

УДК 539.434:677.494

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА  
ДЕФОРМАЦИОННЫХ И РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АРАМИДНЫХ НИТЕЙ  
И ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ\***

**DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR THE COMPARATIVE ANALYSIS  
OF DEFORMATION AND RELAXATION PROPERTIES OF ARAMID YARNS  
AND TEXTILE MATERIALS BASED ON THEM**

*А.Г. МАКАРОВ, Н.В. ПЕРЕБОРОВА, В.И. ВАГНЕР, Е.К. ВАСИЛЬЕВА*  
A.G. MAKAROV, N.V. PEREBOROVA, V.I. WAGNER, E.K. VASILYEVA

(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 разработки методик проведения сравнительного анализа деформационных и релаксационных свойств арамидных нитей и текстильных материалов на их основе. Показано, что разработанные методики разделения деформационных процессов арамидных текстильных материалов на упругие и вязкоупругопластические составляющие позволяют решать задачи по качественному отбору материалов, обладающих определенными упругомеханическими свойствами. Сравнительный анализ вязкоупругих характеристик арамидных текстильных материалов и образующих их нитей проясняет внутренний характер релаксации и ползучести арамидных тканей и шнуров – деформирование в первую очередь происходит за счет конформационно-структурных перестроек геометрического характера. Изменение геометрической структуры арамидных тканей и шнуров существенно влияет на перераспределение упругих и вязкоупругопластических свойств и является основой для решения технологических задач проектирования и отбора материалов, обладающих заданными упругими и вязкоупругопластическими свойствами.*

*The article deals with the development of methodologies for comparative analysis of deformation and relaxation properties of aramid fibers and textile materials based on them. It is shown that the developed separation techniques deformation*

---

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

*processes aramid textile materials elastic and viscoelastic-plastic components allow to solve problems in the qualitative selection of materials has a certain elasticity and mechanical properties. Comparative analysis of the viscoelastic characteristics of aramid textiles and their constituent yarns clarify the internal nature of the relaxation and creep aramid fabrics and cords - deformation primarily occurs due to conformational rearrangements geometric nature. Changing the geometrical structure of aramid fabrics and cords significantly affects the redistribution of elastic and viscoelastic-plastic properties and is the basis for the solution of technological problems of design and selection of materials with predetermined elastic and viscoelastic-plastic properties.*

**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.

Арамидные нити и текстильные изделия на их основе находят широкое применение в различных областях техники [1...3]. Указанные материалы, обладающие большой термостойкостью и прочностью, относятся к классу вязкоупругих твердых тел [4...6]. Большая деформационная жесткость и огнестойкость арамидных нитей и текстильных изделий из них выгодно отличает данные материалы от полимеров других групп. Особый интерес представляет изучение деформационных свойств указанных материалов в области действия неразрушающих нагрузок, близких к условиям их эксплуатации [7...9]. Применение арамидных нитей в составе таких текстильных объектов, как бронежилеты, веревки в устройствах, обеспечивающих спасение людей из высотных зданий при пожаре, горноспасательное оборудование, пожарозащитное оборудование и др., накладывает особую ответственность и требовательность к качеству при проведении исследований их деформационных свойств [10...14]. Такие исследования возможны на основе математического моделирования вязкоупругости, включающего в себя построение соответствующих моделей. Актуальными задачами являются: прогнозирование процессов деформирования и восстановления, исследования на прочность и усадку, изучение релаксации и ползучести [15...19].

Разработка численных методик прогнозирования деформационных процессов арамидных нитей и текстильных изделий из них позволяет решать задачи по сравнительному анализу свойств указанных материалов, исследовать взаимосвязи механических свойств со структурой, проводить целенаправленное технологическое регулирование свойств при разработке и производстве новых материалов, прогнозировать кратковременные и длительные механические воздействия [20...24].

Для сравнительного анализа и прогнозирования деформационных свойств арамидных нитей и текстильных изделий из них необходима разработка адекватной математической модели на основе физически обоснованного аналитического описания вязкоупругости. Особую ценность имеет решение задачи прогнозирования деформационных процессов для таких материалов, когда помимо сопоставления их механических свойств приходится учитывать условия их эксплуатации [25...28].

