

УДК 539.434:677.494

Н. В. Переборова<sup>1</sup>, А. Г. Коган<sup>2</sup>, С. Г. Дембицкий<sup>3</sup>, Е. А. Кирсанова<sup>3</sup>,  
Н. М. Левакова<sup>4</sup>, В. Е. Мурадян<sup>5</sup><sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18<sup>2</sup> Витебский государственный технологический университет  
210038, Беларусь, Витебск, Московский пр., 72<sup>3</sup> Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина  
117997, Москва, Садовническая, 33, стр. 1<sup>4</sup> ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»  
105005, Москва, Малая Почтовая, 2/2<sup>5</sup> Международный научный центр по теплофизике и энергетике  
630128, Новосибирск, Кутателадзе, 7/11

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ — ОСНОВА УЛУЧШЕНИЯ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ

© Н. В. Переборова, А. Г. Коган, С. Г. Дембицкий, Е. А. Кирсанова, Н. М. Левакова, В. Е. Мурадян, 2018

*Предлагаются к разработке методы сравнительного анализа эксплуатационных свойств изделий текстильной и легкой промышленности с целью улучшения их функциональности и повышения конкурентоспособности.*

**Ключевые слова:** повышение конкурентоспособности, управление качеством, менеджмент качества, информационные технологии, повышение эффективности, текстильная и легкая промышленность, организация производства, инновационная технология, материалы, функциональные свойства, эксплуатационные свойства.

Перед отечественной текстильной и легкой промышленностью все чаще встают задачи комплексного развития производства изделий на базе современных методов менеджмента качества продукции с использованием передовых информационных технологий. Ускорение научно-технического прогресса и повышение конкурентоспособности продукции способствуют разработке новых перспективных инновационных технологий научных исследований функциональных и эксплуатационных свойств материалов. Немаловажной задачей такого исследования является также разработка методических основ анализа и менеджмента качества продукции в рыночных условиях и в условиях импортозамещения.

Разрабатываемые на основе идеи управления по результатам инновационные методики проведения исследований функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов, а также контроля и менеджмента качества производимой продукции предлагается осуществлять с использованием математического моделирования, системного комплексного анализа потребительских свойств проектируемых изделий, информационных технологий и вычислительных методов.

Одним из разрабатываемых методов анализа и менеджмента качества продукции текстильной и легкой промышленности является метод управления по результатам, использующий интегральный критерий физико-механических свойств исследуемых материалов, в основе которого заложен спектральный анализ релаксационных, деформационно-восстановительных и других вязкоупругих процессов материалов текстильной и легкой промышленности.

Функционально-потребительские и эксплуатационные свойства материалов текстильной и легкой промышленности основаны, прежде всего, на учете физико-механических характеристик указанных материалов, исследованию которых уделяется первостепенное внимание.

Для полноценного исследования и прогнозирования физико-механических характеристик материалов текстильной и легкой промышленности с целью улучшения качества соответствующих изделий предлагается [1]–[8] проведение исследований основополагающих релаксационных и деформационных процессов — релаксации и ползучести, характеризующих основные физико-механические свойства рассматриваемых материалов.

Такое исследование целесообразно осуществить на основе математического моделирования с последующим компьютерным прогнозированием релаксации и ползучести [9]–[17].

Процессы релаксации и ползучести, хотя и имеют различную физическую природу, по сути являются взаимобратными процессами, гармонично дополняя друг друга. В силу этого, исследование релаксационных и деформационных характеристик материалов текстильной и легкой промышленности, относящихся преимущественно к классу вязкоупругих материалов, является задачей необходимой, а в ряде случаев и достаточной [18]–[25].

Под процессом релаксации понимается процесс изменения приложенного к материалу напряжения  $\sigma$ , (или усилия  $F_t$ ) во времени  $t$  под действием деформации  $\epsilon$ :

$$\sigma_t = \sigma(t) = \frac{F(t)}{S}, \quad (1)$$

Основной характеристикой процесса релаксации является модуль релаксации  $E_{\epsilon t}$ , имеющий два асимптотических значения:

$$E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} E_{\epsilon t} \quad (2)$$

модуль упругости и

$$E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} E_{\epsilon t} \quad (3)$$

модуль вязкоупругости.

Моделирование модуля релаксации  $E_{\epsilon t}$  можно осуществить с помощью нормированной релаксационной функции  $\varphi_{\epsilon t}$ , принимающей значение на отрезке  $[0,1]$ :

$$E_{\epsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty)\varphi_{\epsilon t}. \quad (4)$$

В качестве релаксационной функции  $\varphi_{\epsilon t}$  выберем функцию нормированный арктангенс логарифма (НАЛ), характеризующую интегральное распределение Коши [26]–[33]:

$$\varphi_{\epsilon t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{b_{n\epsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\epsilon} \right), \quad (5)$$

где  $\tau_\epsilon$  — характеристика среднего времени релаксации,  $b_{n\epsilon}$  — характеристика интенсивности релаксации.

Аналогично можно описать моделирование процесса ползучести.

Под процессом ползучести понимается процесс изменения приложенной к материалу деформации  $\epsilon_t$  во времени  $t$  под действием напряжения  $\sigma$ :

$$\epsilon_t = \epsilon(t). \quad (6)$$

Основной характеристикой процесса ползучести является податливость  $D_{\sigma t}$ , имеющая два асимптотических значения:

$$D_0 = \lim_{t \rightarrow 0} D_{\sigma t} \quad (7)$$

начальная упругая податливость и

$$D_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} D_{\sigma t} \quad (8)$$

предельно-равновесная податливость.

Моделирование податливости  $D_{\sigma t}$  можно осуществить с помощью нормированной функции запаздывания  $\varphi_{\sigma t}$

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0)\varphi_{\sigma t}. \quad (9)$$

В качестве функции запаздывания  $\varphi_{\sigma t}$  так же, как и в случае релаксации, выберем функцию НАЛ, характеризующую интегральное распределение Коши [34]–[41]:

$$\varphi_{\sigma t} = \varphi \left( \frac{t}{\tau_\sigma} \right) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{b_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right), \quad (10)$$

где  $\tau_\sigma$  — характеристика среднего времени запаздывания,  $b_{n\sigma}$  — характеристика интенсивности ползучести.

