

ГИБРИДНЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ МОДУЛИ ВЯЗКОУПРУГИХ КОМПОЗИТОВ

А.А. Светашков, Ф.А. Симанкин, М.С. Павлов, А.В. Лушиников

Научный руководитель: профессор, д. ф.-м. н. А.А. Светашков
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: mkk@tpu.ru

В работе приведена формулировка новой математической модели деформирования вязкоупругого композита. Методика построения модели основана на общности задач определения эффективных модулей неоднородных упругих композитов и вязкоупругих тел, проявляющих зависимость механических свойств от длительности действия нагрузки. На основе суперпозиции выражений известных эффективных модулей Фойгта и Рейсса, Хашина и Штрикмана построена математическая модель гибридных эффективных модулей.

Введение

Для решения граничных задач теории вязкоупругости применяются различные приближённые подходы. Одним из наиболее распространённых являются приближённые представления интегральной зависимости в виде соотношения

$$\int_0^t R(t-\tau)df(\tau) \approx R_0(t)f(t).$$

Различные способы выбора $R_0(t)$ содержатся в работах В.И. Малого и Н.А. Труфанова [1], Р. Шепери [2], А.А. Ильюшина [3], Л.Е. Мальцева [4], А.А. Светашкова [5] и других.

Цель настоящей работы – построение новых эффективных по времени характеристик вязкоупругих материалов. Используется общность подходов к определению эффективных характеристик композитов и вязкоупругих тел.

Для описания механического поведения упругих композитов в [6–8] получены новые эффективные характеристик, названные гибридными модулями. Гибридные модули представлены в виде суперпозиции моделей эффективных характеристик Фойгта и Рейсса – с одной стороны, и Хашина и Штрикмана – с другой. Распространение данного подхода на упруго-наследственный характер связи напряжений и деформаций позволяет, как показано в работе, получить более точный прогноз по сравнению с известными моделями в расчётах напряжённо-деформированного состояния конструкций.

Гибридные эффективные модули

Гибридные эффективные по времени модули фойгтовского и рейссовского типа имеют вид:

$$\tilde{G}_V(t) = \gamma_1 G^*(t) + \gamma_2 G'(t), \quad \tilde{G}_R(t) = \left(\frac{\gamma_1}{G''(t)} + \frac{\gamma_2}{G'(t)} \right)^{-1}. \quad (1)$$

Гибридные эффективные по времени модули по типу Хашина-Штрикмана имеют вид:

$$\tilde{\tilde{G}}^*(t) = G_R(t) + \frac{\bar{\gamma}(G_V(t) - G_R(t))}{1 + (1 - \bar{\gamma})(G_V(t) - G_R(t)) / (G_R(t) + \tilde{\tilde{g}}_U(t))},$$

$$\tilde{\tilde{G}}^*(t) = G_R(t) + \frac{\bar{\gamma}(G_V(t) - G_R(t))}{1 + (1 - \bar{\gamma})(G_V(t) - G_R(t)) / (G_R(t) + \tilde{\tilde{g}}_W(t))}.$$

$G, \text{МПа}$

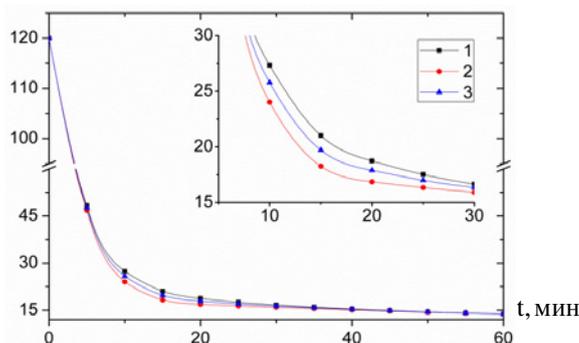


Рис. 1. Зависимости значений известных эффективных по времени модулей. 1, 2 – кривые модулей Фойгта и Рейсса; 3 – кривая гибридного модуля, определенного по (11). Изображение содержит фрагмент увеличенного изображения области кривых

На рисунке 1 представлен график зависимостей модулей от времени. Цифрами 1 и 2 обозначены кривые модулей фойгтовского и рейссовского типов; номер 3 принадлежит кривой, полученной на основе новых гибридных модулей по типу Фойгта–Рейсса. Рассмотрен случай, когда материальные константы, имеют значения $\lambda = 0,276 \text{ мин}^{-1}$, $\gamma = 0,03 \text{ мин}^{-1}$.

Заключение

Найдены выражения новых эффективных по времени модулей линейно вязкоупругих тел. Новые эффективные по времени характеристики имеют следующие свойства: а) положительно определены для $t \geq 0$; б) в моменты $t = 0, \infty$ они совпадают с соответствующими упруго-мгновенными и длительными характеристиками вязкоупругого тела; в) не зависят от вида аппроксимации материальных функций линейной вязкоупругих тел.

Список литературы

1. Малый В.И., Труфанов Н.А. Метод квазиконстантных операторов в теории вязкоупругости кусочно-линейных материалов // Деформирование и разрушение структурно-неоднородных материалов и конструкций : сб. науч. тр. – Свердловск : УрО РАН, 1989. – С. 78–85.
2. Шепери Р. Вязкоупругие свойства композиционных материалов // Браутман Л.Н. Механика композиционных материалов. – М., 1978. – Т. 2. – С. 102–195.
3. Ильюшин А.А. Метод аппроксимаций для расчета конструкций по линейной теории термовязкоупругости // Механика полимеров. – 1968. – № 2. – С. 210–221.
4. Мальцев Л.Е., Карпенко Ю.И. Теория вязкоупругости для инженеров-строителей. – Тюмень : Вектор Бук, 1999. – 299 с.
5. Svetashkov A.A. Time-effective moduli of a linear viscoelastic body // Mechanics of Composite Materials. – 2000. – Vol. 36 (1) – P. 37–44.
6. Svetashkov A.A. Modification of effective moduli of Hashin-Shtrikman type for two-component isotropic composite [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ispms.ru/ru/journals/430/2243>.
7. Svetashkov A.A. Modifications of the mathematical crisher model for effective moduli of two-component elastic isotropic composite [Электронный ресурс]. – URL: www.scientific.net/KEM.685.206.
8. Svetashkov A.A., Kupriyanov N.A., Manabaev K.K. One modification of the effective moduli of isotropic two-component composite // Izvestiya Visshih Uchebnyh Zavedeniy. Fizika. – 2013, No. 7–3. – P. 209–211.
9. Svetashkov A.A. New effective moduli of isotropic viscoelastic composites. Part I. Theoretical justification [Электронный ресурс]. – URL: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/124/1/012099>.
10. Kupriyanov N.A. New effective moduli of isotropic viscoelastic composites. Part II. Comparison of approximate calculation with the analytical solution [Электронный ресурс]. – URL: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/124/1/012100>.