

УДК 539.434:677.494

**ВЫЯВЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ***А.В. ДЕМИДОВ, А.Г. МАКАРОВ, А.М. СТАЛЕВИЧ***(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)**

Известные подходы к исследованию деформационных свойств текстильных материалов [1] основаны на описании обобщенных экспериментальных кривых релаксации и ползучести с помощью нормированных релаксационных функций и функций запаздывания, в качестве которых наиболее часто выбирается интегральная кривая нормального распределения по логарифмической шкале приведенного времени [2].

Данные методики анализа и прогнозирования деформационных процессов дают хорошие результаты при исследовании текстильных материалов относительно простой макроструктуры типа синтетических нитей. Исследование же механических свойств текстильных материалов сложного строения затруднено наличием у них усложненного спектра времен релаксации и запаздывания ввиду наложения друг на друга элементарных спектров, соответствующих составляющим материал элементов.

Это обстоятельство стимулировало поиск математических моделей деформационных свойств на основе новых, по возможности более простых, релаксационных функций и функций запаздывания, соответствующих усложненным спектрам.

При построении теории анализа и обработки экспериментальной информации учитывались как требование к минимальному числу параметров математической модели, так и их физическая обоснован-

ность, что должно способствовать упрощению решения дальнейших технологических задач управления. Упрощение математической модели вязкоупругости достигается также за счет учета нелинейности в интегральных ядрах релаксации и запаздывания в виде учета функций времен релаксации и запаздывания [2].

Разработка методов математического моделирования деформационных свойств на основе функции нормированный арктангенс логарифма приведенного времени (НАЛ) [3], а также на основе ранее применявшихся нормированных функций получила дальнейшее развитие в виде программного продукта, позволяющего компьютеризировать процесс вычисления, а также упростить выбор наилучшей нормированной функции из числа имеющихся [4].

Исследование вязкоупругих характеристик текстильных материалов сложного строения на основе математической модели с функцией НАЛ показало, что расчетное значение модуля упругости выше, чем рассчитанное с применением математических моделей, основанных на других нормированных функциях, и близко к акустическому значению, что также физически обосновано, так как скорость распространения упругих взаимодействий в полимерных материалах близка к звуковой [4].

Изменилось в сторону уменьшения и значение модуля вязкоупругости, характеризующего нижнюю асимптоту модуля релаксации в длительных процессах, что,

по сути, расширяет диапазон релаксации.

Аналогичный вывод можно сделать и о процессе ползучести. Данное обстоятельство выгодно отличает функцию НАЛ от ранее применявшихся нормированных функций релаксации и запаздывания.

Прогнозирование деформационных процессов основано на известных интегральных соотношениях Больцмана-Вольтерра [2] с интегральными ядрами релаксации и запаздывания, соответствующими производной функции НАЛ [3]. Преимущество применения для моделирования деформационных процессов указанных интегральных ядер состоит в возможности расширения области доверительного прогнозирования в сторону "больших" (длительные процессы) и в сторону "малых" времен (кратковременные процессы) с уменьшением погрешности прогноза за счет снижения влияния квазимгновенного фактора деформирования в начале процесса.

Кроме того, повышение точности прогнозирования основано на разработанных методах вычисления несобственных нелинейно-наследственных интегралов, входящих в определяющие уравнения вязкоупругости, где применяется неравномерное разбиение временной шкалы с учетом специфики рассматриваемого процесса [5].

Например, при прогнозировании активных (быстропротекающих) процессов, характеризующихся ростом скорости деформирования, целесообразно разбиение временной шкалы по возрастающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета влияния квазимгновенного фактора деформирования в начале процесса.

При прогнозировании же длительных процессов, характеризующихся снижением скорости деформирования, целесообразно разбиение временной шкалы по убывающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета длительных деформационных воздействий.

Разработанные методы прогнозирования нелинейно-наследственной вязкоупругости на основе математической модели с функцией НАЛ и соответствующее программное обеспечение [6] опробованы на

различных видах деформационно-восстановительных процессов и процессов обратной релаксации. Близость расчетных точек к экспериментальным значениям наблюдается для всех рассмотренных материалов, включая текстильные материалы сложного строения.

Благодаря компьютеризации процесса прогнозирования стали возможными методы уточнения параметров математической модели деформационных свойств текстильных материалов сложного строения на основе коррекции функции среднестатистических времен релаксации по контрольным точкам экспериментальной диаграммы растяжения при расчете процесса растяжения [7].

Коррекция функции среднестатистических времен релаксации при прогнозировании деформационных процессов позволяет получить тем более точные результаты, чем большее число точек экспериментальной диаграммы выбирается для этого. Расчет процессов растяжения для различных скоростей деформирования и сравнение их с экспериментальными диаграммами подтверждает устойчивость данного метода и правильность решения поставленной задачи.

