

УДК 539.434:677.494

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АРАМИДНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА
ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ***

**METHODS OF INCREASING THE COMPETITIVENESS
OF DOMESTIC ARAMID TEXTILE MATERIALS BASED
ON COMPLEX ANALYSIS
OF THEIR FUNCTIONAL PROPERTIES**

Н.В. ПЕРЕБОРОВА, А.Г. МАКАРОВ, М.А. ЕГОРОВА, Н.С. КЛИМОВА
N.V. PEREBOROVA, A.G. MAKAROV, M.A. EGOROVA, N.S. KLIMOVA

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

В статье описываются методы повышения конкурентоспособности арамидных текстильных материалов, основанные на комплексном анализе их функциональных свойств. В свою очередь, в основе такого анализа лежат методы математического моделирования и компьютерного прогнозирования деформационно-релаксационных процессов указанных материалов.

The article describes methods for increasing the competitiveness of aramid textiles based on a comprehensive analysis of their functional properties. In turn, this analysis is based on methods of mathematical modeling and computer prediction of deformation-relaxation processes of these materials.

Ключевые слова: арамидные материалы, текстильные материалы, моделирование, деформация, релаксация, конкурентоспособность, эксплуатационные свойства, компьютерное прогнозирование.

Keywords: aramid materials, textile materials, modeling, deformation, relaxation, competitiveness, operational properties, computer prediction.

* Работа финансировалась в рамках выполнения базовой части государственного задания Министерства образования и науки РФ, Проект № 11.4696.2017/8.9.

В основе повышения конкурентоспособности арамидных текстильных материалов лежат методы качественного анализа их функциональных свойств.

Арамидные текстильные материалы находят все более широкое применение в различных областях техники. Из арамидных материалов, в частности, изготавливаются изделия альпинистского и горноспасательного назначения, одежда для защиты от пожаров, бронежилеты, средства спасения людей в шахтах, облицовки корпусов космических аппаратов и многое другое [1]. В период продолжающихся международных санкций особо остро встает вопрос по созданию и развитию производств конкурентоспособных текстильных арамидных материалов, отвечающих задачам современного их использования. С целью повышения конкурентоспособности арамидных текстильных материалов и изготавливаемых из них изделий необходимо всестороннее изучение эксплуатационных и физико-механических свойств указанных материалов. Такое изучение можно провести лишь на основе качественного анализа этих свойств с использованием математического моделирования и компьютерного прогнозирования релаксационно-деформационных процессов арамидных текстильных материалов, которые являются основополагающими в теории вязкоупругости полимеров, к группе которых относятся указанные материалы [2].

Предлагаемые способы повышения конкурентоспособности арамидных текстильных материалов и продукции на их основе с использованием методов качественного анализа и математического моделирования их эксплуатационных свойств позволят осуществить скорейший переход к импортозамещению продукции, так необходимой российской экономике.

Основная цель исследования состоит в разработке методов повышения конкурентоспособности арамидных текстильных материалов и изделий российского производства на основе внедрения инновационных методик оценки качества, эксплуатационно-потребительских и функциональных свойств указанных материалов [3].

Для реализации указанной цели были решены следующие задачи:

- построение математической модели деформационно-релаксационных процессов арамидных текстильных материалов;
- разработка методов определения деформационно-релаксационных параметров-характеристик арамидных текстильных материалов;
- качественная оценка эксплуатационно-потребительских и функциональных свойств арамидных текстильных материалов и изделий на основе параметров разработанной математической модели деформационно-релаксационных свойств;
- разработка методов прогнозирования деформационно-релаксационных процессов арамидных текстильных материалов, наилучшим образом соответствующих режимам эксплуатации указанных материалов;
- разработка методик сравнительного анализа эксплуатационно-потребительских и функциональных свойств арамидных текстильных материалов и изделий.

Решение поставленной задачи наиболее просто проиллюстрировать на примере исследования деформационно-релаксационных свойств арамидных нитей, так как деформационно-релаксационные свойства образованных из них арамидных изделий в основном соответствуют указанным свойствам нитей [4].

