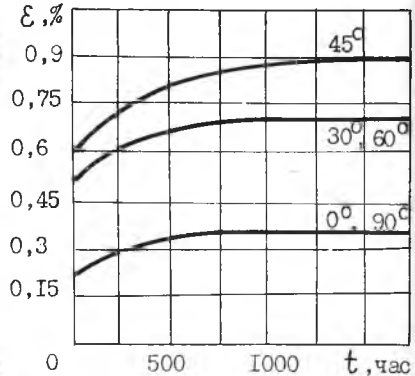


Рис. 3

и деформация ползучести:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_p(t)}$$

Данные формулы позволяют определить модуль упругости и деформацию ползучести слоистого пластика с учетом различного угла армирования в каждом слое. Методика справедлива для участка упругости диаграммы деформирования. Она опробована для расчета слоистого пластика ЭФ-3I-30I при углах армирования $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ (время $t = 0; 500; 1000; 1500$ часов при постоянном напряжении $\sigma = 60$ МПа) и слоистого органо-пластика СВМ при тех же углах армирования и том же нагружении. Расчетные данные приведены на рис.2 и 3.

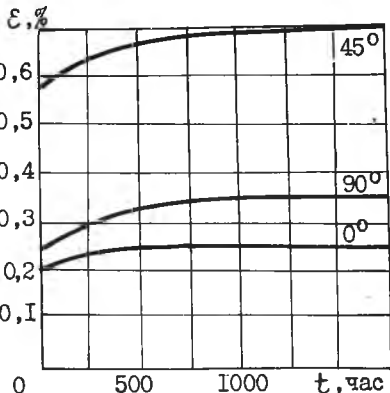


Рис. 4

Вторая методика расчета, безусловно, более громоздка, но не требует, как первая, большого объема экспериментальных данных для своей реализации.

Были рассчитаны также параметры ползучести слоистого гибридного пакета, состоящего из стеклопластика ЭФ-3I-30I и органо-пластика СВМ, находящихся в равных соотношениях, с учетом различного угла армирования в слоях. Результаты расчета представлены на рис.4. Здесь при расчете модуля упругости учитывались толщины отдельных слоев пакета и общее количество слоев:

$$E(t) = \sum_{i=1}^n E_{P_1}(t) \frac{h_i}{h} + \sum_{i=1}^n E_{P_2}(t) \frac{h_i}{h},$$

где $E_{P_1}(t), E_{P_2}(t)$ - модули упругости соответственно стеклопластика и органо-пластика с учетом параметров ползучести; h_i - толщина одного слоя; h - общая толщина пакета; n - количество слоев, составляющих пакет.

Модуль упругости $E_{P_1}(t)$ определяется по формуле

$$\frac{1}{E_{P_1}(t)} = \frac{\cos^4 \varphi_i}{E_1(t)} + \left(\frac{1}{G_{12}(t)} - \frac{2\nu_{12}(t)}{E_1(t)} \right) \sin^2 \varphi_i \cdot \cos^2 \varphi_i + \frac{\sin^4 \varphi_i}{E_2(t)}$$

Аналогичная формула использовалась и для определения $E_{p_2}(t)$.

Л и т е р а т у р а

1. Жигалова Р.И. К вопросу о приросте перемещения во времени стеклопластиковой лопасти несущего винта вертолета под действием собственного веса. - Механика полимеров, 1975, № 5, с.943-946.

2. Розовский М.И. Известия АН СССР, Механика и машиностроение 1961, № 2, с.30-36.

УДК 539.4:534.1

М.Б.Вахитов, А.С.Сафонов, И.А.Кузнецов

СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТОНКОСТЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ТОРЦОВ

В /1/ изложена численная методика расчета свободных колебаний тонкостенной подкрепленной авиаконструкции. В ее основе принята уточненная дискретно-континуальная модель в варианте теории Ю.Г.Одинокова /2/. Далее /3/ на примере консольной конструкции, используемой при расчете несущих поверхностей (крыло, оперение) летательного аппарата, исследовалось влияние характера закрепления продольных ребер жесткости на частоты и формы ее свободных колебаний. В настоящей работе приводится обобщение этой методики на случай незакрепленной конструкции (плавающая схема), а также закрепления по обоим ее торцам.

1. Аналогично/3/ можно показать, что для незакрепленной конструкции основные уравнения принимают вид:

$$\begin{aligned} A_1 U' + \nu^2 A_2 U' &= A_3 U_0 + \nu^2 (A_4 U_0 + A_6 \xi' + F_1 \xi_0) \\ \xi' + \nu^2 (B_4 \xi' + F_2 \xi_0) &= B_1 U' + B_2 U_0, \end{aligned} \quad (I)$$

где U' - столбец порядка n_k значений деформаций продольных ребер; $\xi' = \{\xi, \alpha, \beta\}$ - столбец порядка $3k$ (ξ - относительный угол закручивания; α и β - углы наклона касательной к деформированному положению продольной оси Oz конструкции в лобовой и нормальной плоскостях); U_0 - столбец порядка n значений осевых перемещений ребер на торце $z = 0$; $\xi_0 = \{\varphi_0, y_{x_0}, y_{y_0}\}$ - столбец значений угла закручивания и прогибов в обеих плоскостях в сечении $z = 0$: