

УДК 539.434:677.494

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
РЕЛАКСАЦИОННЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ПОЛИМЕРНЫХ ПАРАШЮТНЫХ СТРОП***

**MODELING AND PREDICTION
OF ESTIMATED RELAXATION AND DEFORMATION PROPERTIES
OF THE POLYMER PARACHUTE LINE**

А.Г. МАКАРОВ, А.В. ДЕМИДОВ, Н.В. ПЕРЕБОРОВА, М.А. ЕГОРОВА
A.G. MAKAROV, A.V. DEMIDOV, N.V. PEREBOROVA, M.A. EGOROVA

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна,
Санкт-Петербургский государственный университет)
(Saint Petersburg State University of Technology and Design,
Saint Petersburg State University)
E-mail makvin@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы моделирования и расчетного прогнозирования деформационных и релаксационных свойств полимерных парашютных строп. Разработанные компьютерные методики прогнозирования релаксации и ползучести парашютных строп на основе математической модели вязкоупругости позволяют с большой степенью точности рассчитывать их релаксационные и деформационные характеристики, а также деформационные и релаксационные процессы. Разработанные методы разделения полной деформации на компоненты позволяют производить оценки упругих и вязкоупруго-пластических свойств парашютных строп, играющих важную роль при отборе материалов, обладающих требуемыми деформационными свойствами.

The article deals with the modeling and prediction of settlement deformation and relaxation properties of polymer parachute lines. Developed a computer prediction techniques of relaxation and creep parachute lines based on a mathematical model of a viscoelastic allow a high degree of accuracy to calculate their relaxation and deformation characteristics, as well as deformation and relaxation processes. The methods developed for the separation of the total strain on the components enables the assessment of elastic and viscoelastic-plastic properties of the parachute lines, which play an important role in the selection of materials with desired deformation properties.

* Работа выполнена в рамках исполнения государственного задания Министерства образования и науки РФ (Задание № 2014/186, Проект № 156).

Ключевые слова: математическое моделирование, компьютерное прогнозирование, полимерные материалы, вязкоупругость, деформация, пластичность, релаксация, ползучесть.

Keywords: mathematical modeling, computer forecasting, polymeric materials, viscoelasticity, deformation, plasticity, relaxation, creep.

Парашютные стропы представляют собой технические изделия в виде тканых лент, шнуров, жгутов и тканей из синтетических нитей. При эксплуатации парашютные стропы подвергаются большим нагрузкам, действующим в течение малых времен. Максимальная эксплуатационная нагрузка указанных материалов достигает значений до 30% от разрывных усилий [1...3]. Работоспособность парашютных строп определяется, в первую очередь, деформационными свойствами используемых материалов. Исследования деформационных свойств составляют одну из основных задач текстильного материаловедения и являются, несомненно, актуальными в парашютостроении, так как от надежности парашютов зависит человеческая жизнь и сохранность техники. Современные методы оценки деформационных свойств и прогнозирования деформационных процессов основаны на математическом моделировании одноименных процессов, которое возможно лишь на основе учета данных эксперимента [4...8]. Для моделирования деформационных свойств часто бывает достаточным проведение кратковременного эксперимента, что облегчает и удешевляет исследования. Выборочный повторный эксперимент необходим для подтверждения адекватности построенной математической модели деформационных свойств и определения степени достоверности прогнозирования одноименных процессов [9...12].

Известные и широко применяемые в настоящее время методики прогнозирования деформационных процессов синтетических волокон и нитей не всегда применимы для изучения аналогичных свойств текстильных материалов более сложной макроструктуры типа шнуров, лент, тканей и т.п. [13...16]. Указанная сложность исследования вызвана тем, что механическое

поведение таких материалов зависит не только от деформационных свойств образующих материал нитей, но и от структуры переплетения нитей в материале и других геометрических факторов [17...19].

Особую актуальность имеют исследования и прогнозирования деформационных свойств парашютных строп, относящихся к классу вязкоупругих твердых тел, в области действия неразрушающих нагрузок, близких к условиям их эксплуатации, так как для эксплуатации парашютов первоочередную роль играет его надежность, исключая разрушение парашюта силовыми нагрузками. Такие исследования возможны на основе математического моделирования процессов деформирования, которые включают в себя как вязкоупругую релаксацию, так и вязкоупругую ползучесть [20...22].

Создание численных методик расчета деформационных и релаксационных процессов парашютных строп и – на их основе – компьютерных программ неразрывно связано с решением задач по сравнительному анализу свойств материалов, с исследованиями взаимосвязи свойств со структурой, с целенаправленным технологическим регулированием свойств, а также с прогнозированием кратковременных и длительных механических воздействий [23...25].

На изучаемые деформационные и релаксационные свойства парашютных строп оказывают влияние различные факторы. Среди них основными являются: температурные воздействия, влажность, различные погодные условия, а также уровни и длительности механических воздействий [26...28].

Для сравнительного анализа и прогнозирования деформационных и релаксационных свойств парашютных строп необходима разработка адекватной математиче-

ской модели на основе физически обоснованного аналитического описания вязкоупругости [29...31]. Следует заметить, что изучение механических свойств парашютных строп, проявляющихся в условиях эксплуатации, гораздо сложнее, чем измерение только разрывных характеристик, по которым нельзя получить полноценную объективную оценку свойств материала. Особую ценность имеет решение задачи прогнозирования деформационных процессов для парашютных строп, когда помимо сопоставления их механических свойств приходится учитывать и условия эксплуатации [32...34].

Появление современных материалов для изготовления парашютных строп обосновывает поиск новых математических моделей деформационных свойств и применение для их исследования соответствующих компьютерных методов обработки экспериментальной информации [35...37]. Создание новых методов исследования механических свойств парашютных строп способствует повышению достоверности прогнозирования деформационных процессов [38...40].