Таким образом, уравнение (4) представляет собой математическую модель процесса релаксации, а (9) — математическую модель ползучести.

Выбор в качестве основы математических моделей релаксации и ползучести функции НАЛ не случаен, так как вероятностное распределение Коши, интегральной функцией распределения которого она является, обладает замечательным свойством: сумма характеристик, распределенных по вероятностному закону Коши, также имеет своим распределением вероятностное распределение Коши. Для материалов текстильной и легкой промышленности выполнение этого правила чрезвычайно важно, так как любой сложный текстильный объект представляет собой совокупность более простых текстильных объектов (нити состоят из волокон, ткани из нитей и т. д.). Поэтому, если параметры более простой текстильной продукции будут подчиняться вероятностному распределению Коши, этому же распределению будут подчинены и параметры более сложной текстильной продукции [42]–[48].

Метод определения функционально-потребительских релаксационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности основан на численной обработке экспериментального «семейства» релаксации для значений деформации  $\epsilon = \text{const}$  на приборе «релаксометр напряжений» [49]–[56].

Введя обозначения для нормированной функции релаксации (5):

$$\varphi_{\epsilon t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg}(W_{\epsilon t}) = \Psi(W_{\epsilon t}) \quad (11)$$

с аргументом

$$W_{\epsilon t} = \frac{1}{b_{n\epsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\epsilon} = \frac{1}{b_{n\epsilon}} \left( \ln \left( \frac{t}{t_1} \right) + \ln \left( \frac{t_1}{\tau_\epsilon} \right) \right) \quad (12)$$

и дифференцируя (4), получаем выражение для производной модуля релаксации:

$$\begin{aligned} E'_{\epsilon t} &= \frac{\partial E_{\epsilon t}}{\partial \ln t} = -(E_0 - E_\infty) \cdot \bar{r}_{\epsilon t} = \\ &= -\frac{1}{b_{n\epsilon}} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot (E_0 - E_\infty) \cdot \frac{1}{1 + W_{\epsilon t}^2}, \end{aligned} \quad (13)$$

в которую входит ядро релаксации  $\bar{r}_{\epsilon t}$ :

$$\bar{r}_{\epsilon t} = \frac{\partial \varphi_{\epsilon t}}{\partial \ln t} = \frac{1}{b_{n\epsilon}} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + W_{\epsilon t}^2}. \quad (14)$$

Учитывая экстремум производной  $E'_{\epsilon t}$  при  $W_{\epsilon t} = W_\tau = 0$ , определяем соответствующее ему характеристическое значение модуля релаксации  $E_\tau$ :

$$E_\tau = E_0 - (E_0 - E_\infty)0,5 = \frac{E_0 + E_\infty}{2}, \quad (15)$$

которое позволяет определить

$$\Delta E_\tau = E_0 - E_\tau = \frac{E_0 - E_\infty}{2} = E_\tau - E_\infty, \quad (16)$$

откуда получаем значение модуля упругости

$$E_0 = E_\tau + \Delta E_\tau \quad (17)$$

и значение модуля вязкоупругости

$$E_{\infty} = E_{\tau} - \Delta E_{\tau}. \quad (18)$$

Отсюда, при условии  $W_{\tau} = 0$ , из (13) получается характеристическое значение для производной от модуля релаксации

$$E'_{\tau} = -\frac{1}{b_{н\epsilon}} \cdot \frac{1}{\pi} (E_0 - E_{\infty}) = -\frac{1}{b_{н\epsilon}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \Delta E_{\tau}. \quad (19)$$

Далее, из (2.13) и (2.19) получаем

$$E'_{\epsilon t} = E'_{\tau} \cdot \frac{1}{1 + W_{\epsilon t}^2}, \quad (20)$$

или

$$W_{\epsilon t} = \pm \sqrt{\frac{E'_{\tau}}{E'_{\epsilon t}} - 1}. \quad (21)$$

Вычитая из первой (2.15) (2.4) и учитывая (2.16), получим

$$E_{\epsilon t} - E_{\tau} = (E_0 - E_{\infty}) (0,5 - \varphi_{\epsilon t}) = 2\Delta E_{\tau} (0,5 - \varphi_{\epsilon t}), \quad (22)$$

или

$$\Delta E_{\tau} = -0,5 \cdot \frac{(E_{\epsilon t} - E_{\tau})}{\Psi(W_{\epsilon t}) - 0,5}, \quad (23)$$

откуда получается характеристика интенсивности релаксации  $1/b_{н\epsilon}$ :

$$\frac{1}{b_{н\epsilon}} = -\frac{\pi}{2} \cdot \frac{E'_{\tau}}{\Delta E_{\tau}}. \quad (24)$$

Характеристика среднего времени релаксации  $\tau_{\epsilon}$  получается как параметр временного сдвига кривой релаксации, полученной для значения деформации  $\mu$ , до совмещения с обобщенной кривой релаксации, задаваемой формулой (4).

Метод определения функционально-потребительских деформационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности основан на численной обработке экспериментального «семейства» ползучести для значений напряжения  $\sigma = \text{const}$  на приборе «релаксометр деформаций» [57]–[63].