Аналогичным образом возможна коррекция функции среднестатистических времен запаздывания. Особая роль функции НАЛ проявляется при прогнозировании высокоскоростного растяжения, соответствующего быстропротекающему процессу, где наиболее важной и сложной для прогнозирования является область "малых" времен.

Таким образом, предложенный метод уточнения параметров математической модели по точкам экспериментальной диаграммы растяжения и его компьютеризация повышают достоверность определения вязкоупругих характеристик и прогнозирования деформационных процессов.

На основе применения компьютерной техники становится возможным применение методик разделения механической работы деформирования и соответствующей ей деформации на упругие и вязкоупругие компоненты [8].

Разложение механической работы деформирования на компоненты важно, например, при исследовании влияния внешних механических воздействий на текстильные материалы, применяемые в качестве составляющих элементов защитных конструкций [9].

Исследование компонент механической работы деформирования позволяет проанализировать деформационные свойства материалов, например, применяемых в ударозащитных подшлемниках. Исследуя соотношения компонент механической работы и деформации, было показано, что при малой деформации преобладают упругие компоненты деформации и механической работы. В то же время с увеличением деформации начинают преобладать вязкоупруго-пластические компоненты механической работы деформирования, характеризующие вязкоупругую и пластическую составляющие деформации. Здесь важно, насколько защитный материал может погасить ударное механическое воздействие.

В этом смысле следует положительно отметить увеличение доли вязкоупруго-пластической компоненты механической энергии деформирования при увеличении деформации. В то же время при небольшой деформации преобладание упругих компонент деформации и энергии деформирования приводит к тому, что материал хорошо восстанавливается и пригоден для дальнейшего использования.

Метод введения поправки на накопление необратимого компонента деформации, не зависящей от вида деформационного процесса [10], позволяет точнее рассчитать полную накопленную деформацию. Применение указанных методов к расчету сложных деформационно-восстановительных процессов и процессов обратной релаксации повышает точность прогнозирования.

Таким образом, методы разделения механической работы деформирования, а также соответствующей ей деформации – на упругую и вязкоупруго-пластическую компоненты позволяют охарактеризовать упруго-пластические свойства материалов, что имеет немаловажное значение, напри-

мер, при целенаправленном отборе образцов по критериям упругости и пластичности. Введение поправки на необратимость деформации позволяет выделить из вязкоупруго-пластической компоненты деформации пластическую составляющую, что также способствует повышению точности прогнозирования как простых, так и сложных нелинейно-наследственных вязкоупругих процессов.

Применение разработанных методов на практике заметно упрощается благодаря созданию комплексов программ и автоматизации вычислений с помощью соответствующего программного обеспечения. Объединение группы программ в единые комплексы программ определяет их универсальность и возможность параллельного использования при моделировании механических свойств текстильных материалов сложного строения.

## ВЫВОДЫ

1. Выявлены направления компьютерного определения вязкоупругих характеристик, как параметров предложенной модели по результатам кратковременных испытаний в простых режимах релаксации и ползучести в сочетании с диаграммами растяжения, повышающие точность решения задач прогнозирования деформационно-восстановительных процессов и процессов обратной релаксации, а также и других более сложных режимов деформирования.

2. Проанализированы компьютерные методы разделения полной механической работы деформирования и соответствующей ей деформации на упругообратимые и вязкоупруго-пластические компоненты, которые предполагается использовать как при расчетах сопротивления текстильных материалов в динамических режимах деформирования, включая ударный режим, так и для оценки способности материалов сопротивляться механическим воздействиям и восстанавливать первоначальную форму в процессе эксплуатации.

3. Приведены особенности применения компьютерных методов учета необратимо-

го псевдопластического компонента деформации при математическом моделировании вязкоупругих свойств материалов, повышающие надежность прогнозирования сложных режимов деформирования текстильных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Сталевич А.М.* Деформирование ориентированных полимеров. – СПб., 2002.
2. *Сталевич А.М.* // Проблемы прочности. – 1981, №12. С. 95...98.
3. *Макаров А.Г.* Прогнозирование деформационных процессов в текстильных материалах. – СПб., 2002.
4. *Макаров А.Г.* Математические методы анализа физико-механических свойств материалов легкой промышленности. – СПб., 2002.
5. *Макаров А.Г., Сталевич А.М.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, № 3. С.10...13.

6. *Макаров А.Г., Труевцев Н.Н., Петрова Л.Н.* // Вестник СПГУТД, вып.10. – СПб.: Изд-во СПГУТД, 2004. С. 39...45.

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

8. *Сталевич А.М., Макаров А.Г.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, № 4-5. С.15...18.

9. *Князева К.В., Сталевич А.М., Макаров А.Г.* Многослойный пакет // Патент на изобретение № 2201703. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ 10.04.2003.

10. *Демидов А.В., Сталевич А.М.* // Физикохимия полимеров. Синтез, свойства и применение. – Тверь, 2000, вып. 6. С.82...91.

Рекомендована кафедрой сопротивления материалов. Поступила 01.12.06.