В основе исследования механических свойств и прогнозирования деформационных процессов арамидных нитей и текстильных изделий из них лежит математическое моделирование вязкоупругости на основе данных краткосрочного эксперимента на простую релаксацию или про-

стую ползучесть [29...32]. 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. Постоянно увеличивается количество мате-

матических моделей, учитывающих специфику того или иного полимерного материала [33...37].

Описание компонентного состава исследуемых объектов дано в табл.1. Технические характеристики изучаемых арамидных нитей приведены в табл.2. В качестве образцов арамидных нитей были выбраны объекты, различные по компонентному составу и производителям. В качестве изделий из арамидных нитей рассмотрены ткани, шнуры и ленты, применяемые в различных областях техники [38...42].

Т а б л и ц а 1

Марка	Компонентный состав	Производитель
Технора	сополипарафенилен-3,4-оксидифенилентерефталамид	Нидерланды, Teijin Twaron
Тварон	полипарафенилентерефталамид	Нидерланды, Teijin Twaron
Кевлар	полипарафенилентерефталамид	США, Du Pont De Nermour
Терлон	сополимеры с содержанием мономеров (5...15)%, близкие к полипарафенилентерефталамиду	Россия, ВНИИПВ
Русар	гетероциклический парасополиамид	ОАО «Каменскхимволокно»
СВМ	ароматический сополиамид на основе полиамидо-бензимидазола (из гетероциклического парадиамин и терефталилхлорида)	Россия, ВНИИПВ, АО НИИхимволокно (СПб), ОАО «Тверьхимволокно», ОАО «Каменскхимволокно»
Армос	ароматический парасополиамид на основе полиамидобензимидазола из (35...45)% мол. гетероциклического парадиамин, (5...15)% мол. парафенилендиамин и 50% мол. терефталилхлорида	Россия, ВНИИПВ, ОАО «Тверьхимволокно»

Т а б л и ц а 2

Материал	Линейная плотность, текс	Разрывная нагрузка, Н	Удлинение при разрыве, %	Разрывное напряжение, ГПа	Модуль упругости, ГПа
Технора	110	217	4,0	2,7	81
Тварон	120	226	2,6	2,6	122
Кевлар	130	199	2,2	2,2	109
Терлон	58,5	87	2,7	2,1	98
Русар	58,8	134	3,1	3,3	115
СВМ	29,5	65	2,6	3,2	105

Исследования на растяжение изучаемых материалов (рис. 1 – экспериментальные диаграммы растяжения нити кевлар при температурах 20 (1), 100 (2), 150 (3), 200 (4), 250 (5), и 300°C (6); рис. 2 – экспериментальные зависимости прочности при растяжении и модуля упругости нити кевлар от температуры) проводились на универсальной измерительной установке Instron 1122 со скоростями нагружения  $\dot{\epsilon} = 4,17 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  при температурных значениях  $T = 20, 100, 150, 200,$

250, 300°C. Для измерения релаксации (рис. 3 – "семейство" модуля релаксации нити кевлар при температуре 20°C (сплошные линии – эксперимент, звездочки – расчет)), ползучести (рис. 4 – "семейство" податливости нити кевлар при температуре 20°C (сплошные линии – эксперимент, звездочки – расчет)), усадки и последующего восстановления применялись различного рода релаксометры деформаций и напряжений [43...46].

