

УДК 539.434:677.494

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ**

*А.В. ДЕМИДОВ, А.Г. МАКАРОВ, А.М. СТАЛЕВИЧ*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

При исследовании процессов релаксации или ползучести текстильных материалов с учетом влияния температуры обычно прибегают к температурно-временной аналогии [1], заключающейся в том, что кривые "семейства" модуля релаксации  $E_{T,t}$ , соответствующие некоторому значению деформации  $\epsilon_0$ , или кривые "семейства" податливости  $D_{T,t}$ , соответствующие некоторому значению напряжения  $\sigma_0$ , полученные при разных значениях температуры, путем сдвига трансформируются в обобщенные кривые релаксации или ползучести.

Сдвиги кривых указанных "семейств" определяют температурно-временную функцию  $f_{T,t} = \ln \frac{t_1}{\tau_T}$ , где  $t_1$  – значение внешнего базового времени;  $\tau_T$  – значение внутреннего времени эксперимента, зависящее от температуры  $T$ .

Таким образом, исследование деформационных процессов с учетом влияния температуры, но при постоянных значениях деформации или напряжения, сводится при соответствующем выборе нормированной аппроксимирующей функции к определению структурно-температурного коэффициента интенсивности процесса  $b_{nT}$ , температурно-временной функции  $f_{T,t}$  и двух асимптотических характеристик процесса – модулей релаксации  $E_{0,T}$ ,  $E_{\infty,T}$  (для релаксации), либо податливо-

стей  $D_{0,T}$ ,  $D_{\infty,T}$  (для ползучести).

Недостатком указанных методик является то, что вязкоупругие характеристики определяются для фиксированных значений деформации  $\epsilon_0$  (в случае релаксации) или напряжения  $\sigma_0$  (в случае ползучести) и, таким образом, не могут быть распространены на другие значения деформации  $\epsilon$  и напряжения  $\sigma$ .

Имеются методики [2], позволяющие прогнозировать процессы нелинейно-наследственной релаксации и нелинейно-наследственной ползучести с учетом влияния температуры для широких областей изменения деформации и напряжения. Однако данные методики либо предполагают нахождение деформационных характеристик для многочисленных значений температуры, значительно увеличивая тем самым число определяемых параметров, либо исследование деформационных процессов проводится при температуре, которая изменяется по заранее определенному сценарию (известная зависимость температуры от времени, соответствующая равномерному нагреванию или охлаждению образца и т.п.), что фактически привязывает значения температуры к соответствующим временным значениям, подменяя две переменные (время и температуру) одной.

Недостатков (указанных в вышеупомянутых методиках) удастся избежать, если учитывать зависимость функций среднестатистических времен релаксации  $f_{\epsilon,t}$  и

запаздывания  $f_{\sigma, \sigma}$  [3] от температуры, а также температурную зависимость остальных деформационных характеристик.

Образцом, на котором опробовалась предлагаемая методика, служила многокомпонентная пряжа, полученная кольцевым способом прядения на кафедре механической технологии волокнистых материалов СПбГУТД (хлопок – 30%; лен – 20%; лавсан – 50%; линейная плотность 29 текс; разрывное напряжение  $\sigma_p = 225$  МПа; разрывная деформация  $\varepsilon_p = 14$  %) [4].

За основу математической модели вязкоупругости выбрана модель, использующая в качестве функций релаксации  $\varphi_{\varepsilon t}$  и ползучести  $\varphi_{\sigma t}$  нормированный арктангенс логарифма приведенного времени [5]:

$$\varphi_{\varepsilon t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{b_{n\varepsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right), \quad (1)$$

$$\varphi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{b_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right), \quad (2)$$

где структурные параметры  $b_{n\varepsilon}$  и  $b_{n\sigma}$  характеризуют скорость процессов релаксации и ползучести – указанные параметры соответствуют логарифму приведенного времени "полурелаксации" (половина процесса релаксации при деформации  $\varepsilon$  происходит в интервале времени  $t \in [t', t'']$ , где  $\ln(t'/\tau_\varepsilon) = -b_{n\varepsilon}$ ,  $\ln(t''/\tau_\varepsilon) = b_{n\varepsilon}$ ) и "полузапаздывания" (половина процесса ползучести при напряжении  $\sigma$  происходит в интервале времени  $t \in [t', t'']$ , где  $\ln(t'/\tau_\sigma) = -b_{n\sigma}$ ,  $\ln(t''/\tau_\sigma) = b_{n\sigma}$ )).