Технические характеристики арамидных нитей ($T=20^{\circ}\text{C}$) приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Материал	Линейная плотность, ктекс	Удлинение при разрыве, %	Разрывное напряжение, ГПа	Модуль упругости, ГПа	Производитель
Тварон	0,12	2,5	2,6	0,12	Нидерланды, Teijin Twaron
Кевлар	0,13	2,2	2,9	0,09	США, Du Pont De Nermour
Технора	0,11	3,5	2,7	0,08	Япония, Teijin
Русар	0,11	3,3	3,3	0,11	РФ, ОАО "Каменскволокно"
СВМ	0,08	2,6	2,4	0,11	РФ, ОАО "Тверьхимволокно"
Армос	0,09	3,1	2,8	0,10	РФ, ОАО "Тверьхимволокно"
Терлон	0,10	2,9	2,6	0,09	РФ, Мытищи, ГП ВНИИПВ

Из арамидных нитей были рассмотрены четыре российских образца (Русар, СВМ, Аромос, Терлон) и три зарубежных аналога (Тварон – Нидерланды, Кевлар – США, Технолра – Япония).

С целью качественной и количественной оценки деформационно-эксплуатационных характеристик изучаемых арамидных материалов проводилось математическое моделирование их релаксационно-деформационных свойств на основе данных краткосрочного эксперимента в режимах:

- равномерного растяжения (на универсальной измерительно-силовой установке Instron 1122);
- релаксации напряжения (на релаксметре напряжений);
- ползучести (на релаксметре деформаций).

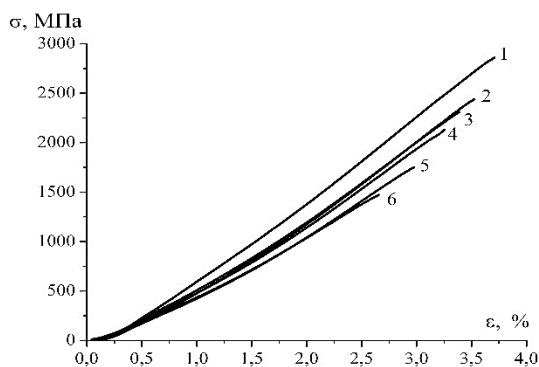


Рис. 1

При анализе полученных диаграмм растяжения были установлены зависимости от температуры значения модуля упругости

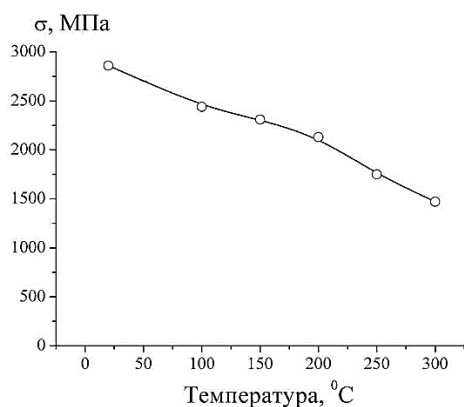


Рис. 3

Для учета влияния температуры на релаксационно-деформационные свойства исследования проводили в режимах равномерного растяжения при различных значениях температуры: T=20, 100, 150, 200, 250, 300°C со скоростями деформирования $\dot{\epsilon} = 1,67 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ (соответствующей удлинению образца на 10% в минуту), $\dot{\epsilon} = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$ (соответствующей удлинению образца на 5% в минуту) и $\dot{\epsilon} = 4,17 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$ (соответствующей удлинению образца на 2,5 % в минуту).

На рис. 1 (экспериментальные диаграммы растяжения нити СВМ при температурах 20 (1), 100 (2), 150 (3), 200 (4), 250 (5) и 300°C (6)) приведены графики диаграмм растяжения нити СВМ при различных температурах для скорости деформирования $\dot{\epsilon} = 4,17 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$.

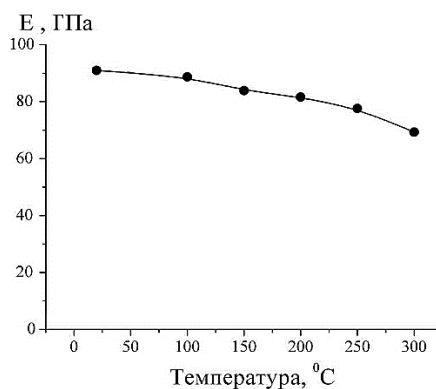


Рис. 2

нити СВМ (рис. 2), прочности при растяжении нити СВМ (рис. 3) и разрывной деформации нити СВМ (рис. 4).