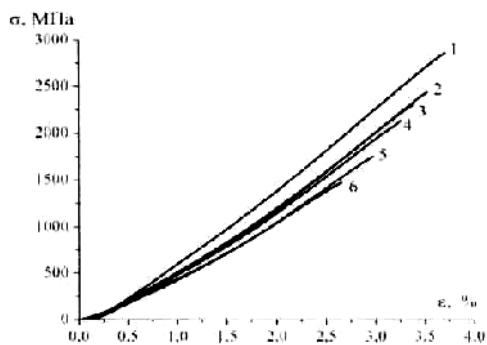


Рис. 1

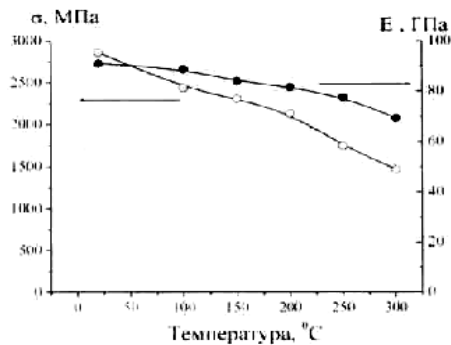


Рис. 2

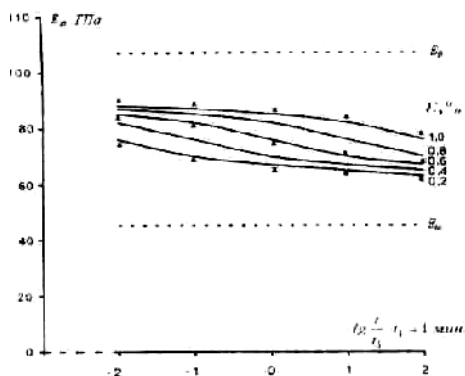


Рис. 3

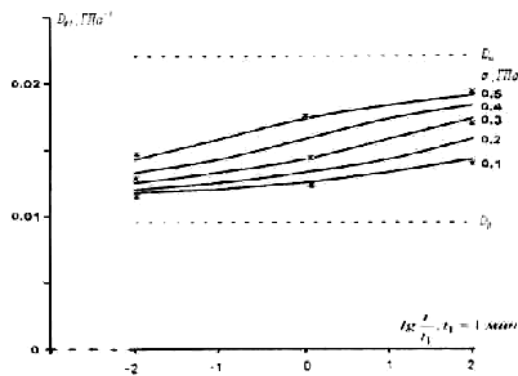


Рис. 4

Математическое моделирование вязкоупругости арамидных текстильных материалов, изучаемых в статье, проводилось на основе нормированной функции арктангенс логарифма приведенного времени (НАЛ), которая положительно себя зарекомендовала при моделировании вязкоупругости текстильных материалов сложной макроструктуры [47...50]. Она имеет вид:

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

для процесса релаксации и

$$\varphi_{\text{ст}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \left( \frac{1}{b_{\text{нс}}} \ln \frac{t}{\tau_{\sigma}} \right) \quad (2)$$

для процесса ползучести.

Обоснованность выбора функции НАЛ заключается в том, что она характеризует вероятностное распределение Коши, обладающее тем важным свойством, что

распределение суммы случайных величин, подчиняющихся закону Коши, также подчинено этому закону [51...53]. Текстильные же объекты сложной макроструктуры типа тканей и шнуров можно считать условно состоящими из "суммы" объектов простой макроструктуры – нитей, моделирования релаксации и ползучести которых проводится также на основе функции НАЛ [54...56].

С учетом сказанного математические модели релаксации (3) и ползучести (4) имеют вид:

$$E_{\text{ст}} = E_0 - (E_0 - E_{\infty})\varphi_{\text{ст}}, \quad (3)$$

$$D_{\text{ст}} = D_0 + (D_{\infty} - D_0)\varphi_{\text{ст}}, \quad (4)$$

где  $t$  – время;  $1/b_{\text{не}}$  – параметр интенсивности процесса релаксации;  $1/b_{\text{нс}}$  – параметр интенсивности процесса ползучести;  $\tau_{\varepsilon}$  – время релаксации (время, за которое "отрелаксирует" половина всех "релаксирующих" частиц при величине деформации  $\varepsilon$ );  $\tau_{\sigma}$  – время запаздывания (время, за которое осуществится половина

конформационных переходов "запаздывающих" частиц при величине напряжения  $\sigma$ );  $E_{\text{ст}} = \sigma/\varepsilon$  – модуль релаксации;  $E_0$  – модуль упругости;  $E_\infty$  – модуль вязкоупругости;  $D_{\text{ст}} = \varepsilon/\sigma$  – податливость;  $D_0$  – начальная податливость;  $D_\infty$  – предельная равновесная податливость;  $\varepsilon$  – деформация;  $\sigma$  – напряжение.