Введя обозначения для нормированной функции запаздывания (10):

$$\varphi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg(W_{\sigma t}) = \Psi(W_{\sigma t}) \quad (25)$$

с аргументом

$$W_{\sigma t} = \frac{1}{b_{\sigma t}} \ln \frac{t}{\tau_{\sigma}} = \frac{1}{b_{н\sigma}} \left( \ln \left( \frac{t}{t_1} \right) + \ln \left( \frac{t_1}{\tau_{\sigma}} \right) \right) \quad (26)$$

и дифференцируя (2.9), получаем выражение для производной податливости:

$$D'_{\sigma t} = \frac{\partial D_{\sigma t}}{\partial \ln t} = (D_{\infty} - D_0) \cdot \bar{r}_{\sigma t} = \frac{1}{b_{н\sigma}} \cdot \frac{1}{\pi} (D_{\infty} - D_0) \cdot \frac{1}{1 + W_{\sigma t}^2}, \quad (27)$$

в которую входит ядро запаздывания  $\bar{r}_{\sigma t}$ :

$$\bar{r}_{\sigma t} = \frac{\partial \varphi_{\sigma t}}{\partial \ln t} = \frac{1}{b_{н\sigma}} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + W_{\sigma t}^2}. \quad (28)$$

Учитывая экстремум производной  $D'_{\sigma t}$  при  $W_{\sigma t} = W_{\tau} = 0$ , определяем соответствующее ему характеристическое значение податливости  $D_{\tau}$ :

$$D_{\tau} = D_0 + (D_{\infty} - D_0) \cdot 0,5 = \frac{D_0 + D_{\infty}}{2}, \quad (29)$$

которое позволяет определить

$$\Delta D_{\tau} = D_{\infty} - D_{\tau} = \frac{D_{\infty} - D_0}{2} = D_{\tau} - D_0, \quad (30)$$

откуда получается характеристика упругой начальной податливости

$$D_0 = D_{\tau} - \Delta D_{\tau}, \quad (31)$$

а также характеристика предельно-равновесной податливости

$$D_{\infty} = D_{\tau} + \Delta D_{\tau}. \quad (32)$$

Отсюда, при условии  $W_{\tau} = 0$  из (27) получается характеристическое значение для производной от податливости [64]–[71]

$$D'_{\tau} = \frac{1}{b_{н\sigma}} \cdot \frac{1}{\pi} (D_{\infty} - D_0) = \frac{1}{b_{н\sigma}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \Delta D_{\tau}. \quad (33)$$

Далее, из (27) и (33) получаем

$$D'_{\sigma t} = D'_{\tau} \cdot \frac{1}{1 + W_{\sigma t}^2}, \quad (34)$$

или

$$W_{\sigma t} = \pm \sqrt{\frac{D'_{\tau}}{D'_{\sigma t}} - 1}. \quad (35)$$

Вычитая из первой (29) (9) и учитывая (30), получим

$$D_{\sigma t} - D_{\tau} = (D_{\infty} - D_0) \cdot (\varphi_{\sigma t} - 0,5) = 2\Delta D_{\tau} (\varphi_{\sigma t} - 0,5), \quad (36)$$

или

$$\Delta D_{\tau} = 0,5 \cdot \frac{(D_{\sigma t} - D_{\tau})}{\Psi(W_{\sigma t}) - 0,5}, \quad (37)$$

откуда получается характеристика интенсивности ползучести  $1/b_{н\sigma}$ :

$$\frac{1}{b_{н\sigma}} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{D'_{\tau}}{\Delta D_{\tau}}. \quad (38)$$

Характеристика среднего времени запаздывания  $\tau_{\sigma}$  получается как параметр временного сдвига кривой ползучести, полученной для значения напряжения  $\sigma$ , до совмещения с обобщенной кривой ползучести, задаваемой формулой (9) [72]–[78].

Таким образом, полученные методами определения функционально-потребительских релаксационных и деформационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности характеристики релаксации  $E_0$ ,  $E_{\infty}$ ,  $b_{н\epsilon}$  и  $\tau_{\epsilon}$  и характеристики ползучести  $D_0$ ,  $D_{\infty}$ ,  $b_{н\sigma}$  и  $\tau_{\sigma}$  предлагается использовать в дальнейшем для оценки качества продукции текстильной и легкой промышленности. Заметим также, что указанные характеристики релаксации и ползучести, полученные

на основе математического моделирования с использованием функции НАЛ, подчиняются вероятностному распределению Коши.

### Список литературы

1. Макаров А. Г. Контроль параметров нелинейно-наследственных ядер релаксации и запаздывания синтетических нитей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2000, № 2. С. 12–16.
2. Сталевич А. М., Макаров А. Г. Вариант спектра наследственно-вязкоупругой релаксации синтетических нитей // Известия высших учебных заведений. 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. Расчётно-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 // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2002, № 2. С. 13–17.
10. Макаров А. Г., Сталевич А. М. Прогнозирование восстановительного деформационного процесса и обратной релаксации полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2002. № 3. С. 10–13.
11. Сталевич А. М., Макаров А. Г., Саидов Е. Д. Упругие компоненты диаграммы растяжения синтетической нити // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2002, № 4–5. С. 15–18.
12. Сталевич А. М., Макаров А. Г., Саидов Е. Д. Релаксационная спектроскопия синтетической нити // Известия высших учебных заведений. 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. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Вариант математического моделирования деформационных процессов полимерных материалов // Вопросы материаловедения, 2006, № 3 (47). С. 101–110.
15. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Методы компьютерного анализа вязкоупругости технических тканей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2006, № 3. С. 13–17.
16. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Исследование изменений деформационных свойств полиэфирных нитей в зависимости от степени крутки // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2006, № 4. С. 9–13.
17. Овсянников Д. А., Макаров А. Г., Сталевич А. М., Демидов А. В. Математическое моделирование вязкоупругих процессов полимеров // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2006, Вып. 3. С. 46–54.
18. 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.
19. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Компьютерное исследование вязкоупругости полимерных материалов // Химические волокна. 2006. № 5. С. 38–43.
20. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Оптимизация выбора модели вязкоупругости синтетических нитей // Химические волокна. 2006. № 6. С. 47–51.
21. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Критерии оптимального выбора математической модели вязкоупругости текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2006, № 5. С. 18–22.
22. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Определение механических характеристик текстильных материалов при переменной температуре // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2006. № 6. С. 14–19.
23. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Компьютерное прогнозирование деформационных процессов текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2007. № 2. С. 14–18.
24. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Системный анализ вязкоупругости текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2007. № 3. С. 20–24.
25. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Системный анализ вязкоупругости полиэфирных нитей // Химические волокна. 2007. № 1. С. 62–65.
26. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Исследование упругих, вязкоупругих и пластических характеристик химических нитей // Химические волокна. 2007. № 3. С. 57–60.
27. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Вариант математического моделирования деформационных процессов синтетических нитей // Химические волокна. 2007. № 4. С. 55–58.
28. Демидов А. В., Макаров А. Г., Сталевич А. М. Вариант прогнозирования нелинейно-наследственной вязкоупругости полимеров // Прикладная механика и техническая физика. 2007. Т. 48, № 5. С. 147–157.
29. Макаров А. Г., Демидов А. В., Сталевич А. М. Вариант моделирования нелинейно-наследственной вязкоупругости полимерных материалов // Механика твердого тела. 2009. № 1. С. 155–165.
30. Гориков А. С., Макаров А. Г., Рымкевич О. В., Рымкевич П. П. Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через многослойные изделия текстильной и швейной промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 4 (15). С. 88–92.
31. Макаров А. Г., Киселев С. В., Рыбачук С. В., Зурахов В. С. Критерии надежности прогнозирования вязкоупругости полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2011. Том 11. № 1. С. 56–60.
32. Макаров А. Г., Киселев С. В., Рыбачук С. В., Пушкарёв Д. В. Вариант моделирования релаксации и полз-