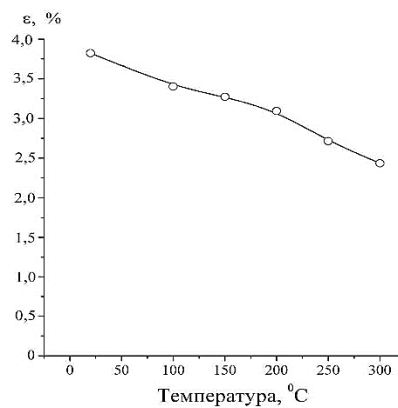


Рис. 4

Необходимость проведения математического моделирования релаксационных процессов и процессов ползучести вызвана тем, что указанные процессы являются основополагающими в теории вязкоупругости полимерных материалов. На основе математического моделирования проводится в дальнейшем качественное и количественное исследование деформационно-релаксационных свойств изучаемых материалов, необходимое для разработки методов повышения качества и конкурентоспособности российских арамидных материалов и изделий. Рассмотрение не только российских, но и зарубежных аналогов необходимо для того, чтобы иметь сравнительные образцы материалов и изделий, соответствующие принятым международным стандартам качества продукции [5].

Разработанный аппарат прогнозирования релаксационных и деформационных процессов арамидных материалов и изделий можно применять для разделения полной деформации на две составляющие: упругую и вязкоупругопластическую [6].

Такое разделение полной деформации арамидных материалов и изделий позволяет ответить на многие вопросы, касающиеся упругих и вязкоупругопластических свойств изучаемых материалов. Рассматриваемые в работе материалы с практической точки зрения должны обладать различными механическими свойствами, соответствующими их функционально-эксплуатационному назначению [7].

Изготавливаемые из арамидных нитей огнезащитные арамидные ткани, предназначенные для изготовления одежды, защищающей от пожаров, должны обладать не столько большой степенью жесткости, которая свойственна всем арамидным материалам, но определенной долей пластичности, чтобы максимально гасить вредные механические воздействия и быть в то же время комфортной в ношении [8]. На повышение пластичности огнезащитных тканей, как было выяснено, в первую очередь оказывают существенное влияние структура ткани, способ переплетения нитей в ткани, геометрическая структура материала, количество сло-

ев ткани [9]. Получить огнезащитные ткани, соответствующие оптимальным деформационно-эксплуатационным характеристикам и в то же время обладающие достаточной степенью комфортности при ношении огнезащитной одежды – задача компьютерного моделирования, которая решается на стадии разработки изделий и контролируется в процессе их производства с целью соблюдения технологических условий [10].

Другая группа исследуемых материалов, которые также изготавливаются из арамидных нитей – арамидные шнуры, применяющиеся для эвакуации людей на пожарах, при горноспасательных мероприятиях и в шахтах. Эти материалы, наоборот, должны обладать преимущественно упругими свойствами [11].

Разработанная методика разделения полной деформации арамидных материалов и изделий на упругую и вязкоупругопластическую компоненты позволяет оценить качественно их упругодеформационные характеристики. Поэтому данная методика служит основой для проведения технологического отбора материалов и изделий, обладающих необходимыми эксплуатационно-потребительскими свойствами. На основе указанной методики, реализованной посредством компьютерных технологий в виде комплекса программ для ЭВМ, решалась задача по отбору наиболее качественных изделий с точки зрения упругопластических свойств. Сказанное, в свою очередь, способствует решению задачи по повышению конкурентоспособности российской продукции.

ВЫВОДЫ

Разработаны методы повышения конкурентоспособности российских арамидных текстильных материалов и изделий на основе внедрения инновационных методик оценки качества, эксплуатационно-потребительских и функциональных свойств указанных материалов.

Предложены методы сравнительного анализа и проведения технологического отбора арамидных текстильных материалов и изделий по эксплуатационно-потребительс-

кому и функциональному назначению, обеспечивающие повышение конкурентоспособности указанных материалов.

Предложенные методы качественной оценки эксплуатационно-потребительских и функциональных свойств арамидных текстильных материалов и изделий, а также методики проведения их сравнительного анализа и технологического отбора являются основой повышения конкурентоспособности указанных материалов.

Разработаны инновационные методы оценки упругих, вязкоупругих и усадочных свойств арамидных текстильных материалов и изделий, влияющих на деформационно-эксплуатационные характеристики указанных материалов.

Реализация методов качественной оценки эксплуатационно-потребительских и функциональных свойств арамидных текстильных материалов и изделий осуществляется с использованием компьютерных информационных технологий на стадии разработки и производства указанных материалов.

Предложенные методы качественной оценки эксплуатационно-потребительских и функциональных свойств арамидных текстильных материалов и изделий, а также методики проведения их сравнительного анализа и технологического отбора являются основой повышения конкурентоспособности указанных материалов.