В основе исследования механических свойств и прогнозирования деформационных и релаксационных процессов парашютных строп лежит математическое моделирование вязкоупругости на основе данных краткосрочного эксперимента на простую релаксацию или простую ползучесть [41...43]. Одним из развиваемых в лаборатории информационных технологий Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна вариантов математического моделирования вязкоупругости полимеров является вариант, основанный на аналитической аппроксимации экспериментальных "семейств" кривых релаксации и ползучести с помощью различных нормированных релаксационных функций и функций запаздывания по логарифмической шкале приведенного времени [44...46]. С каждым годом растет разнообразие полимерных материалов, обладающих той или иной молекулярной и надмолекулярной структурой, и проявляющих, в силу сказанного, те или

иные деформационные свойства [45...47]. Поэтому постоянно увеличивается и количество математических моделей, учитывающих ту или иную специфику полимерного материала. В работах (Сталевич А.М., Демидов А.В., Макаров А.Г.) рассматривается целый спектр таких математических моделей, основанных на аппроксимации экспериментальных "семейств" релаксации и ползучести различными нормированными функциями [48...50]. В частности, показано, что если для математического моделирования вязкоупругих свойств полимерных материалов относительно простой макроструктуры типа нитей и волокон достаточно использовать в качестве нормирующей функции интеграл вероятности или нормированный гиперболический тангенс, то для полимерных материалов сложной макроструктуры, к которым следует отнести парашютные стропы, целесообразно использовать функцию нормированный арктангенс логарифма приведенного времени (НАЛ), которая задает вероятностное распределение Коши, главным достоинством которого является свойство замкнутости относительно операции сложения случайных величин (то есть сумма случайных величин, распределенных по закону Коши, также распределена по этому закону) [51...53]. Из этого важного свойства закона распределения Коши следует, что деформационные процессы как составных частей парашютных строп (нитей, волокон), так и самих парашютных строп в целом, могут быть описаны одной математической моделью, в основе которой лежит функция НАЛ, что существенно упрощает процесс математического моделирования вязкоупругости [54...56].

Учитывая сказанное, математическое моделирование процессов релаксации и ползучести парашютных строп проводили на основе нормированной функции НАЛ. Одним из основополагающих достоинств предлагаемой математической модели вязкоупругости является выполнение требования к наименьшему числу параметрово-характеристик модели и их физическая обоснованность [57...59]. К тому же выбранная модель вязкоупругости обладает

достаточной простотой, достигаемой за счет учета нелинейности в интегральных ядрах релаксации и запаздывания (времена релаксации и запаздывания вводятся как параметры модели), а не за счет усложнения самого ядра [60...62].

В качестве объектов исследования рассматриваются как сами полимерные нити,

применяемые в парашютных стропах (табл. 1 – технические характеристики полимерных нитей, применяемых в парашютных стропах), так и парашютные стропы, образованные из них (табл. 2 – технические характеристики парашютных строп).

Т а б л и ц а 1

Материал	Линейная плотность, текс	Удлинение при разрыве, %	Разрывное напряжение, ГПа	Модуль упругости, ГПа
Дакрон	117	10,8	0,78	8,6
Микролайн (Spectra)	98	3,1	3,2	110
Вектран	132	3,5	3,4	104
Текнора (High Modulus Aramid)	110	4,2	3,3	75

Т а б л и ц а 2

Название	Разрывная нагрузка, кН	Удлинение при разрыве, %	Модуль упругости, кН	Состав
Дакрон-1200	5,4	15,1	42	дакрон - 100%
Спектра-550	2,5	16,4	18	микролайн -100%
Спектра-725	3,3	16,9	23	микролайн -100%
Спектра-825	3,7	17,1	26	микролайн - 100%
Спектра-1000	4,5	17,2	31	микролайн - 100%
Вектран-800	3,6	13,6	32	вектран -100 %
НМЛ-1100	5,0	19,3	31	текнора - 100 %
НМЛ-1600	7,3	19,8	44	текнора - 100 %

Математическое моделирование вязкоупругости парашютных строп и образующих их нитей проводилось на основе ре-

лаксационной функции и функции запаздывания (ползучести) в виде НАЛ. При этом математические модели имеют вид:

для релаксации

$$E_{\text{ст}} = E_0 - (E_0 - E_{\infty}) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \left(\frac{1}{b_{\text{не}}} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_{\varepsilon}} \right) \right) \right) \right) \quad (1)$$

и для ползучести

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_{\infty} - D_0) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \left(\frac{1}{b_{\text{н}\sigma}} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_{\sigma}} \right) \right) \right) \right), \quad (2)$$

где t – время; $1/b_{\text{не}}$ – параметр интенсивности процесса релаксации; $1/b_{\sigma}$ – параметр интенсивности процесса ползучести; τ_{ε} – время релаксации (время, за которое проходит половина процесса релаксации при величине деформации ε); τ_{σ} – время запаздывания (время, за которое проходит половина процесса ползучести при величине напряжения σ); $E_{\text{ст}} = \sigma/\varepsilon$ – модуль релаксации; E_0 – модуль упругости; E_{∞} – мо-

дуль вязкоупругости; $D_{\sigma t} = \varepsilon/\sigma$ – податливость; D_0 – начальная податливость; D_{∞} – предельная равновесная податливость; ε – деформация; $\sigma = F/S$ – напряжение; F – усилие при растяжении; S – площадь поперечного сечения образца; t_1 – базовое время.

