

6. Хохлов А.В. Характерные особенности семейств кривых деформирования линейных моделей вязкоупругости // Проблемы прочности и пластичности. 2015. Вып. 77. № 2. С.139-154.
7. Хохлов А.В. Качественный анализ общих свойств теоретических кривых линейного определяющего соотношения вязкоупругости // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. №5. С.187-245.
<http://technomag.edu.ru/doc/840650.html>.
8. Khokhlov A.V. General properties of relaxation curves in the case of the initial stage of strain with a constant rate in the linear heredity theory // Moscow University Mechanics Bulletin. 2017. Vol. 72, no. 3. P. 55–58.

Моделирование влияния температуры на кривые нагружения, ползучести и релаксации нелинейной модели типа Максвелла

А. В. Хохлов

НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова

andrey-khokhlov@ya.ru

Доклад продолжает цикл статей [1–5] по системному исследованию физически нелинейного определяющего соотношения (ОС)

$$\varepsilon(t) = E^{-1}F(\sigma(t)) + \eta^{-1} \int_0^t V(\sigma(\tau))d\tau, \quad t > 0, \quad (1)$$

для изотермических процессов деформирования реономных материалов: по аналитическому изучению общих свойств кривых релаксации, ползучести, длительной прочности и циклического нагружения, порождаемых ОС (1), комплекса моделируемых им реологических эффектов, способов идентификации и настройки.

ОС (1) содержит две материальные функции (МФ): $F(x)$, $V(x)$, $x \in (\omega_-, \omega_+)$, $\omega_- < 0$, $\omega_+ > 0$; F задаёт упругую деформацию, V – вязкопластическую. Минимальные ограничения на МФ: $F(x)$ – непрерывная строго возрастающая кусочно-гладкая

функция, $V(x)$ – непрерывная (нестрого) возрастающая функция, $V(0) = 0$, $F(0) = 0$. Они обеспечивают, в частности, возрастание кривых нагружения и ползучести, убывание кривых релаксации и длительной прочности и положительность работы напряжения и неотрицательность диссипации в произвольном процессе деформирования [1,2]. Параметры $E > 0$ и $\eta > 0$ выделены из МФ для удобства учёта влияния температуры в форме $E(T)$ и $\eta(T)$.

В результате анализа свойств кривых ползучести, релаксации и нагружения ОС (1) и их сравнения с типичными свойствами кривых квазистатических испытаний вязкоупругопластичных материалов при разных температурах (свидетельствующих о возрастании податливости, скорости диссипации и скоростной чувствительности с ростом T) выявлены ограничения на $E(T)$ и $\eta(T)$. Доказано [3], что кривые, порождаемые ОС (1), ведут себя качественно так же, как и кривые испытаний большинства стабильных материалов на ползучесть, релаксацию, нагружение с постоянной скоростью, усталость и рэтчетинг, лишь при условии, что E, η и $\tau = \eta/E$ – убывающие функции температуры. Из их убывания следует, что рост температуры вызывает следующие изменения в поведении модели (1) [3]: 1) мощность диссипации и работа напряжения для любой программы нагружения возрастают; 2) скорости релаксации и ползучести растут; 3) кривые ползучести ОС (1) при растяжении смещаются вверх; 4) кривые релаксации и нагружения (с постоянными скоростями деформирования или нагружения) смещаются вниз, касательный модуль и предел текучести убывают, а скоростная чувствительность усиливается; 5) напряжение течения и мгновенный модуль (при фиксированной скорости деформирования) поникаются; 6) накопленная пластическая деформация возрастает; 7) рэтчетинг ускоряется.

Анализ показал [1–5], что ОС (1) можно применять для описания комплекса реологических эффектов, типичных для материалов с памятью и положительной скоростной чувствительностью, для которых характерны ползучесть с постоянной скоростью, выраженная площадка текучести на диаграммах деформирования, неограниченное нарастание пластической деформации при циклическом нагружении (рэтчетинг без стабилизации и приспособляемости) и увеличение податливости, скоростной чувствительности, скоростей диссипации, релаксации, ползучести и рэтчетинга с ростом температуры. Подобное поведение демонстрируют многие полимеры, их расплавы и растворы, твёрдые топлива,

асфальтобетоны, льды, титановые и алюминиевые сплавы, материалы в режимах сверхпластического деформирования.

Литература

1. Khokhlov A.V. Properties of a Nonlinear Viscoelastoplastic Model of Maxwell Type with Two Material Functions. *Moscow University Mechanics Bulletin*. 2016. Vol. 71, no. 6. P. 132–136.
2. Хохлов А.В. Кривые длительной прочности нелинейной модели вязкоупругопластиичности типа Максвелла и правило суммирования поврежденности при ступенчатых нагрузлениях. *Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Сер. физ.-мат. науки*. 2016. 20, № 3. С. 524–543.
3. Хохлов А.В. Нелинейная модель вязкоупругопластиичности типа Максвелла: моделирование влияния температуры на кривые деформирования, релаксации и ползучести. *Вестник Самарского гос.техн.ун-та. Сер. физ.-мат. науки*. 2017. Т.21. № 1.С. 160–179.
4. Хохлов А.В. Нелинейная модель вязкоупругопластиичности типа Максвелла: скорость накопления пластической деформации при циклических нагрузлениях. *Деформация и разрушение материалов*. 2017. № 7. С. 7–19.
5. Хохлов А.В. Идентификация нелинейной модели упруговязкоупластиичности типа Максвелла по кривым ползучести с начальной стадией нагружения. Часть 2. Методики. *Деформация и разрушение материалов*. 2017. № 10. С. 2–9.

Моделирование крутильных колебаний трехслойной цилиндрической оболочки

Х. Худойназаров

Ташкентский гос.техн.университет, Узбекистан
khayrullakhudoynazrov@gmail.com

В цилиндрической системе координат рассматривается трехслойная круговая цилиндрическая оболочка бесконечной длины