Использование нормированной функции НАЛ в качестве основы математической модели вязкоупругости позволяет с достаточной степенью точности моделировать деформационные свойства арамидных нитей и текстильных изделий из них. На рис. 3 и 4 видно, что расчетные значения модуля релаксации и податливости мало отличаются от соответствующих экспериментальных значений [57...59].

Прогнозирование деформационных и восстановительных процессов рассматриваемых материалов проводится на основе известных интегральных соотношений Больцмана- Вольтерра (5) – для процесса нелинейно-наследственной релаксации и (6) – для процесса нелинейно-наследственной ползучести [60...62]:

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \int_0^t \varepsilon_\theta \varphi'_{\varepsilon, t-\theta} d\theta, \quad (5)$$

$$\varepsilon_t = D_0 \sigma_t - (D_\infty + D_0) \int_0^t \sigma_\theta \varphi'_{\sigma, t-\theta} d\theta. \quad (6)$$

Преимущество применения такого моделирования деформационных процессов, как следствие математической модели (1)...(4), 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, что обусловлено замедленной сходимостью функции НАЛ к своим асимптотическим значениям.

Для повышения точности прогнозирования применялись методы вычисления несобственных нелинейно-наследствен-

ных интегралов (5), (6), основанные на неравномерном разбиении временной шкалы с учетом специфики рассматриваемого процесса. При прогнозировании активных (быстропротекающих) процессов, характеризующихся ростом скорости деформирования, временная шкала разбивалась в возрастающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета влияния квазимгновенного фактора деформирования в начале процесса. При прогнозировании длительных процессов, характеризующихся снижением скорости деформирования, временная шкала разбивалась в убывающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета длительных деформационных воздействий.

Показано, что использование математической модели с функцией НАЛ для прогнозирования деформационных процессов позволяет с достаточной степенью точности прогнозировать деформационные свойства арамидных нитей и текстильных изделий из них. Расчетные данные полностью подтверждены экспериментом.

Аппарат прогнозирования деформационных процессов арамидных материалов текстильной промышленности можно применять для разделения деформационного процесса на две составляющие – упругую и вязкоупругопластическую.

Такое разделение деформационных процессов арамидных нитей и текстильных изделий из них позволяет ответить на многие вопросы, касающиеся упругих и вязкоупругопластических свойств изучаемых материалов. Рассматриваемые арамидные ткани, предназначенные для индивидуальной бронезащиты (табл. 3) должны обладать не только большой степенью жесткости, которая свойственна всем арамидным материалам, но и определенной долей пластичности, чтобы максимально гасить вредные механические воздействия. Здесь первостепенную роль начинает играть структура арамидной ткани, способ переплетения нитей, геометрическая структура материала, количество слоев ткани. Разработанная методика разделения деформационного про-

цесса на упругую и вязкоупругопластическую составляющие позволяет отдать предпочтение тому или иному материалу.

Арамидные текстильные материалы, применяемые в качестве арматуры корпусов космических летательных аппаратов, должны обладать несколько иными характеристиками. Здесь на первое место выходит их огнестойкость и возможность наиболее длительного сохранения упругих механических свойств при повышенной температуре. На этот вопрос также можно ответить с помощью предлагаемого метода разделения деформационных процессов на упругую и вязкоупругопластическую составляющие.

Арамидные шнуры, применяемые при спасении людей из высотных зданий при пожаре, должны обладать определенными упругими и вязкоупругопластическими свойствами наряду с огнестойкостью. Применяемая методика расчета упругой составляющей деформационного процесса позволяет произвести технологический отбор материалов, наилучшим образом удовлетворяющих этой цели.