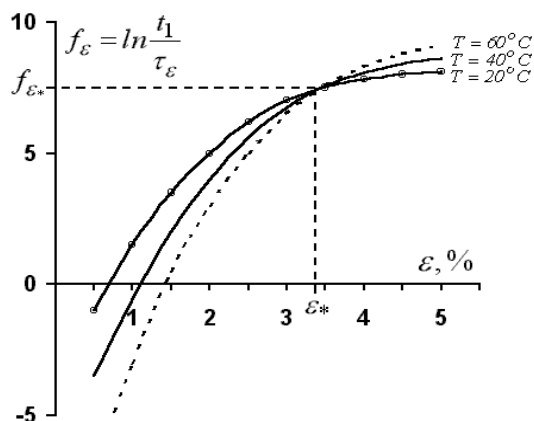


Рис. 1

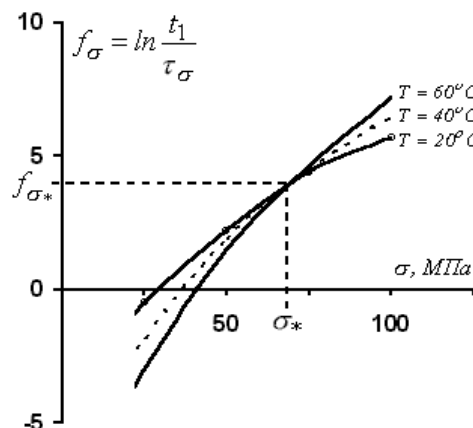


Рис. 2

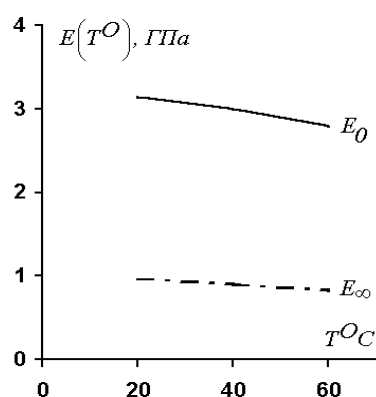
Графики функций среднестатистических времен релаксации многокомпонентной пряжи, рассчитанные для указанной пряжи при различных значениях температуры при использовании функции релаксации (нормированный арктангенс логарифма приведенного времени) (рис.1), имеют общую точку пересечения ( $\varepsilon_* \approx 3,4$  %,  $f_{\varepsilon_*} \approx 7,5$ ), поворачивая вокруг которой один из графиков, можно получить остальные. Аналогично графики функций среднестатистических времен запаздывания, рассчитанные для той же пряжи при различных значениях температуры при использовании функции ползучести (нормированный арктангенс логарифма приведенного времени) (рис. 2), подобны друг другу относительно общей точки пересечения ( $\sigma_* \approx 68$  МПа,  $f_{\sigma_*} \approx 4,1$ ).

Таким образом, задача определения функции среднестатистических времен релаксации или запаздывания для произвольного значения температуры из заданного температурного диапазона будет решена, если будет найден соответствующий угол поворота графика (как функция температуры) эталонной функции среднестатистических времен релаксации или запаздывания, определенной при некоторой фиксированной температуре. Как подтвердили расчеты, угол поворота в первом

приближении можно считать линейно зависящим от значения температуры. Данный поворот графиков физически оправдан, так как при изменении температуры соответствующим образом изменяются значения времен релаксации при одинаковых значениях деформации или значения времен запаздывания при одинаковых значениях напряжения. Точка пересечения графиков функций среднестатистических времен релаксации или запаздывания определяется расчетом.