Использование нормированной функции НАЛ в качестве основы математической модели вязкоупругости позволяет с

достаточной степенью точности моделировать деформационные свойства парашютных строп и нитей, из которых они образованы. Указанное моделирование расширяет деформационно-временные и силовременные границы прогнозирования деформационных процессов за счет достаточно медленной сходимости функции НАЛ к своим асимптотическим значениям. Аналитическое задание функции НАЛ и принадлежность ее к классу элементарных функций упрощает дифференциально-интегральные преобразования в рамках рассматриваемой математической модели и облегчает процесс нахождения вязкоупругих характеристик.

Прогнозирование деформационных процессов рассматриваемых материалов осуществляется на основе интегральных соотношений Больцмана-Вольтерра, которые с учетом математических моделей (1), (2) принимают вид:

для нелинейно-наследственной релаксации

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \frac{1}{\pi b_{ne}} \int_0^t \varepsilon_\theta \frac{1}{1 + W_{\varepsilon,t-\theta}^2} \frac{1}{t-\theta} d\theta \quad (3)$$

и для нелинейно-наследственной ползучести

$$\varepsilon_t = D_0 \sigma_t + (D_\infty - D_0) \frac{1}{\pi b_{ns}} \int_0^t \sigma_\theta \frac{1}{1 + W_{\sigma,t-\theta}^2} \frac{1}{t-\theta} d\theta \quad (4)$$

где

$$w_{\varepsilon t} = \frac{1}{b_{ne}} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_\varepsilon} \right) \right),$$

$$w_{\sigma t} = \frac{1}{b_{ns}} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_\sigma} \right) \right).$$

Преимущество применения для моделирования деформационных процессов интегральных соотношений (3), (4), как следствие математической модели (1), (2), состоит в возможности расширения области доверительного прогнозирования в сторону "больших" (длительные процессы) и в сторону "малых" времен (кратковременные процессы) с уменьшением по-

грешности прогноза за счет снижения влияния квазимгновенного фактора деформирования в начале процесса. Прогнозирование деформационного поведения материала на "малые" времена особенно важно для эксплуатации парашютных строп, так как от момента раскрытия парашюта (начала деформационного процесса) во многом зависит безопасность и жизнь парашютиста. Прогнозирование деформационных процессов на "большие" времена также актуально, так как позволяет определить степень надежности парашюта при затяжных прыжках и при спуске на парашютах тяжелой техники.

Разработанные методы вычисления интегралов, входящих в соотношения (3), (4), с учетом специфики математических моделей (1), (2), и соответствующее программное обеспечение опробованы на различных видах деформационных процессов, в том числе на релаксации (рис. 1 – "семейства" кривых релаксации напряжений при различной деформации парашютных строп; $T = 20^\circ\text{C}$: а – дакрон-1200, б – вектран-800, в – НМЛ-1600; линии – расчет, о – эксперимент) и ползучести (рис. 2 – "семейства" кривых ползучести при различной нагрузке парашютных строп; $T = 20^\circ\text{C}$: а – дакрон-1200, б – вектран-800, в – НМА-1600; линии – расчет, о – эксперимент). Близость расчетных точек к экспериментальным значениям наблюдается для всех рассмотренных материалов.

Разработанные методы применимы для решения задач по сравнительному анализу деформационных свойств парашютных строп, для исследования взаимосвязи указанных свойств со структурой и их целенаправленного технологического регулирования, а также для расчетного прогнозирования кратковременных и длительных механических воздействий.

Проведенный анализ деформационных характеристик парашютных строп выявил влияние геометрических факторов, линейной плотности и компонентного состава на их деформационные свойства.

Сравнивая расчетные деформационные характеристики для образцов парашютных строп разного компонентного состава, при

прочих однотипных условиях получаем, что наиболее интенсивно деформационные процессы протекают в парашютных стропках, изготовленных из материала дакрон. Отличительной чертой парашютных строп, изготовленных из дакрона, является значительное преобладание упругой составляющей деформации над вязкоупруго-пластической. На практике это означает,

что такие стропы медленнее изнашиваются, "пружинят" на раскрытии, что заметно смягчает удар и более комфортно для парашютистов. Исходя из анализа деформационных характеристик, парашютные стропы, изготовленные из дакрона, рекомендуется применять в больших парашютах и в парашютах для спуска тяжелой техники.