Проведенные исследования позволяют выявить упругие и вязкоупругопластические свойства арамидных нитей и текстильных материалов из них. Разработанные методы применяются для решения задач по сравнительному анализу свойств арамидных нитей и текстильных изделий из них, 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 свойств арамидных нитей и текстильных изделий из них выявил роль влияния геометрических размеров, линейной плотности, способа переплетения нитей и компонентного состава на их деформационные свойства. Выявлены также существенные отличия в протекании процессов релаксации и ползучести у арамидных тканей и шнуров в отличие от арамидных нитей. Процессы релаксации и ползучести тканей и шнуров протекают заметно бо-

лее активно, чем у образующих их нитей. Это связано с макростроением материалов. В начале процессов релаксации и ползучести происходит перестройка макроструктуры геометрического характера за счет изменения расстояний между образующими материал нитями. На этом этапе ткани и шнуры имеют меньшую деформационную жесткость, чем нити. На втором этапе деформирования, когда изменения макроструктуры геометрического характера будут исчерпаны, включается механизм релаксации и ползучести самих арамидных нитей. Начиная с этого момента деформационное поведение тканей и шнуров аналогично нитям.

## ВЫВОДЫ

1. Разработанные методики расчета релаксации и ползучести арамидных текстильных материалов позволяют с большой степенью точности прогнозировать их релаксационные и деформационные процессы.

2. Сравнительный анализ вязкоупругих характеристик арамидных текстильных материалов и образующих их нитей проясняют внутренний характер релаксации и ползучести арамидных тканей и шнуров – деформирование в первую очередь происходит за счет конформационно-структурных перестроек геометрического характера.

3. Изменение геометрической структуры арамидных тканей и шнуров существенно влияет на перераспределение упругих и вязкоупругопластических свойств и является основой для решения технологических задач проектирования и отбора материалов, обладающих заданными упругими и вязкоупругопластическими свойствами.

4. Разработанные методики опробованы на большой группе арамидных текстильных материалов различного назначения, что дает основание считать эти методики применимыми для исследования и других типов арамидных текстильных материалов.

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 аморфно-кристаллических 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 поли-

- эфирных 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, №6 (286). Т. 48. 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 мономеров 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 мономеров 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, № 1. Т.7. 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, № 1. Т.11. 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., Гориков А.С., Рымкевич П.П., Переборова Н.В. Метод коррекции параметров математической модели релаксации полимеров по точкам экспериментальной диаграммы растяжения // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012, № 21. Т.1. С. 23...28.
44. Макаров А.Г., Гориков А.С., Рымкевич П.П., Ишмуратова Р.Р. Метод определения спектральных и энергетических характеристик эластомеров // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012, № 22. Т.2. 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., Гориков А.С., Макаров А.Г. Физические основы вязкоупругого поведения ориентированных аморфно-кристаллических полимеров // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2012, № 2. Т.16. 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. – 2013, № 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 одноосно-ориентированных 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, №3. Т.21. С.27...31.

53. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Основы доверительного прогнозирования релаксационных и деформационных процессов полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2013, № 4. Т. 22. 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, №4. Т. 22. 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 однооси ориентированных полимерных материалов // Химические волокна. – 2014, № 1. С. 31...35.

57. Макаров А.Г., Демидов А.В., Переборова Н.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, № 1. Т. 23. 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, № 1. Т. 23. 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, №2. Т.24. 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 jader relaksacii i zapazdyvanija sinteticheskikh nitej // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2000, №2. S. 12...16.

2. Stalevich A.M., Makarov A.G. Variant spektra nasledstvenno-vjaskouprugoj relaksacii sinteticheskikh nitej // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2000, № 3. S. 8...13.

3. Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant prognozirovaniya processov deformirovaniya sinteticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2001, №4. S. 67 ... 69.

4. Makarov A.G., Stalevich A.M. Metody utochnenija i kontrolja prognozirovaniya sinteticheskikh materialov // Himicheskie volokna. – 2001, № 5. S. 58...61.

5. Stalevich A.M., Makarov A.G. Opredelenie vjaskouprugih harakteristik na primere poliakrilonitril'noj niti // Himicheskie volokna. – 2001, № 6. S. 68 ... 70.

6. Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant spektrov relaksacii i zapazdyvanija u amorfno-kristallicheskih sinteticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2002, № 3. S. 52...55.

7. Stalevich A.M., Makarov A.G., Saidov E.D. Raschetno-jeksperimental'naja ocenka pogloshhaemoj mehanicheskoj raboty pri deformirovanii sinteticheskoj niti // Himicheskie volokna. – 2002, №3. S. 55...57.

8. Makarov A.G., Stalevich A.M. Prognoz obratnoj relaksacii i deformacionno-vosstanovitel'nyh processov sinteticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2002, № 6. S. 62...64.

9. Makarov A.G. Opredelenie analiticheskoj vzaimosvjazi normirovannyh jader relaksacii i polzuchesti v linejnoj teorii vjaskouprugosti tekstil'nyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2002, №2. S.13...17.

10. Makarov A.G., Stalevich A.M. Prognozirovanie vosstanovitel'nogo deformacionnogo processa i obratnoj relaksacii polimernyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2002, № 3. S. 10...13.

11. Stalevich A.M., Makarov A.G., Saidov E.D. Uprugie komponenty diagrammy rastjazhenija sinteticheskoj niti // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2002, № 4...5. S.15...18.

12. Stalevich A.M., Makarov A.G., Saidov E.D. Relaksacionnaja spektrometrija sinteticheskoj niti // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2003, № 1. S. 16...22.

13. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Sistemnyj analiz vjaskouprugosti polimernyh

materialov // Voprosy materialovedeniya. – 2005, № 4 (44). S. 50...58.

14. Makarov A.G., Ovsjannikov D.A. Komp'juternoe opredelenie spektral'nyh i jenergeticheskikh karakteristik sinteticheskikh tkaney // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i dizajna. – 2005, № 11. S.5...9.

15. Ovsjannikov D.A., Makarov A.G., Stalevich A.M., Demidov A.V. Matematicheskoe modelirovanie vjazkouprugih processov polimerov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – Serija 10. 2006, № 3. S. 46 ... 54.

16. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant matematicheskogo modelirovanija deformacionnyh processov polimernyh materialov // Voprosy materialovedeniya. – 2006, № 3. S.101...111.

17. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Metody komp'juternogo analiza vjazkouprugosti tehniceskikh tkaney // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2006, № 3. S.13...17.

18. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Issledovanie izmenenij deformacionnyh svojstv polijefirnyh nitej v zavisimosti ot stepeni krutki // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2006, № 4. S. 9... 13.

19. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Kriterii optimal'nogo vybora matematicheskoy modeli vjazkouprugosti tekstil'nyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2006, № 5. S. 18...22.

20. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Opredelenie mehanicheskikh karakteristik tekstil'nyh materialov pri peremennomj temperatyre // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2006, № 6. S. 14...19.

21. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Opredelenie deformacionnyh karakteristik sinteticheskikh nitej v uslovijah peremennomj temperatury // Himicheskie volokna. – 2006, № 3. S. 58...61.

22. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Komp'juternoe issledovanie vjazkouprugosti polimernyh materialov // Himicheskie volokna. – 2006, № 5. S. 38...43.

23. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Optimizacija vybora modeli vjazkouprugosti sinteticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2006, № 6. S. 47... 51.

24. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant prognozirovanija deformacionnyh processov polimernyh materialov // Materialovedenie. – 2006, № 8. S. 5...10.

25. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Vyjavlenie napravlenij komp'juternogo prognozirovanija deformacionnyh svojstv tekstil'nyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2007, № 2. S.14...17.

26. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Sistemnyj analiz vjazkouprugosti tekstil'nyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2007, № 3. S.20...24.

27. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Sistemnyj analiz vjazkouprugosti polijefirnyh nitej // Himicheskie volokna. – 2007, №1. S. 62...65.

28. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Issledovanie uprugih, vjazkouprugih i plasticheskikh karakteristik himicheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2007, № 6. S.52...55.

29. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant matematicheskogo modelirovanija deformacionnyh processov sinteticheskikh nitej // Himicheskie volokna. – 2007, № 6. S. 49...52.

30. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant prognozirovanija nelinejno-nasledstvennoj vjazkouprugosti polimerov // Prikladnaja mehanika i tehniceskaja fizika. – 2007, №6 (286). T. 48. S. 147...157.

31. Zhukovskij V.A., Makarov A.G., Rostovceva N.G., Slucker G.Ja., Stoljarov O.N., Terushkina O.B., Gridneva A.V. Deformacionnye svojstva sinteticheskikh mononitej medicinskogo naznachenija // Himicheskie volokna. – 2008, № 4. S. 25...28.

32. Zhukovskij V.A., Makarov A.G., Rostovceva N.G., Slucker G.Ja., Stoljarov O.N., Terushkina O.B., Gridneva A.V. Deformacionnye svojstva sinteticheskikh mononitej medicinskogo naznachenija // Himicheskie volokna. – 2008, № 4. S. 25...28.

33. Demidov A.V., Makarov A.G., Novoselova A.G., Stalevich A.M. Metody spektral'nogo modelirovanija mehanicheskoy relaksacii tekstil'nyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2007, № 1S. S. 15...19.

34. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. Variant modelirovanija nelinejno-nasledstvennoj vjazkouprugosti polimernyh materialov // Izvestija 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. Tehnologija. – 2009, № 4. S. 66...68.

36. Rostovceva N.G., Litvinov A.M., Fedorova S.V., Makarov A.G. Prognozirovanie deformacionnyh processov polimernyh materialov v uslovijah menjajushhejsja temperatury // Dizajn. Materialy. Tehnologija. – 2009, № 3. S. 69...71.

37. Makarov A.G., Rostovceva N.G., Fedorova S.V., Lebedeva S.V. Komp'juternoe modelirovanie vjazkouprugih morskikh polimernyh kanatov // Dizajn. Materialy. Tehnologija. – 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. Tehnologija. – 2010, № 2. S. 25...29.

39. Rostovceva N.G., Makarov A.G., Pushkar' D.V. Prognozirovanie processov obratnoj relaksacii polimernyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2010, № 1. T.7. S. 64...65.

40. Makarov A.G., Kiselev S.V., Rybachuk S.V., Zurahov V.S. Kriterii nadezhnosti prognozirovanija vjazkouprugosti polimernyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2011, № 1. T.11. S. 56...60.