Аналитически поворот графика функции среднестатистических времен релаксации можно описать с помощью введения новой системы координат  $(\tilde{\varepsilon}, \tilde{f}_\varepsilon)$ , задаваемой формулами

$$\begin{cases} \varepsilon = \varepsilon_0 + \tilde{\varepsilon} \cos \alpha - \tilde{f}_\varepsilon \sin \alpha, \\ f_{\varepsilon, \varepsilon} = f_{\varepsilon, \varepsilon_0} + \tilde{\varepsilon} \sin \alpha + \tilde{f}_\varepsilon \cos \alpha, \end{cases} \quad (3)$$



где  $\alpha$  – угол поворота графика функции среднестатистических времен релаксации, соответствующего температуре  $T_1$  к графику, соответствующему температуре  $T_2$ .

Аналогично поворот графика функции среднестатистических времен запаздывания можно описать с помощью введения новой системы координат  $(\tilde{\sigma}, \tilde{f}_\sigma)$ , задаваемой формулами

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_0 + \tilde{\sigma} \cos \beta - \tilde{f}_\sigma \sin \beta, \\ f_{\sigma, \sigma} = f_{\sigma, \sigma_0} + \tilde{\sigma} \sin \beta + \tilde{f}_\sigma \cos \beta, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\beta$  – угол поворота графика силовременной функции, соответствующего температуре  $T_1$  к графику, соответствующему температуре  $T_2$ .

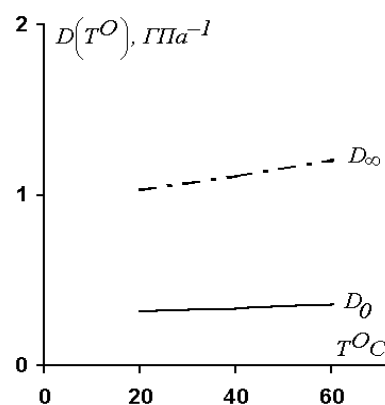


Рис. 3

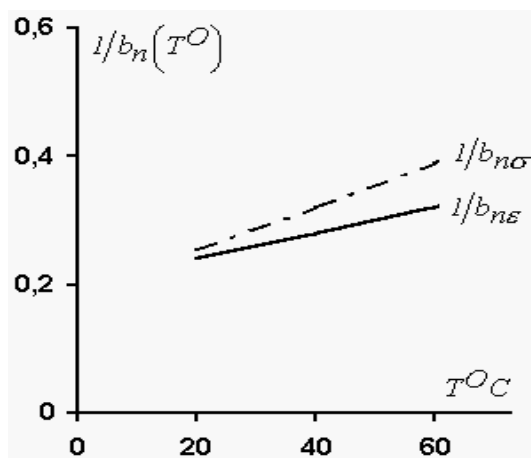


Рис. 4

Аналогично исследуя характер зависимости остальных параметров многокомпонентной пряжи от температуры (модуля упругости и модуля вязкоупругости (а); начальной и предельно-равновесной податливости (б) – рис.3; параметров интенсивности процессов релаксации и ползучести – рис.4), можно в первом приближении считать эту зависимость линейной от температуры, что значительно упрощает процесс прогнозирования.

## ВЫВОДЫ

1. Показано, что функции среднестатистических времен релаксации и запаздывания, а также преобразования графиков этих функций (повороты на углы, линейно зависящие от температуры) полностью определяют значения времен релаксации и запаздывания текстильных материалов при переменной температуре.

2. Установлено, что асимптотические значения модуля релаксации и податливости, а также структурные параметры интенсивности процессов релаксации и ползучести в первом приближении линейно зависят от температуры.

3. Приведенные методики определения механических характеристик текстильных материалов при переменной температуре позволяют прогнозировать термовязкоупругие процессы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Феодоровский Г.Д.* Определяющие уравнения реологически сложных полимерных сред // Вестник Ленингр. ун-та. Матем., механ., астрон. – 1990, №15, вып.3. С. 87...91.

2. *Сталевич А.М., Подрезова Т.А.* // Химические волокна. – 2000, № 5. С.22...25.

3. *Макаров А.Г.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, №2. С.12...16.

4. *Труевцев Н.Н. и др.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, №2. С.20...22.

5. *Макаров А.Г., Сталевич А.М.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, №3. С.10...13.

Рекомендована кафедрой сопротивления материалов. Поступила 26.11.05.