- учести полимерных одноосно ориентированных материалов // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2011. № 1 (16). С. 91–94.
33. Макаров А. Г., Киселев С. В., Рыбачук С. В., Зурахов В. С. Высокоскоростное деформирование одноосно ориентированных полимерных материалов // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2011. № 2 (17). С. 95–97.
  34. Рымкевич П. П., Романова А. А., Горшков А. С., Макаров А. Г. Физические основы вязкоупругого поведения ориентированных аморфно-кристаллических полимеров // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2012. Т. 16. № 2. С. 70–73.
  35. 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.
  36. 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.
  37. Макаров А. Г., Слуцкер Г. Я., Терушкина О. Б., Дроботун Н. В. Физический анализ кинетики ползучести мононитей из полипропилена и поливинилиденфторида // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2012. Т. 3. С. 41–44.
  38. 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.
  39. Макаров А. Г., Слуцкер Г. Я., Жуковский В. А., Терушкина О. Б., Дроботун Н. В., Филипенко Т. С., Едомина Н. А. Упругие свойства полипропиленовых и поливинилиденфторидных мононитей и сетчатых эндопротезов на их основе // *Химические волокна*. 2012. № 5. С. 28–32.
  40. Макаров А. Г., Переборова Н. В., Демидов А. В., Вагнер В. И. Спектральный анализ релаксационных свойств полимерных нитей аморфно-кристаллического строения // *Химические волокна*. 2013. № 5. С. 44–47.
  41. 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.
  42. Головина В. В., Макаров А. Г., Рымкевич П. П. Метод аналогий и его физическое обоснование для описания термовязкоупругости аморфно-кристаллических полимерных нитей // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2013. Т. 19. № 1. С. 67–70.
  43. Макаров А. Г., Переборова Н. В., Вагнер В. И., Рымкевич П. П., Горшков А. С. Основы математического моделирования релаксации и ползучести полимерных материалов // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2013. Т. 21. № 3. С. 27–31.
  44. 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 // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2013. Т. 22. № 4. С. 32–34.
  45. Макаров А. Г., Переборова Н. В., Вагнер В. И., Кузьмин С. Д. Вариант спектра наследственно-вязкоупругой релаксации трикотажных эластомеров и образующих их полимерных нитей // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2013. Т. 2. № 27. С. 79–83.
  46. 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 // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2014. Т. 23. № 1. С. 19–23.
  47. Макаров А. Г., Переборова Н. В., Егорова М. А., Васильева Е. В., Вагнер В. И. Системный анализ термовязкоупругости полимерных нитей // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2015. Т. 27. № 1. С. 96–100.
  48. Макаров А. Г., Слуцкер Г. Я., Переборова Н. В., Васильева В. В., Вагнер В. И. Кинетика релаксации напряжения и ползучести в ориентированных волокнах полипропилена // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2015. Т. 27. № 1. С. 101–105.
  49. Макаров А. Г., Слуцкер Г. Я., Переборова Н. В., Васильева В. В., Вагнер В. И. Детализация механизма релаксации напряжения в ориентированных волокнах полипропилена // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2015. Т. 28. № 2. С. 104–109.
  50. Макаров А. Г., Переборова Н. В., Егорова М. А., Зурахов Н. С., Киселев С. В. Прогнозирование и сравнительный анализ деформационных процессов полимерной текстильной пряжи // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2015. Т. 28. № 2. С. 78–87.
  51. Макаров А. Г., Демидов А. В., Переборова Н. В., Егорова М. А. Математическое моделирование и компьютерное прогнозирование деформационных процессов полимерных парашютных строп // *Химические волокна*. 2015. № 6. С. 60–67.
  52. Макаров А. Г., Переборова Н. В., Вагнер В. И., Васильева Е. К. Сравнительный анализ деформационных свойств арамидных нитей и текстильных материалов из них // *Химические волокна*. 2015. № 6. С. 68–72.
  53. Макаров А. Г., Переборова Н. В., Вагнер В. И., Васильева Е. К. Разработка методики проведения сравнительного анализа деформационных и релаксационных свойств арамидных нитей и текстильных материалов на их основе // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2015. № 5 (359). С. 48–58.
  54. Макаров А. Г., Демидов А. В., Переборова Н. В., Егорова М. А. Моделирование и расчетное прогнозирование релаксационных и деформационных свойств полимерных парашютных строп // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2015. № 6 (360). С. 194–205.
  55. Макаров А. Г., Переборова Н. В., Егорова М. А., Ледов Д. С., Бусыгин К. Н., Коновалов А. С. Методология спектрального моделирования деформационно-релаксационных процессов полимерных материалов // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2015. Т. 30. № 4. С. 7–16.
  56. Переборова Н. В. Разработка критериев качественной оценки функционально-потребительских свойств продукции текстильной и легкой промышленности в целях управления качеством продукции // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2015. № 4 (39). С. 98–102.
  57. Переборова Н. В. Разработка инновационных методов контроля эксплуатационных свойств и повышения качества материалов текстильной и легкой промышленности // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2015. Т. 29. № 3. С. 11–19.