41. Makarov A.G., Kiselev S.V., Rybachuk S.V., Pushkar' D.V. Variant modelirovaniya relaksacii i polzuchesti polimernykh odnoosno-orientirovannykh materialov // Dizajn. Materialy. Tehnologija. – 2011, № 1. S.91...94.
42. Makarov A.G., Kiselev S.V., Rybachuk S.V., Zurahov V.S. Vysokoskorostnoe deformirovanie odnoosno-orientirovannykh polimernykh materialov // Dizajn. Materialy. Tehnologija. – 2011, №2. S.64...66.
43. Makarov A.G., Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Pereborova N.V. Metod korrekcii parametrov matematicheskoy modeli relaksacii polimerov po tochkam jeksperimental'noj diagrammy rastjazhenija // Dizajn. Materialy. Tehnologija. – 2012, № 21. T.1. S. 23...28.
44. Makarov A.G., Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Ishmuratova R.R. Metod opredelenija spektral'nykh i jenergeticheskikh harakteristik jelastomeroov // Dizajn. Materialy. Tehnologija. – 2012, № 22. T.2. S. 38...42.
45. Makarov A.G., Slucker G.Ja., Terushkina O.B., Drobotun N.V. Fizicheskij analiz kinetiki polzuchesti mononitej iz polipropilena i polivinilidenftorida // Dizajn. Materialy. Tehnologija. – 2012, T. 3. S. 41...44.
46. Makarov A.G., Egorova M.A., Zurahov N.S., Fomina A.V. Opredelenie analiticheskoy vzaimosvjazi normirovannykh jader relaksacii i zapazdyvaniya v linejnoj teorii vjzakuprugosti polimernykh materialov // Dizajn. Materialy. Tehnologija. – 2012, T. 3. S. 48...50.
47. Rymkevich P.P., Romanova A.A., Gorshkov A.S., Makarov A.G. Fizicheskie osnovy vjzakuprugogo povedenija orientirovannykh amorfno-kristallicheskih polimerov // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2012, № 2. T.16. S.70...73.
48. Slucker G.Ja., Zhukovskij V.A., Terushkina O.B., Drobotun N.V., Filipenko T.S., Edomina N.A., Makarov A.G. Uprugie svojstva polipropilennykh i polivinilidenftoridnykh mononitej i setchatykh jendoprotezov na ih osnove // Himicheskie volokna. – 2013, № 5. S. 28...32.
49. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova N.V., Vagner V.I. Spektral'nyj analiz relaksacionnykh svojstv polimernykh nitej amorfno-kristallicheskogo stroenija // Himicheskie volokna. – 2013, № 5. S. 44...47.
50. Golovina V.V., Rymkevich P.P., Makarov A.G., Romanova A.A. Prognozirovanie deformacionnykh i relaksacionnykh processov v odnoosno-orientirovannykh polimernykh materialah // Himicheskie volokna. – 2013, № 6. S. 33...40.
51. Rymkevich R.R., 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 N.V., Vagner V.I., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya relaksacii i polzuchesti polimernykh materialov tekstil'noj i legkoj promyshlennosti // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2013, №3. T.21. S.27...31.
53. Makarov A.G., Pereborova N.V., Vagner V.I., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Osnovy doveritel'nogo prognozirovaniya relaksacionnykh i deformacionnykh processov polimernykh materialov tekstil'noj i legkoj promyshlennosti // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2013, № 4. T. 22. S. 32...34.
54. Pereborova N.V., Egorova M.A., Vagner V.I., Vasil'eva E.K. Komp'juternoe modelirovanie deformacionnykh svojstv tekstil'nykh materialov slozhnogo stroenija // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2013, №4. T. 22. S.35...37.
55. Golovina V.V., Makarov A.G., Rymkevich P.P. Metod analogij i ego fizicheskoe obosnovanie dlja opisaniya termovjzakuprugosti amorfno-kristallicheskih polimernykh nitej // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2013, T.19. S. 67...70.
56. Rymkevich P.P., Gorshkov A.S., Makarov A.G., Romanova A.A. Osnovnoe opredel'jajushhee uravnenie vjzakuprugogo povedenija odnoosno-orientirovannykh polimernykh materialov // Himicheskie volokna. – 2014, № 1. S. 31...35.
57. Makarov A.G., Demidov A.V., Pereborova N.V., Vagner V.I. Spektral'nyj analiz deformacionnykh svojstv polimernykh nitej amorfno-kristallicheskogo stroenija // Himicheskie volokna. – 2014, № 1. S. 60...63.
58. Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorova V.I., Vagner V.I. Variant modelirovaniya deformacionnykh i relaksacionnykh svojstv tekstil'nykh materialov slozhnogo stroenija // Izv. vuzov. Tehnologija 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 deformacionnykh svojstv polimernykh materialov tekstil'noj i legkoj promyshlennosti // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2014, № 1. T. 23. S. 19...23.
60. Pereborova N.V., Egorova M.A., Vagner V.I., Vasil'eva E.K., Druzhkina Ju.D. Modelirovanie slozhnykh deformacionno-vosstanovitel'nykh processov polimernykh materialov tekstil'noj i legkoj promyshlennosti // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2014, № 1. T. 23. S. 30...32.
61. Makarov A.G., Maksimov V.V., Pereborova N.V., Vagner V.I. Komp'juternoe modelirovanie deformacionnykh processov tekstil'nykh materialov slozhnogo stroenija // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2014, №2. T.24. S.47...52.
62. Pereborova N.V., Vagner V.I., Vasil'eva E.K., Druzhkina Ju.D., Maksimov V.V. Processy obratnoj relaksacii polimernykh tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2014, № 2. T. 24. S. 53...55.

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации. Поступила 01.09.15.