Благодаря компьютеризации методов качественной оценки эксплуатационно-потребительских и функциональных свойств арамидных текстильных материалов и изделий появился действенный механизм их практического применения с целью оценки уровня соответствия своему функциональному назначению и повышения конкурентоспособности исследуемых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров А.Г. Контроль параметров нелинейно-наследственных ядер релаксации и запаздывания синтетических нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 2. С. 12...16.
2. Макаров А.Г., Сталевич А.М. Методы уточнения и контроля прогнозируемых состояний синтетических материалов // Химические волокна. – 2001, № 5. С. 58...61.

3. 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.

4. 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.

5. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Компьютерное прогнозирование деформационных процессов текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, № 2. С. 14...18.

6. Рымкевич П.П., Романова А.А., Горшков А.С., Макаров А.Г. Физические основы вязкоупругого поведения ориентированных аморфно-кристаллических полимеров // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. Т. 16, № 2. С. 70...73.

7. Горшков А.С., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич П.П. Моделирование деформационных процессов ориентированных полимеров на основе описания кинетики надмолекулярных структур, разделенных энергетическими барьерами // Инженерно-строительный журнал. – 2013, № 9 (44). С. 75...83.

8. Макаров А.Г., Слуцкер Г.Я., Гофман И.В., Васильева В.В. Начальная стадия релаксации напряжения в ориентированных полимерах // Физика твердого тела. – Т. 58, № 4. С. 814...820.

9. 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.

10. Макаров А.Г., Шванкин А.М. Математическое моделирование деформационных процессов арамидных материалов // Вестник Санкт-Петербург. гос. ун-та технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2016, № 1.

11. Шванкин А.М., Егоров И.М., Егорова М.А., Козлов А.А. Математическое моделирование деформационных процессов арамидных материалов // Вестник Санкт-Петербург. гос. ун-та технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2016, № 1.

REFERENCES

1. Makarov A.G. Kontrol' parametrov nelineynno-nasledstvennykh yader relaksatsii i zapazdyvaniya sinteticheskikh nitey // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2000, № 2. S. 12...16.
2. Makarov A.G., Stalevich A.M. Metody utocheneniya i kontrolya prognoziruemykh sostoyaniy sinteticheskikh materialov // Khimicheskie volokna. – 2001, № 5. S. 58...61.
3. Makarov A.G. Opredelenie analiticheskoy vzaimosvyazi normirovannykh yader relaksatsii i polzuchesti v lineynoy teorii vyazkouprugosti tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2002, № 2. S. 13...17.

4. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. *Opreделение deformatsionnykh kharakteristik sinteticheskikh nitay v usloviyakh peremennoy temperatury // Khimicheskoe volokna. – 2006, № 3. S. 58...61.*
5. Demidov A.V., Makarov A.G., Stalevich A.M. *Komp'yuternoe prognozirovanie deformatsionnykh protsessov tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2007, № 2. S. 14...18.*
6. Rymkevich P.P., Romanova A.A., Gorshkov A.S., Makarov A.G. *Fizicheskie osnovy vyazkouprugogo povedeniya orientirovannykh amorfno-kristallicheskikh polimerov // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2012. T. 16, № 2. S. 70...73.*
7. Gorshkov A.S., Makarov A.G., Romanova A.A., Rymkevich P.P. *Modelirovanie deformatsionnykh protsessov orientirovannykh polimerov na osnove opisaniya kinetiki nadmolekulyarnykh struktur, razdelenykh energeticheskimi bar'erami // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. – 2013, № 9 (44). S.75...83.*
8. Makarov A.G., Slutsker G.Ya., Gofman I.V., Vasil'eva V.V. *Nachal'naya stadiya relaksatsii napryazheniya v orientirovannykh polimerakh // Fizika tverdogo tela. – T. 58, № 4. S. 814...820.*
9. Pereborova N.V. *Razrabotka kriteriev kachestvennoy otsenki funktsional'no-potrebitel'skikh svoystv produktsii tekstil'noy i legkoy promyshlennosti v tsel'yakh upravleniya kachestvom produktsii // Dizayn. Materialy. Tekhnologiya. – 2015, № 4 (39). S. 98...102.*
10. Makarov A.G., Shvankin A.M. *Matematicheskoe modelirovanie deformatsionnykh protsessov aramidnykh materialov // Vestnik Sankt-Peterburg. gos. un-ta tekhnologii i dizayna. Seriya 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2016, № 1.*
11. Shvankin A.M., Egorov I.M., Egorova M.A., Kozlov A.A. *Matematicheskoe modelirovanie deformatsionnykh protsessov aramidnykh materialov // Vestnik Sankt-Peterburg. gos. un-ta tekhnologii i dizayna. Seriya 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2016, № 1.*

Рекомендована кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации СПбГУПТД. Поступила 29.05.18.