58. *Переборова Н. В.* Разработка стратегической программы создания инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 35–42.
59. *Переборова Н. В.* Повышение качества продукции текстильной и легкой промышленности на основе внедрения информационных технологий в научные исследования // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2015. № 4. С. 60–66.
60. *Переборова Н. В., Егорова М. А., Вагнер В. И., Васильева Е. К.* Расчетное прогнозирование процесса ползучести плащевой ткани // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2015. № 3. С. 58–61.
61. *Макаров А. Г., Шванкин А. М.* Сравнительный анализ физико-механических свойств арамидных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2016. Т. 31. № 1. С. 22–27.
62. *Макаров А. Г., Переборова Н. В., Вагнер В. И., Васильева Е. К.* Сравнительный анализ деформационных свойств арамидных нитей и текстильных материалов из них // Химические волокна. 2016. № 1. С. 37–42.
63. *Макаров А. Г., Демидов А. В., Переборова Н. В., Егорова М. А.* Математическое моделирование и компьютерное прогнозирование деформационных процессов полимерных парашютных строп // Химические волокна. 2016. № 2. С. 52–58.
64. *Макаров А. Г., Демидов А. В.* Прогнозирование деформационно-восстановительного процесса полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2016. Т. 32. № 2. С. 5–9.
65. *Демидов А. В., Макаров А. Г., Переборова Н. В., Шванкин А. М.* Численное прогнозирование деформационно-релаксационных процессов арамидных материалов в условиях переменной температуры // Дизайн. Материалы. Технология. 2016. № 3 (43). С. 55–60.
66. *Макаров А. Г., Шванкин А. М.* Системный анализ деформационных свойств горно- и пожароспасательных арамидных шнуров // Дизайн. Материалы. Технология. 2016. № 2 (42). С. 93–97.
67. *Переборова Н. В., Егорова М. А., Егоров И. М., Козлов А. А., Шванкин А. М., Ледов Д. С.* Компьютерное моделирование деформационных свойств арамидных материалов сложного строения // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2016. № 4. С. 23–31.
68. *Демидов А. В., Переборова Н. В., Шванкин А. М., Ледов Д. С.* Компьютерное прогнозирование вязкоупругих процессов арамидных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2016. № 4 (44). С. 76–82.
69. *Макаров А. Г., Переборова Н. В., Егорова М. А., Егоров И. М.* Разработка методов математического моделирования процессов релаксации и ползучести полимерных нитей на основе их спектральной интерпретации // Химические волокна. 2017. № 1. С. 69–73.
70. *Макаров А. Г., Переборова Н. В., Егорова М. А., Егоров И. М.* Разработка критериев достоверности прогнозирования деформационных и релаксационных процессов полимерных материалов // Химические волокна. 2017. № 2. С. 59–63.
71. *Демидов А. В., Макаров А. Г., Переборова Н. В., Егорова М. А.* Варианты математического моделирования и системного анализа механической релаксации и ползучести полимерных материалов // Химические волокна. 2017. № 4. С. 46–51.
72. *Демидов А. В., Макаров А. Г., Переборова Н. В., Егорова М. А.* Прогнозирование деформационно-релаксационных процессов полиамидных тканей, применяемых для изготовления куполов парашютов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1 (367). С. 250–258.
73. *Макаров А. Г., Переборова Н. В., Егорова М. А., Егоров И. М.* Качественный анализ деформационно-релаксационных свойств арамидных шнуров горноспасательного назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 2 (368). С. 309–313.
74. *Макаров А. Г., Переборова Н. В., Егорова М. А., Егоров И. М.* Математическое моделирование деформационно-релаксационных процессов полимерных материалов в условиях переменной температуры // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017, № 4 (370). С. 287–292.
75. *Макаров А. Г., Переборова Н. В., Першакова Н. А., Коновалов А. С.* Методы математического моделирования механических процессов полимерных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2017. № 1 (45). С. 44–51.
76. *Переборова Н. В., Макаров А. Г., Егорова М. А., Егоров И. М.* Методология проведения системного анализа вязкоупругих свойств текстильных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2017. № 3 (47). С. 105–112.
77. *Переборова Н. В., Климова Н. С., Кобякова Ю. Б., Абрамова И. В.* Моделирование сложных режимов деформирования полимерных текстильных материалов как инструмент оценки и улучшения их функционально-эксплуатационных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017, № 5. С. 71–78.
78. *Переборова Н. В., Климова Н. С., Кобякова Ю. Б., Абрамова И. В.* Исследование деформационных свойств арамидных текстильных материалов с целью улучшения их функционально-эксплуатационных характеристик // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017, № 5. С. 104–112.

**N. V. Pereborova<sup>1</sup>, A. G. Kogan<sup>2</sup>, S. G. Dembitsky<sup>3</sup>, E. A. Kirsanova<sup>3</sup>,  
N. M. Levakova<sup>4</sup>, V. E. Muradyan<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design

191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

<sup>2</sup> Vitebsk State Technological University

210038, Belarus, Vitebsk, Moskovsky pr., 72

<sup>3</sup> Russian State University. A. N. Kosygin

117997, Moscow, Sadovnicheskaya, 33, buld. 1

<sup>4</sup> OOO "TEKS-CENTER"

105005, Moscow, Malaya Pochtovaya, 2/2

<sup>5</sup> International Center for Thermal Physics and Energy

630128, Novosibirsk, Kutateladze, 7/11

## Development of methods of comparative analysis of the operational properties of products of textile and light industry — the basis of improving their functionality

*Proposed are methods of comparative analysis of the operational properties of textile and light industry products with the aim of improving their functionality and competitiveness.*

**Keywords:** competitiveness improvement, quality management, information technology, efficiency improvement, textile and light industry, production organization, innovations, technology, materials, functional properties, operational properties.

### References

- Makarov A. G. Control parameters of nonlinear hereditary kernels relaxation and delay synthetic fibers. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2000, No 2, 12–16 pp. (in Rus.)
- Stalevich A. M., Makarov A. G. Spectrum Option hereditary viscoelastic relaxation synthetic fibers. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2000, No 3, 8–13 pp. (in Rus.)
- Makarov A. G., Stalevich A. M. Option forecasting processes of deformation of synthetic fibers. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber], 2001, No 4, 67–69 pp. (in Rus.)
- Makarov A. G., Stalevich A. M. Methods of refinement and control of synthetic materials predictable conditions. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2001, No 5, 58–61 pp. (in Rus.)
- Stalevich A. M., Makarov A. G. Determination of the viscoelastic characteristics of the example of polyacrylonitrile yarn. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2001, No 6, 68–70 pp. (in Rus.)
- Makarov A. G., Stalevich A. M. Option spectra of relaxation and retardation in amorphous-crystalline synthetic fibers. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2002, No 3, 52–55 pp. (in Rus.)
- Stalevich A. M., Makarov A. G., Saidov E. D. Settlement and experimental evaluation of the mechanical work absorbed during deformation of synthetic filament. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber]. 2002, No 3, 55–57 pp. (in Rus.)
- Makarov A. G., Stalevich A. M. Forecast feedback relaxation and deformation-recovery processes synthetic fibers. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2002, No 6, 62–64 pp. (in Rus.)
- Makarov A. G. Determination of the analytical relationship of normalized nuclear relaxation and creep in the linear theory of viscoelasticity of textile materials. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2002, No 2, 13–17 pp. (in Rus.)
- Makarov A. G., Stalevich A. M. Prediction restorative deformation process and reciprocal relaxation of polymeric materials. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2002, No 3, 10–13 pp. (in Rus.)
- Stalevich A. M., Makarov A. G., Saidov E. D. Elastic components of synthetic filament stretching charts. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2002, No 4–5, 15–18 pp. (in Rus.)
- Stalevich A. M., Makarov A. G., Saidov E. D. Relaxation Spectrometry synthetic yarn. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.], 2003, No 1. 16–22 pp. (in Rus.)
- Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. System analysis of viscoelastic polymeric materials. *Voprosy materialovedenija* [Problems of Materials Science]. 2005, No 4 (44). 50–58 pp. (in Rus.)
- Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Option mathematical modeling of deformation processes of polymer materials. *Voprosy materialovedenija* [Problems of Materials Science], 2006, No 3 (47), 101–110 pp. (in Rus.)
- Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Methods of computer analysis of technical fabrics viscoelasticity. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2006, No 3, 13–17 pp. (in Rus.)
- Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Research of changes of deformation properties of polyester yarns, depending on the degree of twist. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2006, No 4, 9–13 pp. (in Rus.)
- Ovsyannikov D. A., Makarov A. G., Stalevich A. M., Demidov A. V. Alternative solutions of the problem of mathematical modeling of processes of viscoelastic polymers. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 10. Prikladnaja matematika. Informatika. Processy upravlenija* [Bulletin of St. Petersburg State University. Ser. 10. Applied Mathematics. Computer science. Management processes.] 2006, Vol. 3, 46–54 pp. (in Rus.)

18. Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Determination of deformation characteristics of synthetic fibers under variable temperature. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2006, No 3, 58–61 pp. (in Rus.)
19. Demidov AV, Makarov AG, Stalevich AM Computer investigation of viscoelastic polymeric materials. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2006, No 5, 38–43 pp. (in Rus.)
20. Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Optimization model selection viscoelasticity of synthetic fibers. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2006, No 6., 47–51 pp. (in Rus.)
21. Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Criteria for the selection of optimal mathematical model of viscoelasticity of textile materials. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2006, No 5, 18–22 pp. (in Rus.)
22. Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Determination of mechanical properties of textile materials at variable temperature. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2006, No 6, 14–19 pp. (in Rus.)
23. Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Computer forecasting of deformation processes of textile materials. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2007, No 2, 14–18 pp. (in Rus.)
24. Demidov AV, Makarov AG, Stalevich AM System analysis of the viscoelasticity of textile materials. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry.] 2007, No 3, 20–24 pp. (in Rus.)
25. Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. System analysis viscoelasticity polyester yarn. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2007, No 1, 62–65 pp. (in Rus.)
26. Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. The study of elastic, viscoelastic and plastic characteristics filaments. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2007, No 3, 57–60 pp. (in Rus.)
27. Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Option mathematical modeling of deformation processes of synthetic fibers. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber] 2007, No 4, 55–58 pp. (in Rus.)
28. Demidov A. V., Makarov A. G., Stalevich A. M. Option forecasting nonlinear hereditary viscoelasticity of polymers. *Prikladnaja mehanika i tehničeskaja fizika*. [Journal of Applied Mechanics and Technical Physics], 2007, vol. 48, No 5, 147–157 pp. (in Rus.)
29. Makarov A. G., Demidov A. V., Stalevich A. M. Variant of modeling nonlinear hereditary viscoelasticity of polymeric materials. *Mekhanika tverdogo tela*. [Solid Mechanics], 2009, No 1, 155–165 pp. (in Rus.)
30. Gorshkov A. S., Makarov A. G., Rymkevich O. V., Rymkevich P. P. Mathematical modeling of non-stationary heat conduction processes through multilayer products of the textile and clothing industry. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2010, No 4 (15), 88–92 pp. (in Rus.)
31. Makarov A. G., Kiselev S. V., Rybachuk S. V., Zurakhov V. S. Reliability criteria for predicting the viscoelasticity of polymeric materials. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologija legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2011 Vol. 11, No 1, 56–60 pp. (in Rus.)
32. A. G. Makarov, S. V. Kiselev, S. V. Rybachuk, D. V. Pushkar. Variant of modeling relaxation and creep of polymeric uniaxially oriented materials. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2011, No 1 (16), 91–94 pp. (in Rus.)
33. Makarov A. G., Kiselev S. V., Rybachuk S. V., Zurakhov V. S. High-speed deformation of uniaxially oriented polymeric materials. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2011, No 2 (17), 95–97 pp. (in Rus.)
34. Rymkevich P. P., Romanova A. A., Gorshkov A. S., Makarov A. G. Physical basis of viscoelastic behavior of oriented amorphous-crystalline polymers. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologija legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2012. Vol. 16. No 2. P. 70–73 pp. (in Rus.)
35. Makarov A. G., Gorshkov A. S., Rymkevich P. P., Ishmuratov R. R. Method of determining the spectral and energy characteristics of elastomers. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2012. Vol. 2. No 22. 38–42 pp. (in Rus.)
36. Makarov A. G., Gorshkov A. S., Rymkevich P. P., Pereborova N. V. Method of correction of the parameters of a mathematical model of relaxation of polymers by points of an experimental stretching diagram. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2012. Vol. 1. No 21. 23–28 pp. (in Rus.)
37. Makarov A. G., Slutsker G. Ya., Terushkina O. B., Drobotun N. V. Physical analysis of the creep kinetics of monofilaments from polypropylene and polyvinylidene fluoride. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2012. No 3. 41–44 pp. (in Rus.)
38. Makarov A. G., Egorova M. A., Zurakhov N. S., Fomina A. V. Determination of the analytical relationship of normalized relaxation and lag nuclei in the linear theory of viscoelasticity of polymeric materials. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2012. No 3. 48–50 pp. (in Rus.)
39. Makarov A. G., Slutsker G. Ya., Zhukovsky V. A., Terushkina O. B., Drobotun N. V., Filipenko T. S., Edomina N. A. Elastic properties of polypropylene and polyvinylidene fluoride monofilaments and mesh endoprostheses based on them. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber]. 2012. No 5. 28–32 pp. (in Rus.)
40. Makarov A. G., Pereborova N. V., Demidov A. V., Vagner V. I. Spectral analysis of the relaxation properties of polymer filaments of amorphous-crystalline structure. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber]. 2013. No 5. 44–47 pp. (in Rus.)
41. V. V. Golovina, P. P. Rymkevich, A. G. Makarov, A. A. Romanov. Prediction of deformation and relaxation processes in uniaxially oriented polymeric materials. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber]. 2013. No 6. 33–40 pp. (in Rus.)
42. V. V. Golovina, A. G. Makarov, P. P. Rymkevich. The method of analogies and its physical substantiation for the description of the thermoviscoelasticity of amorphous-crystalline polymer filaments. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologija legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2013. Vol. 19. No 1. 67–70 pp. (in Rus.)
43. A. G. Makarov, N. V. Pereborova, V. I. Wagner, P. P. Rymkevich, A. S. Pots. Fundamentals of mathematical modeling of relaxation and creep of polymeric materials. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologija legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2013. Vol. 21. No 3. 27–31 pp. (in Rus.)