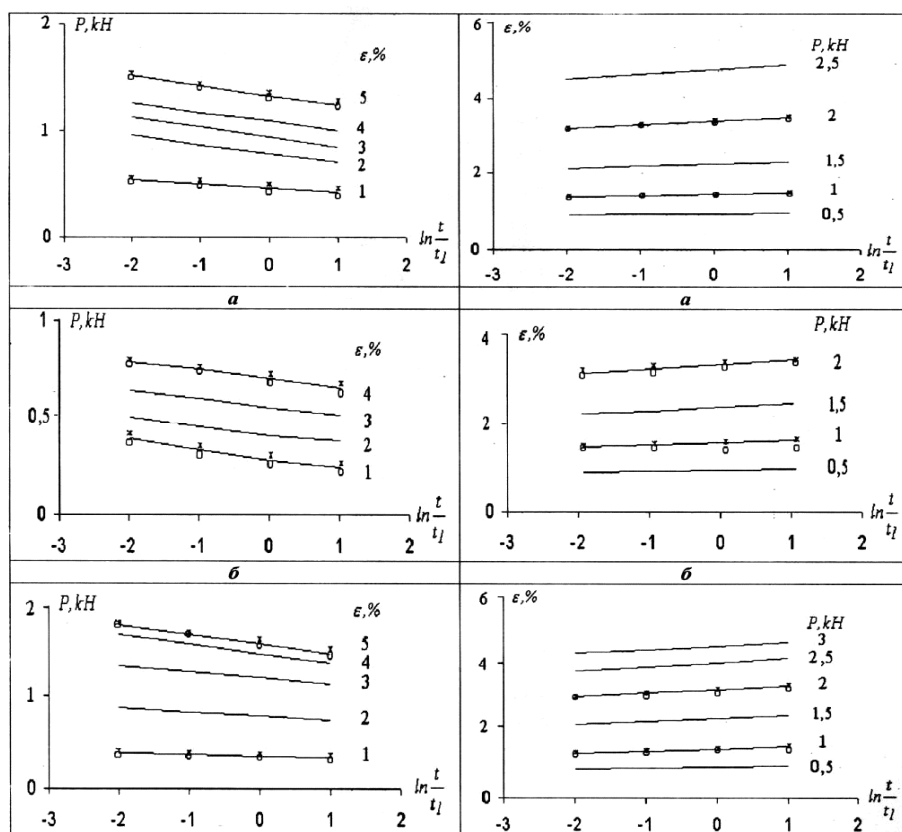


Рис. 1

Рис. 2

Анализируя деформационные характеристики парашютных строп, изготовленных из микролайна, получаем, что существенное влияние на деформационные процессы, в отличие от других изучаемых материалов, оказывает температура. При повышении температуры упругие свойства строп уменьшаются, а вязкоупруго-пластические увеличиваются. Это оказывает существенное влияние и на уменьшение срока службы парашютов с ростом температуры.

Проанализирована также зависимость деформационных свойств парашютных строп, изготовленных из одного и того же материала, но имеющих разные геометри-

ческие характеристики, на примере микролайна и текноры. Чем меньше толщина строп, тем более интенсивно проходят деформационные процессы, что сказывается на маневренности парашютов. Поэтому рекомендуется маневренные и высокоскоростные парашюты оснащать более тонкими стропами, несмотря на их более быстрый износ.

Деформационные процессы парашютных строп, изготовленных из текноры, имеют наименьшую интенсивность по сравнению с другими рассматриваемыми материалами.

ВЫВОДЫ

1. Разработанные методы и компьютерные методики прогнозирования релаксации и ползучести парашютных строп на основе предлагаемой математической модели вязкоупругости позволяют с большой степенью точности рассчитывать релаксационные и деформационные характеристики.

2. Разработанные методы и компьютерные методики прогнозирования деформационных процессов на основе предлагаемых математических моделей релаксации и ползучести позволяют с большой степенью надежности прогнозировать указанные процессы парашютных строп, что подтверждено данными эксперимента.

3. Разработанные методы и компьютерные методики определения деформационных характеристик парашютных строп позволяют производить технологический отбор материалов и давать рекомендации по их техническому использованию.

4. Все разработанные компьютерные методики, опробованные на большой группе парашютных строп и образующих их синтетических нитей, дали положительный прогностический результат, что дает основание считать указанные методики универсальными и рекомендовать их для широкого внедрения в научно-исследовательский процесс материаловедческих лабораторий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров А.Г. Контроль параметров нелинейно-наследственных ядер релаксации и запаздывания синтетических нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 2. С.12...16.
2. Сталевич А.М., Макаров А.Г. Вариант спектра наследственно-вязкоупругой релаксации синтетических нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, №3. С. 8...13.
3. Макаров А.Г., Сталевич А.М. Вариант прогнозирования процессов деформирования синтетических нитей // Химические волокна. – 2001, № 4. С. 67...69.
4. Макаров А.Г., Сталевич А.М. Методы уточнения и контроля прогнозируемых состояний синтетических материалов // Химические волокна. – 2001, № 5. С. 58...61.

5. Сталевич А.М., Макаров А.Г. Определение вязкоупругих характеристик на примере полиакрилонитрильной нити // Химические волокна. – 2001, № 6. С. 68...70.

6. Макаров А.Г., Сталевич А.М. Вариант спектров релаксации и запаздывания у аморфнокристаллических синтетических нитей // Химические волокна. – 2002, № 3. С. 52...55.

7. Сталевич А.М., Макаров А.Г., Саидов Е.Д. Расчетно-экспериментальная оценка поглощаемой механической работы при деформировании синтетической нити // Химические волокна. – 2002, № 3. С. 55...57.

8. Макаров А.Г., Сталевич А.М. Прогноз обратной релаксации и деформационно-восстановительных процессов синтетических нитей // Химические волокна. – 2002, № 6. С.62...64.

9. Макаров А.Г. Определение аналитической взаимосвязи нормированных ядер релаксации и ползучести в линейной теории вязкоупругости текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, №2. С.13...17.

10. Макаров А.Г., Сталевич А.М. Прогнозирование восстановительного деформационного процесса и обратной релаксации полимерных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, № 3. С.10...13.

11. Сталевич А.М., Макаров А.Г., Саидов Е.Д. Упругие компоненты диаграммы растяжения синтетической нити // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, №4...5. С.15...18.

12. Сталевич А.М., Макаров А.Г., Саидов Е.Д. Релаксационная спектрометрия синтетической нити // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, № 1. С. 16...22.

13. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ вязкоупругости полимерных материалов // Вопросы материаловедения. – 2005, № 4 (44). С. 50...58.

14. Макаров А.Г., Овсянников Д.А. Компьютерное определение спектральных и энергетических характеристик синтетических тканей // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2005, №11. С. 5...9.

15. Овсянников Д.А., Макаров А.Г., Сталевич А.М., Демидов А.В. Математическое моделирование вязкоупругих процессов полимеров // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. Серия 10. – 2006, № 3. С. 46...54.

16. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Вариант математического моделирования деформационных процессов полимерных материалов // Вопросы материаловедения. – 2006, № 3. С.101...111.

17. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Методы компьютерного анализа вязкоупругости технических тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 3. С. 13...17.

18. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Исследование изменений деформационных свойств полиэфирных нитей в зависимости от степени крутки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 4. С. 9...13.
19. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Критерии оптимального выбора математической модели вязкоупругости текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 5. С. 18...22
20. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Определение механических характеристик текстильных материалов при переменной температуре // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 6. С. 14...19.
21. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Определение деформационных характеристик синтетических нитей в условиях переменной температуры // Химические волокна. – 2006, № 3. С. 58...61.
22. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Компьютерное исследование вязкоупругости полимерных материалов // Химические волокна. – 2006, № 5. С. 38...43.
23. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Оптимизация выбора модели вязкоупругости синтетических нитей // Химические волокна. – 2006, № 6. С. 47...51.
24. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Вариант прогнозирования деформационных процессов полимерных материалов // Материаловедение. – 2006, № 8. С. 5...10.
25. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Выявление направлений компьютерного прогнозирования деформационных свойств текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, № 2. С. 14...17.
26. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ вязкоупругости текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, № 3. С. 20...24.
27. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ вязкоупругости полиэфирных нитей // Химические волокна. – 2007, № 1. С. 62...65.
28. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Исследование упругих, вязкоупругих и пластических характеристик химических нитей // Химические волокна. – 2007, № 6. С. 52...55.
29. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Вариант математического моделирования деформационных процессов синтетических нитей // Химические волокна. – 2007, № 6. С. 49...52.
30. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Вариант прогнозирования нелинейно-наследственной вязкоупругости полимеров // Прикладная механика и техническая физика. – 2007. Т. 48, № 6 (286). С. 147...157.
31. Жуковский В.А., Макаров А.Г., Ростовцева Н.Г., Слуцкер Г.Я., Столяров О.Н., Терушкина О.Б., Гриднева А.В. Деформационные свойства синтетических моноплетей медицинского назначения // Химические волокна. – 2008, № 4. С. 25...28.
32. Жуковский В.А., Макаров А.Г., Ростовцева Н.Г., Слуцкер Г.Я., Столяров О.Н., Терушкина О.Б., Гриднева А.В. Деформационные свойства синтетических моноплетей медицинского назначения // Химические волокна. – 2008, № 4. С. 25...28.
33. Демидов А.В., Макаров А.Г., Новоселова А.Г., Сталевич А.М. Методы спектрального моделирования механической релаксации текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, № 1С. С. 15... 19.
34. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Вариант моделирования нелинейно-наследственной вязкоупругости полимерных материалов // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2009, № 1. С. 143...153.
35. Ростовцева Н.Г., Литвинов А.М., Федорова С.В., Макаров А.Г. Вариант спектральной интерпретации релаксации и ползучести полимерных нитей // Дизайн. Материалы. Технология. – 2009, № 4. С. 66...68.
36. Ростовцева Н.Г., Литвинов А.М., Федорова С.В., Макаров А.Г. Прогнозирование деформационных процессов полимерных материалов в условиях меняющейся температуры // Дизайн. Материалы. Технология. – 2009, № 3. С. 69...71.
37. Макаров А.Г., Ростовцева Н.Г., Федорова С.В., Лебедева С.В. Компьютерное моделирование вязкоупругих морских полимерных канатов // Дизайн. Материалы. Технология. – 2010, № 1. С. 100...105.
38. Макаров А.Г., Ростовцева Н.Г., Артемьева Е.Н., Лебедева С.В. Моделирование деформационных свойств арамидных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. – 2010, № 2. С. 25...29.
39. Ростовцева Н.Г., Макаров А.Г., Пушкарь Д.В. Прогнозирование процессов обратной релаксации полимерных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2010. Т. 7, № 1. С. 64...65.
40. Макаров А.Г., Киселев С.В., Рыбачук С.В., Зурахов В.С. Критерии надежности прогнозирования вязкоупругости полимерных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2011. Т. 11, № 1. С. 56...60.
41. Макаров А.Г., Киселев С.В., Рыбачук С.В., Пушкарь Д.В. Вариант моделирования релаксации и ползучести полимерных одноосно-ориентированных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. – 2011, № 1. С. 91...94.
42. Макаров А.Г., Киселев С.В., Рыбачук С.В., Зурахов В.С. Высокоскоростное деформирование одноосно-ориентированных полимерных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. – 2011, № 2. С. 64...66.
43. Макаров А.Г., Горшков А.С., Рымкевич П.П., Переборова Н.В. Метод коррекции параметров математической модели релаксации полимеров по точкам экспериментальной диаграммы растяжения // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012. Т. 1, № 21. С. 23...28.