44. A. G. Makarov, N. V. Pereborova, V. I. Wagner, P. P. Rymkevich, A. S. Pots. Basics of confidence prediction of relaxation and deformation processes of polymeric materials of textile and light industry. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2013. Vol. 22. No 4. 32–34 pp. (in Rus.)
45. A. G. Makarov, N. V. Pereborova, V. I. Wagner, S. D. Kuzmin. A variant of the spectrum of hereditary-viscoelastic relaxation of knitted elastomers and the polymer threads forming them. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2013. Vol. 2. No 27. 79–83 pp. (in Rus.)
46. Makarov A. G., Pereborova N. V., Wagner V. I., Rymkevich P. P., Gorshkov A. S. Basics of spectral-time analysis of relaxation and deformation properties of polymeric materials of textile and light industry. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2014. Vol. 23. No 1. 19–23 pp. (in Rus.)
47. Makarov A. G., Pereborova N. V., Egorova M. A., Vasilyeva E. V., Vagner V. I. System analysis of thermoviscoelastic polymer filaments. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2015. Vol. 27. No 1. 96–100 pp. (in Rus.)
48. Makarov A. G., Slutsker G. Ya., Pereborova N. V., Vasilyeva V. V., Vagner V. I. Kinetics of stress relaxation and creep in oriented polypropylene fibers. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2015. Vol. 27. No 1. 101–105 pp. (in Rus.)
49. Makarov A. G., Slutsker G. Ya., Pereborova N. V., Vasilyeva V. V., Vagner V. I. Detailing of the stress relaxation mechanism in oriented polypropylene fibers. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2015. Vol. 28. No 2. 104–109 pp. (in Rus.)
50. Makarov A. G., Pereborova N. V., Egorova M. A., Zurakhov N. S., Kiselev S. V. Prediction and comparative analysis of deformation processes of polymer textile yarn. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2015. Vol. 28. No 2. 78–87 pp. (in Rus.)
51. Makarov A. G., Demidov A. V., Pereborova N. V., Egorova M. A. Mathematical modeling and computer prediction of deformation processes of polymer parachute lines. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber]. 2015. No 6. 60–67 pp. (in Rus.)
52. Makarov A. G., Pereborova N. V., Vagner V. I., Vasilyeva E. K. Comparative analysis of the deformation properties of aramid yarns and textile materials from them. *Himicheskie volokna*. [Chemical Fiber]. 2015. No 6. 68–72 pp. (in Rus.)
53. Makarov A. G., Pereborova N. V., Vagner V. I., Vasilyeva E. K. Development of methods for conducting a comparative analysis of the deformation and relaxation properties of aramid yarns and textile materials based on them. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry]. 2015. No 5 (359). 48–58 pp. (in Rus.)
54. Makarov A. G., Demidov A. V., Pereborova N. V., Egorova M. A. Modeling and predictive prediction of the relaxation and deformation properties of polymer parachute lines. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry]. 2015. No 6 (360). 194–205 pp. (in Rus.)
55. Makarov A. G., Pereborova N. V., Egorova M. A., Ledov D. S., Busygin K. N., Kononov A. S. Methodology of spectral modeling of deformation-relaxation processes of polymeric materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2015. Vol. 30. No 4. 7–16 pp. (in Rus.)
56. Pereborova N. V. Development of criteria for the qualitative assessment of functional and consumer properties of products of textile and light industry in order to control product quality. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2015. No 4 (39). 98–102 pp. (in Rus.)
57. Pereborova N. V. Development of innovative methods for monitoring the performance properties and improving the quality of materials of textile and light industry. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2015. Vol. 29. No 3. 11–19 pp. (in Rus.)
58. Pereborova N. V. Development of a strategic program for the creation of an engineering center for textile and light industry. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2015. Vol. 29. No 3. 35–42 pp. (in Rus.)
59. Pereborova N. V. Improving the quality of textile and light industry products through the introduction of information technology in scientific research. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya 1. Estestvennye i tehnichestkie nauki* [Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. 1. A series of natural and technical sciences]. 2015. No 4. 60–66 pp. (in Rus.)
60. Pereborova N. V., Egorova M. A., Vagner V. I., Vasilyeva E. K. Estimated forecasting of the creep process of the mantle fabric. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya 1. Estestvennye i tehnichestkie nauki* [Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. 1. A series of natural and technical sciences]. 2015. No 3. 58–61 pp. (in Rus.)
61. Makarov A. G., Shvankin A. M. Comparative analysis of the physicomechanical properties of aramid materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2016. Vol. 31. No 1. 22–27 pp. (in Rus.)
62. Makarov A. G., Pereborova N. V., Vagner V. I., Vasilyeva E. K. Comparative analysis of the deformation properties of aramid yarns and textile materials from them. *Himicheskie volokna* [Chemical fibers]. 2016. No 1. 37–42 pp. (in Rus.)
63. Makarov A. G., Demidov A. V., Pereborova N. V., Egorova M. A. Mathematical modeling and computer prediction of deformation processes of polymer parachute lines. *Himicheskie volokna* [Chemical fibers]. 2016. No 2. 52–58 pp. (in Rus.)
64. Makarov A. G., Demidov A. V. Prediction of the deformation-reduction process of polymeric materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti*. [News of higher educational institutions. Light industry technology]. 2016. Vol. 32. No 2. 5–9 pp. (in Rus.)
65. Demidov A. V., Makarov A. G., Pereborova N. V., Shvankin A. M. Numerical prediction of deformation-

- relaxation processes of aramid materials under variable temperature conditions // *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2016. No 3 (43). 55–60 pp. (in Rus.)
66. A. G. Makarov, A. M. Shvankin. System analysis of the deformation properties of mining and fire rescue aramid cords. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2016. No 2 (42). 93–97 pp. (in Rus.)
  67. Pereborova N. V., Egorova M. A., Egorov I. M., Kozlov A. A., Shvankin A. M., Ledov D. S. Computer simulation of the deformation properties of aramid materials of complex structure. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya 1. Estestvennye i tehnicheckie nauki* [Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. 1. A series of natural and technical sciences]. 2016. No 4. 23–31 pp. (in Rus.)
  68. Demidov A. V., Pereborova N. V., Shvankin A. M., Ledov D. S. Computer forecasting of viscoelastic processes of aramid materials. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2016. No 4 (44). 76–82 pp. (in Rus.)
  69. Makarov A. G., Pereborova N. V., Egorova M. A., Egorov I. M. Development of methods for mathematical modeling of relaxation processes the creep and creep properties of polymer filaments based on their spectral interpretation. *Himicheskie volokna* [Chemical fibers]. 2017. No 1. 69–73.
  70. Makarov A. G., Pereborova N. V., Egorova M. A., Egorov I. M. Development of criteria for the accuracy of prediction of deformation and relaxation processes of polymeric materials. *Himicheskie volokna* [Chemical fibers]. 2017. No 2. 59–63 pp. (in Rus.)
  71. Demidov A. V., Makarov A. G., Pereborova N. V., Egorova M. A. Variants of mathematical modeling and system analysis of mechanical relaxation and creep of polymeric materials. *Himicheskie volokna* [Chemical fibers]. 2017. No 4. 46–51 pp. (in Rus.)
  72. Demidov A. V., Makarov A. G., Pereborova N. V., Egorova M. A. Prediction of deformation-relaxation processes of polyamide fabrics used for the manufacture of parachute canopies. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry]. 2017. No 1 (367). 250–258 pp. (in Rus.)
  73. A. G. Makarov, N. V. Pereborova, M. A. Egorova, I. M. Egorov Qualitative analysis of the deformation-relaxation properties of aramid cords for mountain-rescue purposes. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry]. 2017. No 2 (368). 309–313 pp. (in Rus.)
  74. A. G. Makarov, N. V. Pereborova, M. A. Egorova, I. M. Egorov Mathematical modeling of deformation-relaxation processes of polymeric materials under variable temperature conditions. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. [Proceedings of the higher educational institutions. The technology of the textile industry]. 2017. No 4 (370). 287–292 pp. (in Rus.)
  75. Makarov A. G., Pereborova N. V., Pershakova N. A., Konovalov A. S. Methods of mathematical modeling of mechanical processes of polymeric materials. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2017. No 1 (45). 44–51 pp. (in Rus.)
  76. Pereborova N. V., Makarov A. G., Egorova M. A., Egorov I. M. Methodology of system analysis of viscoelastic properties of textile materials. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*. [Design. Materials Technology]. 2017. No 3 (47). 105–112 pp. (in Rus.)
  77. Pereborova N. V., Klimova N. S., Kobyakova Yu. B., Abramova I. V. Modeling of complex deformation modes of polymeric textile materials as a tool for assessing and improving their functional and operational properties. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya 1. Estestvennye i tehnicheckie nauki* [Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. 1. A series of natural and technical sciences]. 2017. No 5. 71–78 pp. (in Rus.)
  78. Pereborova N. V., Klimova N. S., Kobyakova Yu. B., Abramova I. V. Investigation of the deformation properties of aramid textile materials in order to improve their functional and operational characteristics. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya 1. Estestvennye i tehnicheckie nauki* [Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. 1. A series of natural and technical sciences]. 2017. No 5. 104–112 pp. (in Rus.)