44. Макаров А.Г., Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ишмуратова Р.Р. Метод определения спектральных и энергетических характеристик эластомеров // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012. Т.2, № 22. С. 38...42.
45. Макаров А.Г., Слуцкер Г.Я., Терушкина О.Б., Дроботун Н.В. Физический анализ кинетики ползучести мономеров из полипропилена и поливинилиденфторида // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012. Т. 3. С. 41...44.
46. Макаров А.Г., Егорова М.А., Зурахов Н.С., Фомина А.В. Определение аналитической взаимосвязи нормированных ядер релаксации и запаздывания в линейной теории вязкоупругости полимерных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012. Т. 3. С. 48...50.
47. Рымкевич П.П., Романова А.А., Горшков А.С., Макаров А.Г. Физические основы вязкоупругого поведения ориентированных аморфно-кристаллических полимеров // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. Т. 16, № 2. С.70...73.
48. Слуцкер Г.Я., Жуковский В.А., Терушкина О.Б., Дроботун Н.В., Филипенко Т.С., Едомина Н.А., Макаров А.Г. Упругие свойства полипропиленовых и поливинилиденфторидных мономеров и сетчатых эндопротезов на их основе // Химические волокна. – 2012, № 5. С.28...32.
49. Макаров А.Г., Демидов А.В., Переборова Н.В., Вагнер В.И. Спектральный анализ релаксационных свойств полимерных нитей аморфно-кристаллического строения // Химические волокна. – 2013, № 5. С. 44...47.
50. Головина В.В., Рымкевич П.П., Макаров А.Г., Романова А.А. Прогнозирование деформационных и релаксационных процессов в одноосноориентированных полимерных материалах // Химические волокна. – 2013, № 6. С. 33...40.
51. Rymkevich P.P., Romanova A.A., Golovina V.V., Makarov A.G. The Energy Barriers Model for the Physical Description of the Viscoelasticity of Synthetic Polymers: Application to the Uniaxial Orientational Drawing of Polyamide Films // Journal of Macromolecular Science. Part B: Physics. –Vol. 52. Issue 12, 2013. P. 1829...1847.
52. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Основы математического моделирования релаксации и ползучести полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2013. Т.21, № 3. С. 27...31.
53. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Основы достоверного прогнозирования релаксационных и деформационных процессов полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2013. Т. 22, № 4. С. 32...34.
54. Переборова Н.В., Егорова М.А., Вагнер В.И., Васильева Е.К. Компьютерное моделирование деформационных свойств текстильных материалов сложного строения // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2013. Т.22, №4. С. 35...37.
55. Головина В.В., Макаров А.Г., Рымкевич П.П. Метод аналогий и его физическое обоснование для описания термовязкоупругости аморфно-кристаллических полимерных нитей // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2013. Т.19. С. 67...70.
56. Рымкевич П.П., Горшков А.С., Макаров А.Г., Романова А.А. Основное определяющее уравнение вязкоупругого поведения одноосноориентированных полимерных материалов // Химические волокна. – 2014, № 1. С. 31...35.
57. Макаров А.Г., Демидов А.В., Переборова П.В., Вагнер В.И. Спектральный анализ деформационных свойств полимерных нитей аморфно-кристаллического строения // Химические волокна. – 2014, № 1. С. 60...63.
58. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова В.И., Вагнер В.И. Вариант моделирования деформационных и релаксационных свойств текстильных материалов сложного строения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №3. С. 110...115.
59. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Основы спектрально-временного анализа релаксационных и деформационных свойств полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2014. Т. 23, №1. С. 19...23.
60. Переборова Н.В., Егорова М.А., Вагнер В.И., Васильева Е.К., Дружкина Ю.Д. Моделирование сложных деформационно-восстановительных процессов полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2014. Т. 23, № 1. С.30...32.
61. Макаров А.Г., Максимов В.В., Переборова Н.В., Вагнер В.И. Компьютерное моделирование деформационных процессов текстильных материалов сложного строения // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2014. Т. 24, №2. С.47...52.
62. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Васильева Е.К., Дружкина Ю.Д., Максимов В.В. Процессы обратной релаксации полимерных текстильных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2014, № 2. Т. 24. С.53...55.

REFERENCES

1. Makarov A.G. Kontrol' parametrov nelinejno-nasledstvennyh yader relaksacii i zapazdyvaniya sinteticheskikh nitej // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2000, № 2. S.12...16.
2. Stalevich A.M., Makarov A.G. Variant spektra nasledstvenno-vyazkouprugoj relaksacii sinteticheskikh nitej // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2000, №3. S. 8...13.
3. Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant prognozirovaniya processov deformirovaniya sin-

- teticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2001, №4. S. 67...69.
4. Makarov A.G., Stalevich A.M. Metody utochneniya i kontrolya prognoziruemykh sostoyaniy sinteticheskikh materialov // Himicheskie volokna. – 2001, № 5. S. 58...61.
5. Stalevich A.M., Makarov A.G. Opredelenie vyazkoprugih karakteristik na primere poliakrilonitril'noj niti // Himicheskie volokna. – 2001, № 6. S.68...70.
6. Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant spektrov relaksacii i zapazdyvaniya u amorfno-kristallicheskih sinteticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2002, №3. S. 52...55.
7. Stalevich A.M., Makarov A.G., Saidov E.D. Raschetno-eksperimental'naya ocenka poglovaemoy mehanicheskoy raboty pri deformirovani sinteticheskoy niti // Himicheskie volokna. – 2002, № 3. S. 55...57.
8. Makarov A.G., Stalevich A.M. Prognoz obratnoj relaksacii i deformatsionno-vosstanovitel'nykh processov sinteticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2002, №6. S.62...64.
9. Makarov A.G. Opredelenie analiticheskoy vzaimosvyazi normirovannykh yader relaksacii i polzuchesti v linejnoy teorii vyazkoprugosti tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2002, №2. S.13...17.
10. Makarov A.G., Stalevich A.M. Prognozirovaniye vosstanovitel'nogo deformatsionnogo processa i obratnoj relaksacii polimernykh materialov // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2002, № 3. S.10...13.
11. Stalevich A.M., Makarov A.G., Saidov E.D. Uprugie komponenty diagrammy rastyazheniya sinteticheskoy niti // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2002, №4...5. S.15...18.
12. Stalevich A.M., Makarov A.G., Saidov E.D. Relaksacionnaya spektrometriya sinteticheskoy niti // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2003, № 1. S. 16...22.
13. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Sistemnyy analiz vyazkoprugosti polimernykh materialov // Voprosy materialovedeniya. – 2005, № 4 (44). S. 50...58.
14. Makarov A.G., Ovsyannikov D.A. Komp'yuternoe opredelenie spektral'nykh i e'nergeticheskikh karakteristik sinteticheskikh tkanej // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i dizajna. – 2005, №11. S. 5...9.
15. Ovsyannikov D.A., Makarov A.G., Stalevich A.M., Demidov A.V. Matematicheskoe modelirovaniye vyazkoprugih processov polimerov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10. – 2006, № 3. S. 46...54.
16. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant matematicheskogo modelirovaniya deformatsionnykh processov polimernykh materialov // Voprosy materialovedeniya. – 2006, № 3. S.101...111.
17. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Metody komp'yuternogo analiza vyazkoprugosti tehnikeskikh tkanej // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2006, № 3. S. 13...17.
18. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Issledovanie izmeneniy deformatsionnykh svoystv polie'firnykh nitej v zavisimosti ot stepeni krutki // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2006, № 4. S. 9...13.
19. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Kriterii optimal'nogo vybora matematicheskoy modeli vyazkoprugosti tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2006, № 5. S. 18...22.
20. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Opredelenie mehanicheskikh karakteristik tekstil'nykh materialov pri peremennomoy temperature // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2006, № 6. S. 14...19.
21. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Opredelenie deformatsionnykh karakteristik sinteticheskikh nitej v usloviyakh peremennomoy temperature // Himicheskie volokna. – 2006, № 3. S. 58...61.
22. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Komp'yuternoe issledovanie vyazkoprugosti polimernykh materialov // Himicheskie volokna. – 2006, № 5. S. 38...43.
23. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Optimizatsiya vybora modeli vyazkoprugosti sinteticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2006, №6. S. 47...51.
24. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant prognozirovaniya deformatsionnykh processov polimernykh materialov // Materialovedenie. – 2006, №8. S. 5 ...10.
25. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Vyyavlenie napravleniy komp'yuternogo prognozirovaniya deformatsionnykh svoystv tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2007, № 2. S. 14...17.
26. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Sistemnyy analiz vyazkoprugosti tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2007, № 3. S. 20 ...24.
27. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Sistemnyy analiz vyazkoprugosti polie'firnykh nitej // Himicheskie volokna. – 2007, № 1. S.62...65.
28. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Issledovanie uprugih, vyazkoprugih i plasticheskikh karakteristik himicheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2007, № 6. S. 52...55.
29. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant matematicheskogo modelirovaniya deformatsionnykh processov sinteticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2007, № 6. S.49...52.
30. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant prognozirovaniya nelinejno-nasledstvennoy vyazkoprugosti polimerov // Prikladnaya mehanika i tehnikeskaya fizika. – 2007. T.48, № 6 (286). S.147...157.
31. Zhukovskij V.A., Makarov A.G., Rostovceva N.G., Slucker G.YA., Stolyarov O.H., Terushkina O.B., Gridneva A.V. Deformatsionnye svoystva sinteticheskikh mononitej medicinskogo naznacheniya // Himicheskie volokna. – 2008, № 4. S. 25...28.

32. Zhukovskij V.A., Makarov A.G., Rostovceva N.G., Slucker G.YA., Stolyarov O.N., Terushkina O.B., Gridneva A.V. Deformacionnye svojstva sinteticheskikh mononitej medicinskogo naznacheniya // *Himicheskie volokna*. – 2008, № 4. S. 25...28.
33. Demidov A.V., Makarov A.G., Novoselova A.G., Stalevich A.M. Metod spektral'nogo modelirovaniya mehanicheskoj relaksacii tekstil'nyh materialov // *Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. – 2007, № 1C. S. 15... 19.
34. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant modelirovaniya nelinejno-nasledstvennoj vyazkouprugosti polimernyh materialov // *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Mehanika tverdogo tela*. – 2009, № 1. S.143...153.
35. Rostovceva N.G., Litvinov A.M., Fedorova S.V., Makarov A.G. Variant spektral'noj interpretacii relaksacii i polzuchesti polimernyh nitej // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2009, №4. S. 66...68.
36. Rostovceva N.G., Litvinov A.M., Fedorova S.V., Makarov A.G. Prognozirovanie deformacionnyh processov polimernyh materialov v usloviyah menyayuwejsya temperatury // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2009, № 3. S. 69...71.
37. Makarov A.G., Rostovceva N.G., Fedorova S.V., Lebedeva S.V. Komp'yuternoe modelirovanie vyazkouprugih morskikh polimernyh kanatov // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2010, № 1. S.100...105.
38. Makarov A.G., Rostovceva N.G., Artem'eva E.N., Lebedeva S.V. Modelirovanie deformacionnyh svojstv aramidnyh materialov // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2010, №2. S. 25...29.
39. Rostovceva N.G., Makarov A.G., Pushkar' D.V. Prognozirovanie processov obratnoj relaksacii polimernyh materialov // *Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti*. – 2010. T.7, №1. S. 64...65.
40. Makarov A.G., Kiselev S.V., Rybachuk S.V., Zurahov B.C. Kriterii nadezhnosti prognozirovaniya vyazkouprugosti polimernyh materialov // *Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti*. – 2011. T. 11, №1. S. 56...60.
41. Makarov A.G., Kiselev S.V., Rybachuk S.V., Pushkar' D.V. Variant modelirovaniya relaksacii i polzuchesti polimernyh odnoosno-orientirovannyh materialov // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2011, №1. S. 91...94.
42. Makarov A.G., Kiselev S.V., Rybachuk S.V., Zurahov B.C. Vysokoskorostnoe deformirovanie odnoosno-orientirovannyh polimernyh materialov // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2011, № 2. S.64...66.
43. Makarov A.G., Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Pereborova N.V. Metod korrekcii parametrov matematicheskoj modeli relaksacii polimerov po tochkam e'ksperimental'noj diagrammy rastyazheniya // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2012. T. 1, № 21. S. 23...28.
44. Makarov A.G., Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Ishmuratova P.P. Metod opredeleniya spektral'nyh i e'nergeticheskikh harakteristik e'lastomerov // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2012. T.2, № 22. S.38...42.
45. Makarov A.G., Slucker G.YA., Terushkina O.B., Drobotun N.V. Fizicheskij analiz kinetiki polzuchesti mononitej iz polipropilena i polivini-lidenftorida // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2012. T. 3. S. 41...44.
46. Makarov A.G., Egorova M.A., Zurahov N.S., Fomina A.V. Opredelenie analiticheskoy vzaimosvyazi normirovannyh yader relaksacii i zapazdyvaniya v linejnoj teorii vyazkouprugosti polimernyh materialov // *Dizajn. Materialy. Tehnologiya*. – 2012. T. 3. S.48...50.
47. Rymkevich P.P., Romanova A.A., Gorshkov A.S., Makarov A.G. Fizicheskie osnovy vyazkouprugogo povedeniya orientirovannyh amorfno-kristallicheskih polimerov // *Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti*. – 2012. T. 16, № 2. S.70...73.
48. Slucker G.YA., Zhukovskij V.A., Terushkina O.B., Drobotun N.V., Filipenko T.S., Edomina N.A., Makarov A.G. Uprugie svojstva polipropilenovyh i polivinilidenftoridnyh mononitej i setchatyh e'ndoprotezov na ih osnove // *Himicheskie volokna*. – 2012, №5. S.28...32.
49. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova N.V., Vagner V.I. Spektral'nyj analiz relaksacionnyh svojstv polimernyh nitej amorfno-kristallicheskogo stroeniya // *Himicheskie volokna*. – 2013, № 5. S.44...47.
50. Golovina V.V., Rymkevich P.P., Makarov A.G., Romanova A.A. Prognozirovanie deformacionnyh i relaksacionnyh processov v odnoosno-orientirovannyh polimernyh materialah // *Himicheskie volokna*. – 2013, № 6. S. 33...40.
51. Rymkevich P.P., Romanova A.A., Golovina V.V., Makarov A.G. The Energy Barriers Model for the Physical Description of the Viscoelasticity of Synthetic Polymers: Application to the Uniaxial Orientational Drawing of Polyamide Films // *Journal of Macromolecular Science. Part B: Physics*. –Vol. 52. Issue 12, 2013. P. 1829...1847.
52. Makarov A.G., Pereborova P.V., Vagner V.I., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya relaksacii i polzuchesti polimernyh materialov tekstil'noj i legkoj promyshlennosti // *Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti*. – 2013. T.21, № 3. S. 27...31.
53. Makarov A.G., Pereborova N.V., Vagner V.I., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Osnovy doveritel'nogo prognozirovaniya relaksacionnyh i deformacionnyh processov polimernyh materialov tekstil'noj i legkoj promyshlennosti // *Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti*. – 2013. T. 22, № 4. S. 32...34.
54. Pereborova N.V., Egorova M.A., Vagner V.I., Vasil'eva E.K. Komp'yuternoe modelirovanie deformacionnyh svojstv tekstil'nyh materialov slozhnogo stroeniya // *Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti*. – 2013. T.22, №4. S. 35...37.
55. Golovina V.V., Makarov A.G., Rymkevich P.P. Metod analogij i ego fizicheskoe obosnovanie dlya opisaniya termovyazkouprugosti amorfno-kristallicheskih polimernyh nitej // *Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti*. – 2013. T.19. S.67...70.

56. Rymkevich P.P., Gorshkov A.S., Makarov A.G., Romanova A.A. Osnovnoe opredelyayushee uravnenie vyazkouprugogo povedeniya odnoosno-orientirovannykh polimernykh materialov // Himicheskie volokna. – 2014, № 1. S. 31...35.

57. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova P.V., Vagner V.I. Spektral'nyj analiz deformatsionnykh svoystv polimernykh nitej amorfno-kristallicheskogo stroeniya // Himicheskie volokna. – 2014, № 1. S.60...63.

58. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova V.I., Vagner V.I. Variant modelirovaniya deformatsionnykh i relaksacionnykh svoystv tekstil'nykh materialov slozhnogo stroeniya // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, №3. S. 110...115.

59. Makarov A.G., Pereborova N.V., Vagner V.I., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Osnovy spektral'no-vremennogo analiza relaksacionnykh i deformatsionnykh svoystv polimernykh materialov tekstil'noj i legkoj promyshlennosti // Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti. – 2014. T. 23, № 1. S. 19...23.

60. Pereborova N.V., Egorova M.A., Vagner V.I., Vasil'eva E.K., Druzhkina YU.D. Modelirovanie slozhnykh deformatsionno-vosstanovitel'nykh processov polimernykh materialov tekstil'noj i legkoj promyshlennosti // Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti. – 2014. T. 23, № 1. S.30...32.

61. Makarov A.G., Maksimov V.V., Pereborova N.V., Vagner V.I. Komp'yuternoe modelirovanie deformatsionnykh processov tekstil'nykh materialov slozhnogo stroeniya // Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti. – 2014. T. 24, №2. S.47...52.

62. Pereborova N.V., Vagner V.I., Vasil'eva E.K., Druzhkina Yu.D., Maksimov V.V. Processy obratnoj relaksacii polimernykh tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti. – 2014, № 2. T. 24. S.53...55.

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации. Поступила 01.09.15.